

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE
MATERIAL PARTICULADO Y LA EFICIENCIA DE
LA FITORREMEDIACIÓN ATMOSFÉRICA EN
ESPACIOS URBANOS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Sheyla Chelsea Alcedo Meza

Noelia Tahis Ruiz Lalupu

Asesor:

Mg. Ing Kelly Milena Polo Herrera

<https://orcid.org/0000-0002-4833-2157>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Carlos Alberto Alva Huapaya	06672420
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

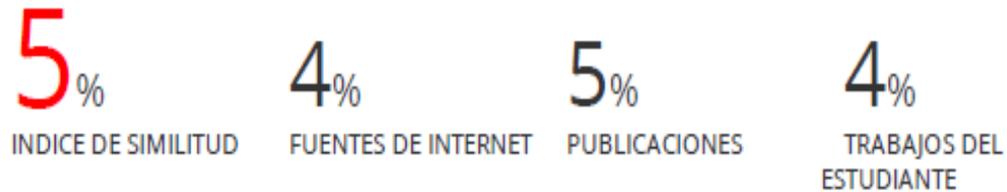
Jurado 2	Iselli Joselyn Nohely Murga González	44362724
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Margeo Javier Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Olivares Salazar Sara Erika. "Determinación de fuentes de emisión de material particulado en la Zona Metropolitana de Querétaro, usando el modelo pmf", TESIUNAM, 2019 Publicación	5%
---	---	----

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 3%

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

Damos las gracias a Dios por brindarnos salud y permitimos tener y disfrutar a nuestras familias

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias por apoyarnos en cada decisión y proyecto, por permitimos cumplir con excelencia este trabajo.

Gracias por creer en nosotros y dar mil gracias a Dios por darnos el regalo de vivir y disfrutar cada día

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmenso apoyo logramos cumplir nuestras metas y trazarnos objetivos futuros.

Tabla de contenido

Jurado evaluador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	10
Capítulo I: Introducción	11
Capítulo II: Metodología.....	31
Capítulo III: Resultados.....	41
Capítulo IV: Discusión y conclusiones.....	70
Referencias.....	88
Anexos.....	99

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Codificación para SPSS</i>	50
Tabla 2 <i>Selección del estadístico de correlación de acuerdo con la normalidad de variables y dimensiones para material particulado fino</i>	51
Tabla 3 <i>Relación entre las variables y dimensiones para el material particulado fino</i> ...	51
Tabla 4 <i>Relación entre el material particulado fino y la fitorremediación atmosférica (permanencia de follaje) en espacios urbanos</i>	53
Tabla 5 <i>Selección del estadístico de correlación de acuerdo con la normalidad de acuerdo con las variables y dimensiones para material particulado grueso.</i>	54
Tabla 6 <i>Relación entre las variables y dimensiones para el material particulado grueso</i>	54
Tabla 7 <i>Relación entre el material particulado grueso y la fitorremediación</i>	56
Tabla 8 <i>Especies de plantas más estudiadas que adsorben material particulado</i>	99
Tabla 9 <i>Características de las principales plantas fitorremediadoras de aire en espacios urbanos</i>	107
Tabla 10 <i>Matriz de consistencia</i>	122
Tabla 11 <i>Ficha de registro</i>	123
Tabla 12 <i>Características de las plantas fitorremediadoras recopiladas por los 32 autores</i>	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Arbusto Dunalila Spinosa (Meyen) Dammer</i>	22
Figura 2 <i>Trepadora Tropaeolum</i>	23
Figura 3 <i>Mahonia x media</i>	24
Figura 4 <i>Viburnum x bodnantense</i>	24
Figura 5 <i>Procesos de fitorremediación y sus funciones asociadas</i>	28
Figura 6 <i>Identificación y tamizado de documentos</i>	33
Figura 7 <i>Procedimiento de análisis de datos</i>	38
Figura 8a <i>PM_{2.5} (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según el método gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.</i>	43
Figura 8b <i>PM_{2.5} (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según el método gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.</i>	43
Figura 9a <i>PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la metodología de lavado y pesaje con cloroformo.</i>	45
Figura 9b <i>PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la metodología de lavado y pesaje con cloroformo.</i>	45
Figura 10 <i>PM₁₀ (g m⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la simulación por lavado de lluvia</i>	47
Figura 11 <i>PM₁₀ (µA) captado por el área foliar de cada especie mediante Magnetización Remanente Isotérmica de Saturación (SIRM)</i>	48

Figura 12 <i>Relación entre la permanencia de follaje de las especies de plantas y los rangos de PM_{2.5}</i>	57
Figura 13 <i>Relación entre el tipo de hábito y los rangos de PM_{2.5}</i>	58
Figura 14 <i>Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica</i>	59
Figura 15 <i>Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la especie Ginko Biloba</i> .	59
Figura 16 <i>Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la especie Sophora Japonica</i>	60
Figura 17 <i>Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la especie Rabina pseudoacacia</i>	62
Figura 20 <i>Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia fitorremediación atmosférica</i>	65
Figura 21 <i>Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la especie Ginko biloba</i> ..	66
Figura 22 <i>Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la especie Platanus Occidentalis</i>	67
Figura 23 <i>Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la especie Betula Pendula Roth</i>	68

RESUMEN

La contaminación atmosférica representa un grave problema de salud, especialmente en los países industrializados, y es claro cómo las personas que viven en espacios urbanos están expuestas a cantidades significativas de diversos contaminantes como el material particulado de origen antrópico.

La presente investigación tiene como objetivo establecer la relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos, se compara mediante el análisis documental de 32 estudios relevantes utilizando el programa IBM SPSS, el estudio tiene un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, tipo correlacional y de profundidad descriptiva-correlacional.

A nivel laboratorio el análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo, fueron los métodos más utilizados por los autores, los resultados muestran que ciertas especies de plantas pueden adsorber material particulado y la eficiencia de la fitorremediación depende de varios factores ambientales. Se concluye que la fitorremediación es una técnica sostenible y económica, las especies estudiadas en su mayoría son árboles y poseen hojas caducifolias destacando las especies *Juniperus chinensis*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans Lour*, *Pinus sylvestris L*, *Sabina chinensis* *Taxus baccata L*. que adsorbe PM_{2.5}, *Cupressus arizonica*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans Lour*, *Pinus sylvestris L.*, *Taxus baccata L*. adsorbe mayor cantidad de PM₁₀.

PALABRAS CLAVES: Fitorremediación atmosférica; material particulado; contaminación atmosférica; eficiencia; adsorción.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Algunos autores afirman que la contaminación del aire comenzó con el dominio del fuego por parte del hombre, pero con la industrialización el fenómeno alcanzó nuevas cotas, las sustancias químicas se liberaban al medio ambiente en muy pocos lugares y se concentraban cerca de sus fuentes. La Revolución Industrial marcó un punto de inflexión dramático y decisivo en la relación entre la actividad económica y el medio ambiente las demandas de energía de la tecnología del acero conducen a una contaminación del aire más generalizada, así como a concentraciones locales de contaminantes cerca de las fábricas. (Manuel, s. f.)

La contaminación del aire urbano se ha convertido en un problema mundial que supone una gran amenaza para el ser humano y la naturaleza, en particular en los países industrializados, donde se evidencia cómo las personas que habitan en espacios urbanos tienen una gran exposición a diversos contaminantes como el material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dióxido de azufre, ozono y los de origen natural como compuestos orgánicos volátiles biogénicos y el radón, los cuales en su mayoría son de origen antrópico (Ortega-García et al.,2020). Especialmente en grandes ciudades como por ejemplo en Pekín - China. En los últimos años, la fuente dominante de contaminantes atmosféricos en Pekín ha pasado de la quema de carbón a la contaminación por tráfico vehicular. (Zhang et al., 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el material particulado (PM) produce enfermedades respiratorias, cardiovasculares e incluso cáncer, por lo que en el año 2016 estimó que el 58% de enfermedades prematuras se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% fue por enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas y el 6% por cáncer al pulmón, además causó la muerte prematura de 4.2 millones de personas (World Health Organization: WHO, 2022).

En América Latina la situación no es indiferente ya que en el año 2016 solo 117 ciudades que albergan 17 países de un total de 33 contenían información oficial sobre el control de contaminantes atmosféricos, sumado a ello la mayoría de ciudades no presentan información de material particulado, donde Bogotá es considerada una de las ciudades con mayor contaminación de aire, debido al crecimiento exponencial de la dinámica poblacional, como consecuencia aumenta la actividad industrial, las velocidades de motorización y el consumo de combustibles fósiles, lo que da como resultado que se liberen más contaminantes a la atmósfera. (Zea Castro, 2020).

El material particulado es un contaminante del aire común en ambientes urbanos; consiste en una mezcla de sustancias líquidas y sólidas de origen orgánico e inorgánico. Según su diámetro aerodinámico, se definen como gruesos ($PM_{10} \geq 10 \mu m$), material particulado fino ($PM_{2.5} \leq 2,5 \mu m$) y ultrafinos ($\leq 0,1 \mu m$). (Moreno s.f).

La dirección y la velocidad del viento influyen en el transporte de material particulado y en su permanencia en la atmósfera. La dirección del viento permite identificar las fuentes y destinos de los contaminantes, detectando las principales emisiones y las zonas expuestas. Además, las partículas pueden modificar su trayectoria y velocidad

al interactuar con obstáculos, como los cañones urbanos formados por edificios altos y las barreras de vegetación. Cuando los contaminantes disminuyen su velocidad, aumenta su tiempo de residencia en el aire. (Martínez-Carrillo et al, 2010).

En el Perú a pesar de los esfuerzos que hace el gobierno se sigue observando grandes medidas de contaminación ambiental por material particulado en las urbes proveniente del parque automotor. Especialmente la región de Lima presenta gran afluencia vehicular como lo es la Av. Abancay a lo largo de sus once cuadras o Lima Norte en especial en la Av. Universitaria y la Av. Túpac Amaru donde aproximadamente circulan 6 229 vehículos o en Lima Este, en el tramo de la carretera Panamericana (Vía Evitamiento), donde el mayor nivel de contaminación en Lima se observa en la zona este y norte, aunque los niveles de $PM_{2,5}$ oscilan entre 20 y 30 $\mu g/m^3$ (Tapia et al., 2018).

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. (Agarwal et al., 2019).

La fitorremediación atmosférica 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. Por ello, como parámetro físico más importante para la fitorremediación de PM destaca la superficie biológicamente activa de la planta, por lo que se opta por utilizar árboles frondosos y coníferas (Gawronski et al., 2017).

Cabe señalar que el presente estudio corresponde a la línea de investigación salud pública y poblaciones vulnerables, bajo la sublínea urbanismo, saneamiento y movilidad urbana.

1.2. Formulación del problema

¿Qué relación existe entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Establecer la relación existente entre el material particulado presente en el aire y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos.

1.3.2. Objetivo específico

- Realizar una descripción y caracterización morfológica de las principales plantas fitorremediadoras en espacios urbanos identificadas por diversos autores.
- Adquirir conocimiento sobre la adsorción de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las hojas de las diversas especies mediante el análisis de 4 metodologías descritas por los autores.
- Efectuar un análisis descriptivo correlativo para evaluar la relación entre las características de las especies de plantas descritas por los autores y su capacidad de absorción de material particulado.

1.4. Hipótesis

La eficiencia de la fitorremediación atmosférica se relaciona directamente con la disminución del material particulado.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Zhan et al. (2019) en la ciudad de China en su artículo “An investigation on the leaf accumulation-removal efficiency of atmospheric particulate matter for five urban plant species under different rainfall regimes” tiene como objetivo determinar la cantidad de remoción de PM_{2.5} foliar y la tasa de diferentes tamaños para cinco especies de plantas mediante diferentes regímenes de lluvia simulados, por ello para la metodología realizan la recolección en la urbe de Beijing, el proceso experimental fue desarrollado en ocho fases, donde tomó tres muestras para 5 especies, finalmente para comparar la retención de polvo atmosférico entre especies se realizó un cálculo estadístico con el software SPSS. Se usó el método de correlación de Pearson y ANOVA obteniendo que la superficie foliar se correlacionó significativamente con la intensidad de la lluvia ($P < 0.01$) y la eliminación acumulativa de PM de diferente tamaño tuvo una tasa de pérdida exponencial con la duración de la lluvia ($P < 0.01$) y la especie con mayor tasa de eliminación de PM_{2.5} es el arbusto perennifolio *Euonymus japonicus* con 0.62 ug/cm² de adsorción.

Según Saebo et al. (2012) en el país de Noruega, en su artículo “Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces” buscan examinar la acumulación de PM_{2.5} por parte de 47 especies leñosas comúnmente cultivadas como vegetación urbana en Europa, por consiguiente, para aplicar su metodología, recolectaron y analizaron hojas de árboles y arbustos durante dos años. Las plantas estudiadas son todas comúnmente plantadas en áreas urbanas, a lo largo de carreteras y calles en Noruega. La comprobación de las diferencias en la acumulación de PM_{2.5} entre las especies se llevó a

cabo con un análisis de varianza (ANOVA) para cada lugar por separado. Las comparaciones entre especies se realizaron con la prueba de comparación múltiple Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Q. Las especies difieren en la acumulación de todas las fracciones de PM ($p < 0,001$); *Betula pendula*, *Pinus mugo*, *Pinus sylvestris*, *Salix cinerea*, *Skimmia japonica* y *Stephanandra incisa* mostraron una elevada acumulación total de PM_{2.5}, calculada como valor medio para dos años, de 24-55 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Afirma Chen et al. (2017) en la ciudad de China, en su investigación “Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter (PM_{2.5})”, buscan determinar los rasgos foliares para una captura efectiva de PM_{2.5} y explorar especie a especie diferencias en la capacidad foliar de recaptura de PM_{2.5} después de un evento de lluvia, para el desarrollo de su metodología tiene como criterio aplicar la recolección de hojas teniendo en cuenta el sol y la velocidad del viento. Obtuvieron un rango de área foliar de 300 a 500 cm^2 , posteriormente a ello se congelan las muestras, se observa al microscopio la morfología foliar con la cantidad de PM absorbido; utilizan ANOVA para determinar la cantidad de retención de partículas y los rasgos foliares de 24 especies de plantas en los dos sitios experimentales, los niveles de significación fueron: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$. *Koelreuteria bipinnata*, *Parthenocissus tricuspidata*, *Loropetalum chinense*, *E. japonica* y *N. indicum* mostraron una elevada capacidad de acumulación de PM_{2.5} (16,06 - 19,46 $\mu\text{g/cm}^{-2}$); mientras que *G. biloba* y *S. japonica* mostraron la menor capacidad de acumulación de PM_{2.5} (1,60-3,19 $\mu\text{g/cm}^{-2}$).

Sgrigna et al. (2020) en el país de Italia en su estudio “Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment” para lograr un análisis cualitativo y cuantitativo de

fracciones de diferentes tamaños de PM₁₀ y PM_{2.5} utilizaron dos técnicas de análisis de hoja: microscopía electrónica de vacío/filtración y de barrido, así como espectroscopia de rayos X de energía dispersiva. Se observaron, midieron y clasificaron diferentes rasgos de las hojas, incluyendo características micro y macro morfológicas, con el objetivo final de relacionarlas con la carga de PM, aunque no se observó ninguna correlación significativa entre las características de la hoja y la deposición de PM ($p < 0,05$), el análisis multivariante reveló relaciones entre grupos de rasgos de la hoja y el PM depositado. Los resultados mostraron que las cargas de PM depositadas varían significativamente entre las especies

Enfatiza Popek et al. (2018) en la ciudad de Polonia, en su artículo “Influence of Particulate Matter Accumulation on Photosynthetic Apparatus of *Physocarpus opulifolius* and *Sorbaria sorbifolia*” buscan evaluar la acumulación de PM en el contexto de la morfología foliar y la eficiencia del aparato fotosintético en dos especies de arbustos, por consiguiente para aplicar su metodología, recogen hojas de los arbustos *Physocarpus opulifolius* y *Sorbaria sorbifolia* que tienen 5 años de edad y una altura de 80 cm que son plantadas en la carretera de la ciudad, las cuales pasaron por laboratorio para ser lavadas y poder filtrar el PM que acumuló cada hoja, asimismo para evaluar las diferencias entre ambos arbustos utilizan el análisis de variancia (ANOVA). El resultado indica que las hojas de *Sorbaria sorbifolia* presentaron mayor PM superficial ($65.2 \mu\text{g cm}^{-2}$) y PM en la cera de la hoja ($30.8 \mu\text{g cm}^{-2}$) debido a la vellosidad que presenta su hoja, deduciendo que la acumulación de PM en las plantas depende de las diferencias morfológicas y anatómicas que poseen sus hojas.

De acuerdo con Zhang et al. (2019) en la ciudad de Beijing, en su artículo “Comparison of the suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system”, tuvo como objetivo identificar la planta más adecuada para la mitigación de PM que tenga un alto índice de tolerancia a la contaminación del aire (APTI), por consiguiente en su estudio experimental, recolectan 40 hojas de nueve especies de planta (dos arbustos, una especie trepadora, dos coníferas y cuatro árboles de hoja ancha) en la autopista Beijing-Lhasa, luego en laboratorio se cuantifican la deposición de PM mediante la escala semi-microbalanza XS105DU y determinan el APTI de cada especie mediante una fórmula, luego realizan un análisis estadístico mediante el software SPSS. Obteniendo que el árbol de hoja ancha *Sophora japonica* tuvo la mayor capacidad de acumulación de PM ($362,98 \mu\text{g cm}^{-2}$) con un porcentaje del 72.9% y el mayor APTI con un valor de 19.38, concluyendo que las características morfológicas y estructurales influyen fuertemente en la capacidad de captura del material particulado.

Considera Zea Castro (2020) en la ciudad de Bogotá - Colombia, una tesis de maestría Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales “Alternativas de reducción de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Bogotá”, con el objetivo de proponer los mejores mecanismos que permitan la disminución del material particulado PM10 y PM2.5, desarrollándose un estudio de tipo descriptivo por etapas en la primera se realiza un análisis de información encontrada en la revisión de referencias bibliográficas relacionadas con el problema planteado, la segunda etapa fue la etapa de discusión, justificando el porqué del tema finalmente se realiza las conclusiones respecto a los objetivos específicos.

Antecedentes Nacionales

Propone Phocco (2019) en la ciudad de Puno-Perú, en la tesis de maestría en gestión ambiental y desarrollo sostenible “Estimación de la capacidad de adsorción del material particulado del aire en dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*) en la ciudad de Puno, 2018” con el objetivo de estimar la capacidad de adsorción de material particulado del aire en dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*), desarrolló una investigación descriptiva - exploratoria para ello toma un total de 12 muestras distribuidas en seis puntos que luego lleva al Mega laboratorio Ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano, mientras que para determinar el área foliar utilizó el software ImageJ, además para la comprobación de estos datos utiliza la prueba Tukey y correlación Pearson, determinando que la especie *Malva sylvestris* absorbe la mayor cantidad de contaminantes debido a que tiene en promedio 34,72 cm² de área foliar y 1107 hojas por planta.

Huatuco (2018) en la ciudad de Lima - Perú, en su tesis de maestría en Gestión Ambiental “Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima” con el objetivo de determinar la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016, investigación cuantitativo, hipotético - deductivo y cuasi experimental teniendo como población 111 árboles distribuidos en 4 distritos se muestrearon los distritos de Pueblo Libre, Jesús María, San Isidro, Surco y Miraflores. La metodología establecida es la “Guía para Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales” perteneciente al World Agroforestry Center (ICRAF). Los resultados obtenidos ejercen influencia significativamente en la captura de carbono (p value = 0.047 y $R_2 = 0.770$),

debido a la retención de material particulado por las especies arbóreas hay un aumento en la frecuencia media del Material Particulado Sedimentable (MPS), hacia otoño y disminución en verano esto puede deberse a las lluvias estivales que lavan gran parte del material particulado de las hojas.

De acuerdo con Cabrera (2019) en la ciudad de Lima -Perú, en una tesis doctoral en medio ambiente y desarrollo sostenible “Material particulado 2.5 micrómetros (μm) y la morbilidad respiratoria en los habitantes de Santa Luzmila en el distrito de Comas”, tiene como objetivo principal establecer como la medición del material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2.5}$ μg), se relaciona con las enfermedades del aparato respiratorio de la población de la Urbanización de Santa Luzmila - distrito de Comas, el tipo de investigación es cuantitativo de tipo correlacional diseño no experimental, por lo que revisan las bases de datos de los pacientes que han presentado enfermedades respiratorias entre el 2012 y 2017. Los resultados indican que el $\text{PM}_{2.5}$ se relaciona con las enfermedades respiratorias, pues se detectan 7 enfermedades principales destacando la Faringitis Aguda, No Especificada (J029), la cual representa el 37% de las enfermedades del aparato respiratorio. Por ello como conclusión refiere que se deben aplicar estrategias para mejorar la calidad de vida de las personas.

Padilla y Villegas (2018), en la ciudad de Florida Baja - Chimbote - Perú, en un artículo científico “Deposición de partículas de hollín en la superficie de las hojas de ficus (*Ficus macrophylla*) como indicador de contaminación del aire en el ecosistema urbano de Florida Baja-Chimbote”, el objetivo de la investigación fue cuantificar la deposición de hollín en el follaje de la vegetación arbustiva, durante el periodo de máxima producción (mayo, junio y julio) en las fábricas productoras de harina y aceite de pescado, el tipo de

investigación es de diseño experimental cuantitativo, se tomó un muestreo de 4 campañas para cada estación, los resultados evidencian la deposición de hollín en hojas también se determinó la tendencia o prevalencia de enfermedades respiratorias en la base de datos validados por los centros de salud de los dos ecosistemas urbanos ubicados en la zona de influencia Florida Baja y fuera de la zona de influencia Miramar, predominando la faringitis y la rinitis alérgica.

1.5.2. Marco conceptual

Contaminación atmosférica: Es la presencia de cualquier gas o partícula que puede proceder de una fuente natural o antropogénica que al estar expuesto a largos periodos de tiempo en el aire aumenta su concentración, por lo que resulta perjudicial para el sistema respiratorio, pulmonar y el ambiente (Brusseau et al., 2019).

Material particulado: Es una sustancia sólida o líquida presente en el aire que es emitida directamente a la atmósfera (aerosoles primarios) o puede desarrollarse a partir de las interacciones entre los aerosoles primarios y otros componentes en fase gaseosa de la atmósfera (aerosol secundario). Se clasifica en PM₁₀, partículas de fracción gruesa y así como PM_{2.5}, partículas finas (Adhikari, 2020).

Estándares de Calidad Ambiental (ECA): Son un referente obligatorio utilizado para el diseño y aplicación de instrumentos de gestión ambiental por lo que se aplican a las emisiones generadas por actividades productivas, extractivas y de servicio con la finalidad de garantizar la calidad del aire. (Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM, 2017).

Fitorremediación: Es una alternativa prometedora, rentable, económica, de bajo mantenimiento y estéticamente agradable que está basada en plantas por lo que busca ser respetuoso con el medio ambiente, el cual se ha explorado por su potencial para mitigar

diversos contaminantes en el aire, tanto en ambientes exteriores como en interiores. (Agarwal et al., 2019).

Hábito de vida: Este término se refiere a la apariencia general de la planta o patrón de crecimiento y considera tres hábitos: (1) árbol (con un tronco bien definido), (2) arbusto (múltiples ramas que aparecen en la base del árbol), lignificado y (3) hierba (tallos anuales no lignificados). (Vázquez-Sánchez et al., 2012).

Arbusto: Los arbustos son plantas leñosas perennes que suelen superar los 0,5 m de altura, pero en la madurez menos de 5 m y sin un dosel despejado (visualmente con varios tallos) los troncos y ramas pueden ser leñosas, por lo general son delgadas a menudo de hoja perenne como se aprecia en la Figura 1. (Camac y Lucía, 2016).

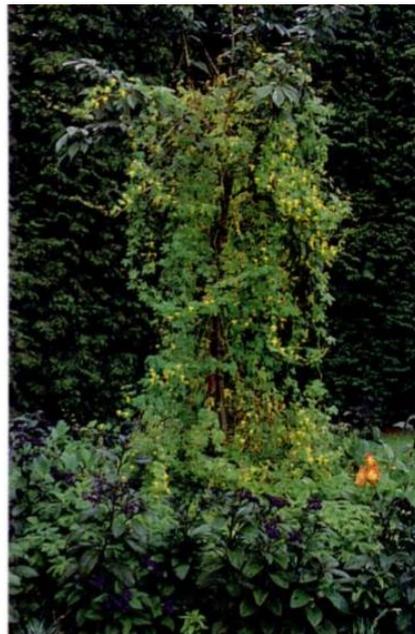
Figura 1
Arbusto Dunalila Spinosa (Meyen) Dammer



Nota. Foto de la copa del arbusto *Dunalia spinosa* (Meyen) Dammer. Tomado de Camac y Lucia (2016). Caracterización morfológica de arbustos con potencial para práctica de protección de suelos en las provincias de Jauja y Concepción, Junín

Trepadora: Son tipos de plantas que no pueden valerse por sí mismas, pero necesitan algo en lo que apoyarse y empezar a trepar (Ver Figura 2). En los hábitats naturales, este soporte generalmente lo brindan árboles o arbustos grandes, y algunas especies usan la superficie de piedras y rocas, mientras que otras simplemente crean un desorden en el suelo que crece a medida que las plantas se extienden hacia arriba. (Buczacki, 1995).

Figura 2
Trepadora Tropaeolum



Nota. La especie trepadora *Tropaeolum* se encuentra enredada en un soporte. Tomado de. Buczacki, S. (1995, 5 mayo). *Plantas trepadoras (1.a ed.)*. Tursen/Hermann Blume

Permanencia de follaje: Es una colección de hojas y ramas de árboles que contienen diversas sustancias biológicamente complejas y nutritivas. (Yepez y Gaibor, 2020).

Perennifolia: Las especies perennifolias durante todas las épocas del año conservan su follaje en consecuencia, de ello son útiles para desviar el viento en verano o invierno (Ochoa de la Torre, 1999). Se puede apreciar una especie perennifolia en la Figura 3.

Figura 3
Mahonia x media



Nota. Especie perennifolia *Mahonia x media* “Lionel Fortescue”. Tomado de (Plantas trepadoras, s. f.). *Los mejores árboles y arbustos de hoja perenne.*

Caducifolia: Las especies caducifolias en otoño pierden sus hojas y en primavera las recuperan, debido a ello son útiles en climas templados y fríos (Ochoa de la Torre, 1999). Observar especie caducifolia en Figura 4.

Figura 4
Viburnum x bodnantense



Nota. Especie caducifolia *Viburnum x bodnantense*. Tomado de. (Plantas de invierno, s.f.)

Semicaducifolio: Son aquellas especies que pierden su follaje por un periodo corto se da en especies tropicales y subtropicales leñosas. (Ochoa de la Torre, 1999)

Área foliar: El área foliar es uno de los factores más importantes que determinan las funciones principales de las hojas, como la intercepción total de la energía luminosa por parte de las plantas, lo que a su vez afecta la fotosíntesis, la transpiración, la acumulación de materia seca y el crecimiento y desarrollo de los cultivos. (Legorburo Serra, 2005)

1.5.3. Bases teóricas

Tipos de fuentes de contaminación:

Proviene de actividades humanas: fuentes estacionarias y móviles. Las fuentes estacionarias se clasifican como aquellas que se originan en áreas rurales como la producción agrícola, la minería y la extracción de minerales, mientras que las fuentes móviles incluyen cualquier tipo de vehículo motorizado de combustión como vehículos livianos a gasolina, vehículos ligeros y motores diésel, motocicletas, aeronaves, incluidos los vehículos lineales, fuentes tales como las emisiones del tráfico.

Las fuentes interiores incluyen tabaco, fuentes biológicas, emisiones de combustión, emisiones de materiales o sustancias utilizadas en interiores, como compuestos orgánicos volátiles, plomo, radón, amianto, productos químicos sintéticos. (Chavez C, 2018)

Las fuentes de contaminación del aire pueden ser naturales o artificiales. Las primeras incluyen el polvo de la superficie terrestre que puede erosionar campos de cultivo, los incendios forestales que producen grandes cantidades de PM, la sal marina en las zonas costeras y el material biológico; sin embargo, en las fuentes artificiales o antropogénicas se evidencian fuentes fijas donde encontramos centrales eléctricas, refinerías de petróleo, instalaciones industriales, actividades agrícolas y de granja, así como fuentes móviles, donde se incluyen todas las actividades de transporte (Mohamed et al., 2021).

Clasificación del material particulado

Se clasifica en PM₁₀, partículas de fracción gruesa, donde se incluyen partículas de 2,5 a 10 micrómetros de diámetro aerodinámico, así como PM_{2.5} que son partículas finas que poseen un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros, asimismo pueden tener diferentes masas debido a las variedades de sus fuentes de emisión directa (Adhikari, 2020).

Adsorción: Es la eliminación por adherencia de distintas impurezas de tipo (líquidos, gases, materia suspendida, coloides, moléculas, átomos y iones disueltos) en la superficie interna de cada sustancia. (Alexander, 2018).

Absorción: En química es una operación unitaria que consiste en la separación de uno o varios componentes de una mezcla gaseosa utilizando un solvente líquido con el cual

formara una solución. Este proceso implica la difusión molecular del gas para pasar a fase líquida. (Alexander, 2018).

Efectos del material particulado en la salud

La contaminación atmosférica genera diversos impactos en la salud como las enfermedades pulmonares, infecciones respiratorias agudas, cáncer al pulmón, trastornos renales, mortalidad prematura principalmente en niños menores a 5 años debido a la mala calidad del aire de las ciudades, se estima que contienen aproximadamente 100 bacterias y diez millones de partículas menores a 300 nanómetros (Rodríguez-Fernández et al., 2019).

Principales procesos de fitorremediación

Los procesos de fitorremediación tienen varios procesos separados, aunque se complementan considerando la naturaleza del contaminante y la fisiología de la planta, por lo que es más eficiente evaluar un intercambio de gases entre la planta, el suelo, microbios y aire (Agarwal et al., 2019).

Asimismo, para evaluar la fisiología de la planta se considera su capacidad de absorción estomática y no estomática que tiene en su superficie, periodo y área foliar, altura de la vegetación, tamaño, densidad de la copa, densidad de estomas, tricomas, longevidad de las plantas y factores fisiológicos como ceras epicuticulares (Okanen y Kontunen – Soppela. 2021).

En la Figura 5 se pueden contemplar los principales procesos de fitorremediación que se tienen (Agarwal et al., 2019):

Fitoestabilización: Proceso por el cual los contaminantes son inicialmente secuestrados para un mayor metabolismo.

Fitofiltración: Implica la detección de partículas en el aire por medio de la superficie de las hojas.

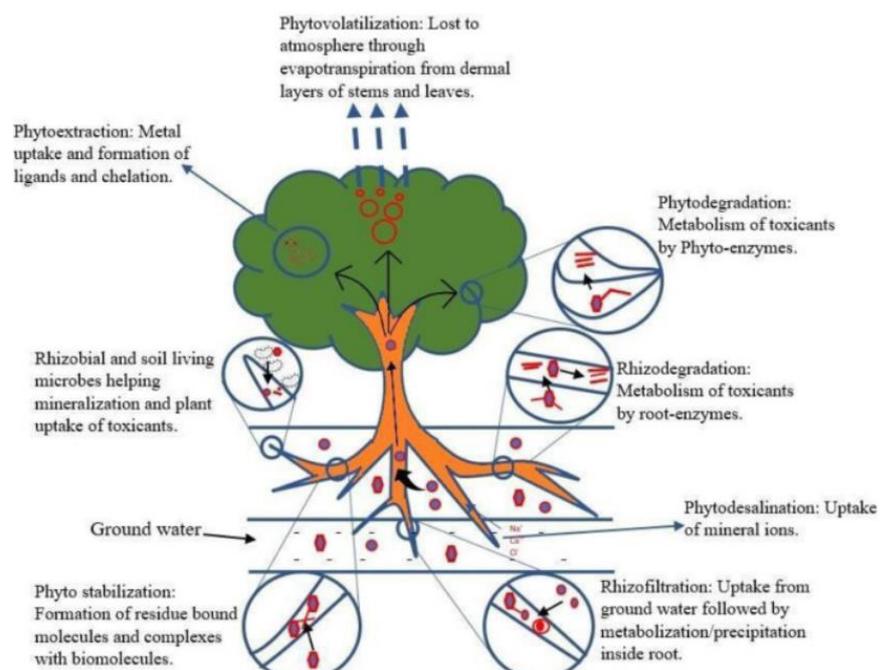
Rizodegradación: Referido a la interacción entre planta-microbio dentro de la rizosfera para metabolizar contaminantes.

Fitoextracción: Proceso de extraer contaminantes del suelo y trasladarlos a brotes.

Fitovolatilización: Es la liberación de contaminantes volátiles al aire por medio de estomas.

Figura 5

Procesos de fitorremediación y sus funciones asociadas



Nota. Tomado de Kafle et al. (2022)

Principales métodos de laboratorio utilizados por los autores

Análisis gravimétrico: Se basa en la formación de un producto cuya masa puede relacionarse con la masa del analito. En la mayoría de los casos, el analito es precipitado por un contraíón apropiado. Se hacen intentos para reducir la sobresaturación y promover

la formación de partículas grandes fácilmente filtrables, por lo que las temperaturas aumentan durante la precipitación. (Harris, 2022).

Magnetización remanente isotérmica de saturación (SRIM): Hace referencia a la magnetización que queda en un material ferromagnético (como el hierro) después de que se elimina un campo magnético externo. (Nowicki, 2018).

Plantas más utilizadas en la fitorremediación

El (Anexo N° 1, Anexo N° 1: Tabla 8) presenta las especies de plantas más estudiadas que adsorben material particulado, así como todos los autores que experimentaron con las mismas.

1.6. Justificación

Esta investigación se justifica por ser una opción que cumple con los criterios de sostenibilidad, viabilidad, económica y respeto al medio ambiente. Además, tiene un impacto positivo en la gestión ambiental llevada a cabo por las autoridades, al mismo tiempo que mejora la calidad de vida de la población al reducir los problemas de salud asociados con la contaminación atmosférica.

Conveniencia

Es conveniente para una buena gestión ambiental efectiva y se convierte en un pilar fundamental para futuras propuestas o proyectos en beneficio de la calidad del aire. Ofrece soluciones sostenibles y económicamente viables, promoviendo la preservación del medio ambiente y asegurando una gestión adecuada. Además, los hallazgos obtenidos proporcionan una base sólida para desarrollar nuevas iniciativas informadas y promover la mejora continua de la calidad del aire.

Relevancia

La relevancia de esta investigación radica en su capacidad para demostrar que las plantas pueden adsorber material particulado en espacios urbanos, lo cual tiene un impacto directo en la calidad del aire, la salud pública y la planificación urbana sostenible.

Implicancias prácticas

La implicancia de esta investigación radica en su capacidad para guiar a los gobiernos en la implementación de un sistema de gestión de la vegetación urbana orientada a la descontaminación atmosférica, lo que puede resultar en una mejora significativa de la calidad del aire y una reducción de la tasa de enfermedades respiratorias.

Valor teórico

El valor teórico de la fitorremediación radica en su contribución al entendimiento de los procesos de absorción y acumulación de contaminantes por las plantas, la identificación de especies vegetales con capacidades hiperacumuladoras y tolerantes, el desarrollo de estrategias y técnicas de fitorremediación, y la evaluación de su eficacia e impactos ambientales. Estos avances teóricos son fundamentales para mejorar la eficacia y la aplicabilidad de la fitorremediación en la remediación ambiental.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Enfoque

El enfoque cuantitativo sigue un patrón predecible y estructurado, otorga puntos de vista basado en conteo y magnitudes, por lo que representa un conjunto de procesos secuenciales, replicables que siguen un orden riguroso, además las investigaciones que posee este enfoque ofrecen la posibilidad de generalizar resultados y facilita la comparación entre estudios similares (Fernández y Baptista, 2014).

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que la variable dependiente es cuantificable numéricamente y se realizará una comparación según las diversas investigaciones. Asimismo, por el periodo temporal en el que se realiza el estudio, es de corte longitudinal, porque se recogió la información concerniente a 16 años durante los años 2005 - 2021.

2.1.2. Diseño

El diseño no experimental observa los fenómenos en el contexto natural para ser analizados, sin manipular deliberadamente las variables (Fernández y Baptista, 2014). Por esta razón, de acuerdo al diseño la investigación es no experimental debido a que no se tiene un control directo, ni se puede influir sobre ambas variables.

2.1.3. Tipo

Los estudios de tipo correlacional pretenden conocer el grado de asociación que existe entre dos conceptos por lo que tiene en cierta medida un valor parcialmente

explicativo, mientras que los descriptivos buscan describir las propiedades, características a procesos u objetos que se someten a un análisis (Fernández y Baptista, 2014). Por la profundidad, la presente investigación es un estudio del tipo descriptiva-correlacional, ya que se pretende realizar un análisis sobre la eficiencia de la fitorremediación atmosférica y establecer las probables relaciones que tiene con la contaminación del aire por el material particulado. Según su propósito es de tipo aplicativo, porque se empleó teorías sobre contaminación ambiental del aire por el material particulado.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población de la presente investigación está conformada por un total de 125 investigaciones que tienen relación con la fitorremediación atmosférica, la contaminación atmosférica y contribuyen con la mejora de la calidad del aire en las ciudades fomentando alternativas sostenibles y eco amigables con el ambiente, estas investigaciones fueron identificadas mediante una búsqueda especializada en diferentes bases de datos, el uso de las palabras clave y la aplicación de algunos criterios de inclusión que se aprecian en la figura 6 y se describen a detalle en el ítem 2.4 referido al procedimiento.

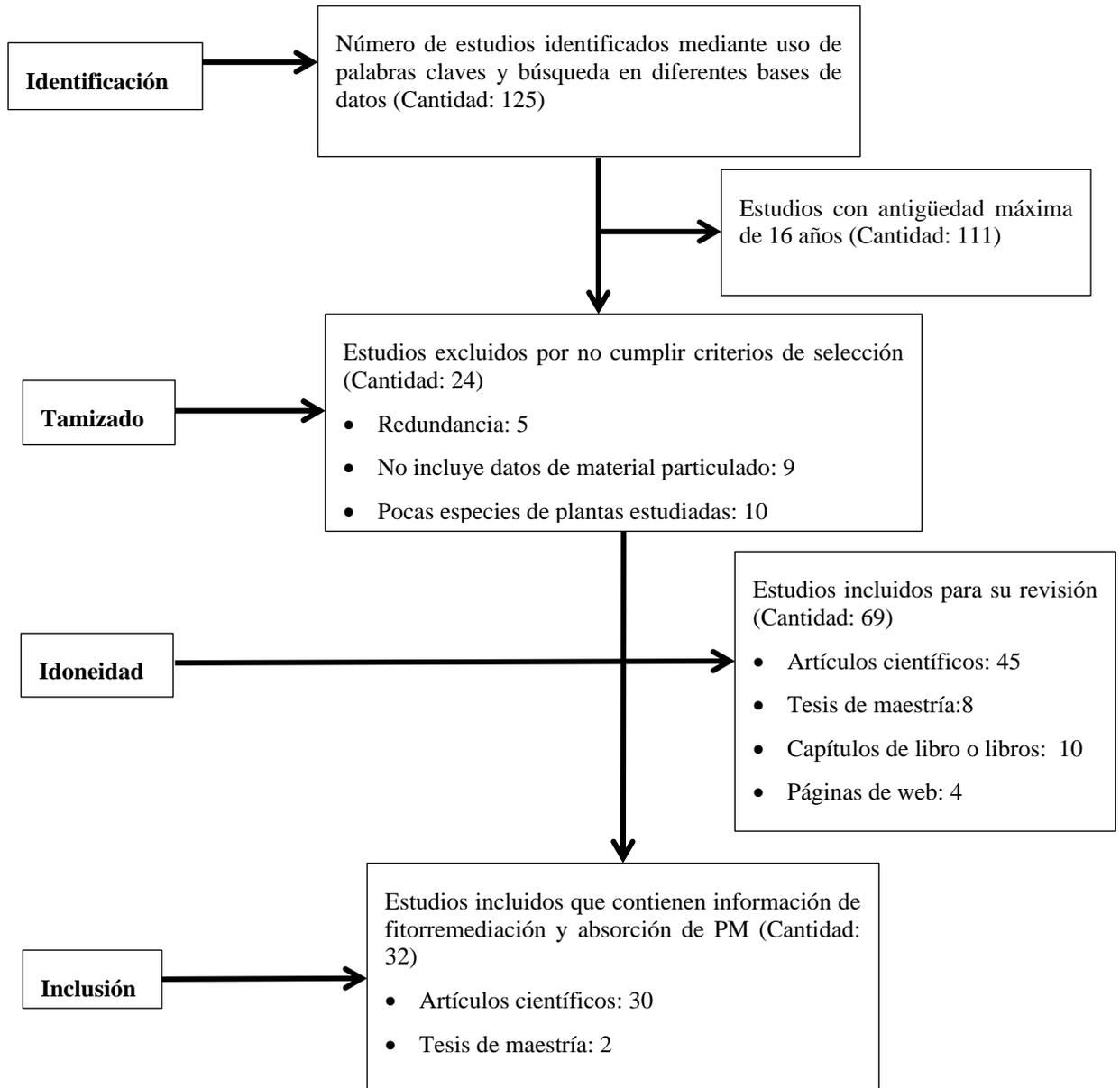
Por esta razón, se obtienen 69 estudios que nos brindan información de fitorremediación en espacios urbanos, procesos que se involucran en la adsorción de contaminantes (material particulado), diversas especies de plantas analizadas a nivel laboratorio y las metodologías utilizadas por los autores para hallar absorción de material particulado fino y grueso, de este último grupo se han seleccionado 32 estudios que responden a la pregunta y a los objetivos planteados en la investigación.

2.2.2. Muestra

La muestra está delimitada por 32 estudios que se enfocaron en las especies de plantas que tienen la mayor captación de PM, cabe resaltar que en su mayoría los estudios son desarrollados en Europa y Asia, ya que la fitorremediación a pesar de ser una temática de interés global ocupa gran importancia en dichos continentes debido a la gran contaminación que se da por el parque automotor en las urbes; sin embargo, ello no limita que la presente investigación amplifique el interés de usar alternativas sostenibles en países de América Latina y el Caribe con especies nativas o comunes que se pueden tratar para temas de arborización urbana y mejora de la calidad del aire.

Por ello, el tipo de muestra es no probabilístico, ya que se tomará en cuenta criterios impuestos por las investigadoras (las investigaciones deben encontrarse en bases de datos confiables, tener un periodo no menor al año 2005, cumplir con los objetivos propuestos, utilizar una metodología similar y contener varias especies de plantas que capturen PM) para la recolección y el análisis de los datos. Según Fernández y Baptista (2014), este tipo de muestra no es mecánico, sino que depende del proceso de decisión de los investigadores y de la contribución que le desean dar a su investigación.

Figura 6
Identificación y tamizado de documentos



2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Método

El método utilizado en la investigación fue el deductivo, puesto que se realizó un razonamiento que parte de lo general a lo específico, debido a que se tuvieron diversas investigaciones validadas que nos hablan de la temática propuesta, y a partir de allí se realizó un análisis para determinar la eficiencia de la fitorremediación.

2.3.2. Técnica

Se utilizó la técnica del análisis documental para conocer todos los estudios que estuvieron relacionados a la fitorremediación atmosférica y como instrumento para recolectar todos los datos y la información necesaria se empleó una ficha de registro donde se acoplaron e identificaron todos los estudios relevantes que se ajustaban a los objetivos propuestos en la investigación. Asimismo, como unidad de análisis se tiene a los documentos.

2.3.3. Instrumento

Para tener una mayor organización se empleó como instrumento la ficha de registro (Anexo N°4, Tabla 11) donde se analizó cada investigación, así como la metodología utilizada en la misma, el lugar de estudio, el tipo de investigación y por qué se consideró relevante para el estudio. Asimismo, como instrumentos de medición se utilizó MINITAB y el programa SPSS, con los que se cuantificó toda la data recopilada en cada investigación. Por otro lado, para evaluar el grado de coherencia y conexión del título, la pregunta de investigación, los objetivos, las variables, la población, la muestra, el tipo de investigación, diseño de la investigación, el instrumento, técnica y método de análisis se realizó la matriz de consistencia (Anexo 3, Tabla 10).

2.4. Procedimiento

En primer lugar se realizó una búsqueda especializada en bases de datos como Scielo, Redalyc, Scencedirect, Pubmed, Springer, Scopus y Repositorio Alicia y Regina para encontrar todos los estudios relevantes sobre la fitorremediación atmosférica y su relación con la contaminación ambiental específicamente material particulado, para ello se utilizó palabras clave 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).

En segundo lugar, de todos los estudios brindados por las bases de datos, para la presente investigación solo se han recopilado artículos científicos, tesis de maestría, tesis de doctorado, informes y capítulos de libro los cuales resultan más relevantes para el análisis documental.

En tercer lugar, para la selección de los estudios se tomó como criterios de inclusión que las investigaciones estén disponibles en línea, tengan una antigüedad no menor al año 2005, se encuentre en idioma español o inglés y contengan variedad de plantas fitorremediadoras, por ello en primera instancia se identificó un total de 125 investigaciones en las bases de datos mencionadas anteriormente, aunque luego de aplicar los criterios de inclusión fueron extraídas 24 investigaciones; 5 por redundancia en el tema; 9 por no incluir datos sobre el material particulado en el proceso de fitorremediación atmosférica y los 10 restantes por contener especies de plantas poco estudiadas.

Por lo que quedaron 111 investigaciones que contenían información relevante en los años establecidos (2005 – 2016), donde 69 estudios nos brindan información de fitorremediación en espacios urbanos, procesos que se involucran en la adsorción de contaminantes (material articulado), diversas especies de plantas analizadas a nivel laboratorio y las metodologías utilizadas por los autores para hallar absorción de material particulado fino y grueso, aunque de manera específica se han seleccionado 32 estudios que responden a la pregunta y a los objetivos planteados en la investigación.

En cuarto lugar, para el registro y análisis de los 32 estudios se utilizó una ficha de registro (Anexo 4, Tabla 11), 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 con la finalidad de tener una mayor organización y facilidad para su identificación.

En quinto lugar, para el tratamiento de los datos obtenidos de cada investigación seleccionada se identificaron las principales especies de plantas que evidencian adsorción de material particulado (Anexo2, Anexo N°2: Tabla 9), luego con ayuda de MINITAB se establecieron gráficos (visualizar apartado de resultados) según las diversas metodologías propuestas por los autores, para evidenciar la cantidad de material particulado grueso (PM₁₀) y fino (PM_{2.5}) por área foliar que presentan algunas de las especies de plantas.

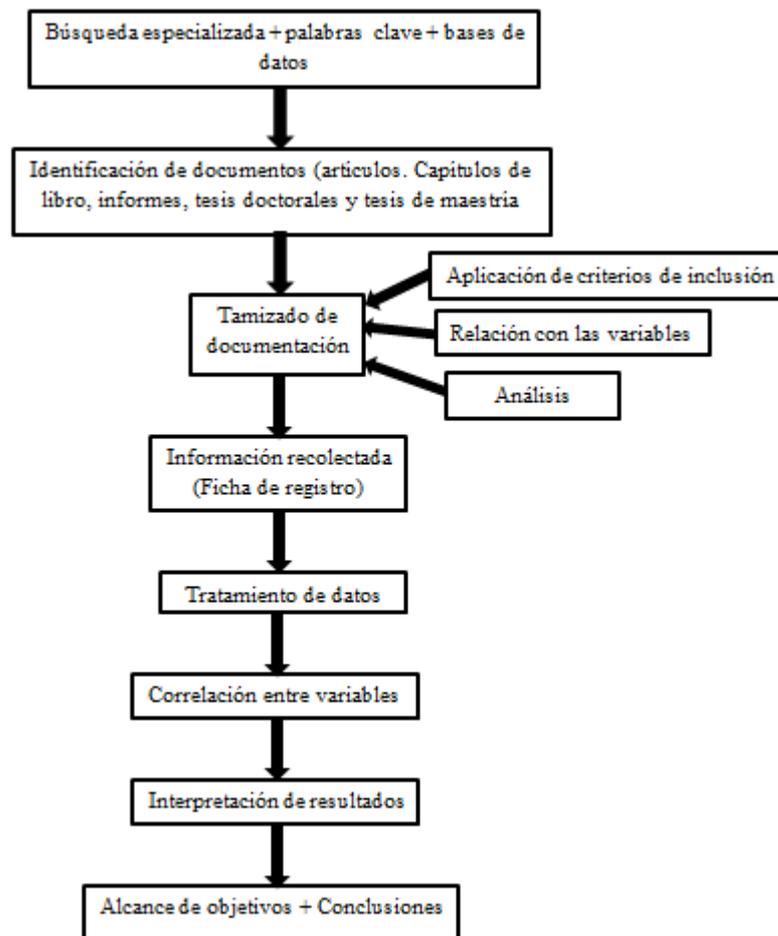
En sexto lugar, se utilizó el programa IBM SPSS para hallar la correlación entre la concentración de material particulado y la eficiencia de la fitorremediación, donde se realizó una prueba de normalidad (Kolgomorov Smirnof), donde se procesaron las variables (características fitorremediadoras y cantidad de material particulado) y dimensiones (hábito de vida, permanencia de follaje y forma foliar) descritas en el estudio, los datos obtenidos en esta prueba nos permitieron comprobar el nivel de significancia para aceptar o rechazar la hipótesis planteada en la investigación, dado que si el p valor es menor a 0.05 la distribución no es normal, por ende la prueba es no paramétrica, mientras que si el p valor es mayor que 0.05 la distribución es normal, por ende la prueba es paramétrica.

Asimismo, con ayuda del programa se halló el coeficiente de correlación Rho de Spearman (prueba no paramétrica) de las variables, luego de conocer el tipo de prueba a

emplear mediante el resultado obtenido de la prueba anterior, además se realizaron gráficos representativos que se presentan en el apartado de resultados, los cuales detallan los porcentajes obtenidos de las tablas cruzadas para $PM_{2.5}$ y PM_{10} con información de las dimensiones de la fitorremediación atmosférica (hábito de hoja, permanencia de follaje y forma foliar y el material particulado).

Finalmente se interpretó cada uno de los resultados para lograr cumplir con cada uno de los objetivos propuestos en la investigación. En la figura 7 se muestra un resumen de todo el procedimiento aplicado en la presente investigación, el cual ha sido detallado líneas arriba.

Figura 7
Procedimiento de análisis de datos



2.5. Análisis de datos

Para el análisis de los datos de PM_{2.5} y PM₁₀ se elaboraron gráficos en MINITAB, asimismo se utilizó el programa Microsoft Excel para realizar una tabla y asignar una codificación (Tabla 1) a cada especie de planta que presentó un valor de captación de material particulado.

Para establecer la correlación entre las variable dependiente e independiente se utilizó el programa informático IBM SPSS, donde se realizó un análisis de los datos obtenidos con el estadístico Kolgomorov Smirnof con el que se evaluó el grado de concordancia existente entre la distribución del conjunto de datos y la distribución teórica específica, la distribución de prueba no es normal teniendo así la certeza de que la variable es no paramétrica. Por ende, se utilizó el estadístico no paramétrico Rho de Sperman considerando la siguiente fórmula:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

N = Número de datos de las variables

d_i = Diferencia del rango del elemento “n”

El coeficiente de Rho de Sperman puede tomar el valor de +1 y -1, por ello:

- Si se obtiene un valor +1 en p significa que existe un grado de significancia positivo.
- Si se obtiene un valor de 0 en p no existe un grado de significancia entre variables

- Si se obtiene un valor -1 en p significa que existe un grado de significancia negativo.

Se determinó el grado de significancia, por lo que distribuimos los datos en dos grupos, uno para $PM_{2.5}$ y otro para PM_{10} . Posteriormente correlacionamos la cantidad de PM con el follaje de la hoja con la finalidad de conocer si la correlación es negativa, positiva o nula y con ello decidir si se rechaza o acepta la hipótesis.

2.6. Aspectos éticos

La metodología realizada en la presente investigación cumple con los principios éticos, por consiguiente para su redacción se respetó la propiedad intelectual, razón por la cual toda la información obtenida de las investigaciones seleccionadas en las diversas bases de datos ha sido parafraseada, citada y referenciada según lo indicado en el formato APA séptima edición, asimismo no hemos atentado contra el ser humano, algún ser vivo o el ambiente, tampoco dejamos de lado nuestros valores, en virtud de ello la recolección de datos y los resultados obtenidos de la ficha de registro se presentaron sin alterar los datos reales.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Realizar una descripción y caracterización morfológica de las principales plantas fitorremediadoras en espacios urbanos identificados por diversos autores.

El (Anexo 2, Anexo N°2: Tabla 9) contiene información referida a las plantas estudiadas por los 32 autores seleccionados para la investigación, dichas especies fueron seleccionadas según su capacidad para adsorber el PM_{2.5} y PM₁₀ en el área foliar de sus hojas. Por consiguiente, se obtuvo un total de 236 especies de plantas de las cuales 64 se repiten en 27 estudios, de este grupo se evidencia que la mayoría de las especies son de tipo árbol con hoja caducifolia, seguido de los arbustos perennifolias y las trepadoras, asimismo la planta que más ha sido estudiada es la *Ginkgo biloba L*; árbol caducifolio de hojas palmeadas lobuladas, seguido de la especie *Pinus Tabulaeformis*; árbol con hojas perennes.

De la lista de las 64 especies (Anexo 2, Anexo N°2: Tabla 9) descritas en el cuadro superior se tienen que, de las 47 especies de árboles identificados, solo 38 presentan un follaje caducifolio, 9 presentan un follaje perennifolio, mientras que de las 14 especies de plantas que presentan como hábito de vida arbusto, 8 son de tipo caducifolias, mientras que 1 especies (*Spiraea japonica L.*) presenta follaje semicaducifolio y 5 presentan un follaje de tipo perennifolio. Para el caso de las 3 especies trepadoras; *Parthenocissus quinquefolia* presenta follaje de tipo caducifolio con hojas ovaladas; *Hedera hélix L.* y *Parthenocissus tricuspidata* presentan un follaje perennifolio, aunque la primera presenta forma foliar elíptica y la otra presenta forma foliar palmeada lobulada.

Por otro lado de la totalidad de especie (236) de plantas recopiladas por los 32 autores se evidencia que 102 especies fueron utilizadas para captar material particulado tanto fino y grueso mediante el método gravimétrico y lavado de agua desionizada y cloroformo, de ello cabe resaltar que algunas especies captan ambos tipos de material particulado, por lo que se tiene que 94 especies absorben $PM_{2.5}$, de este grupo el hábito de vida más representativo son los árboles (69), permanencia de follaje de tipo caducifolio (69) y forma foliar de tipo elíptica (26). Mientras que de 88 especies adsorben PM_{10} las que presentan un hábito de vida más representativo son los árboles (88), permanencia de follaje de tipo caducifolio (63) y forma foliar de tipo elíptica (14). La recopilación de las especies de plantas más representativas se encuentra en el Anexo 5, Tabla 12.

3.2. Adquirir conocimiento sobre la adsorción de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las hojas de las diversas especies mediante el análisis de 4 metodologías descritas por los autores.

Basado en las investigaciones experimentales realizadas por los autores, se observa que utilizaron distintas metodologías para hallar la adsorción de material particulado.

Por ello para conocer la adsorción de $PM_{2.5}$ se han agrupado las plantas fitorremediadoras de acuerdo a la metodología utilizada. En la Figura 8a y 8b observamos las especies de plantas que analizaron los diversos autores en laboratorio mediante el análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo, obteniendo la retención de material particulado fino ($PM_{2.5}$) en el área foliar de cada especie de planta, donde se tiene que la especie *Sophora Japonica* tiene mayor captación con un valor de 362,98 $\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$ en relación a las otras especies ubicadas en este grupo, mientras que la especie con

menor captación es *Fraxinus pennsylvanica* Marsh, la cual presentó una adsorción de $0,13\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$.

Figura 8a

PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$) captado por el área foliar de cada especie según el método gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.

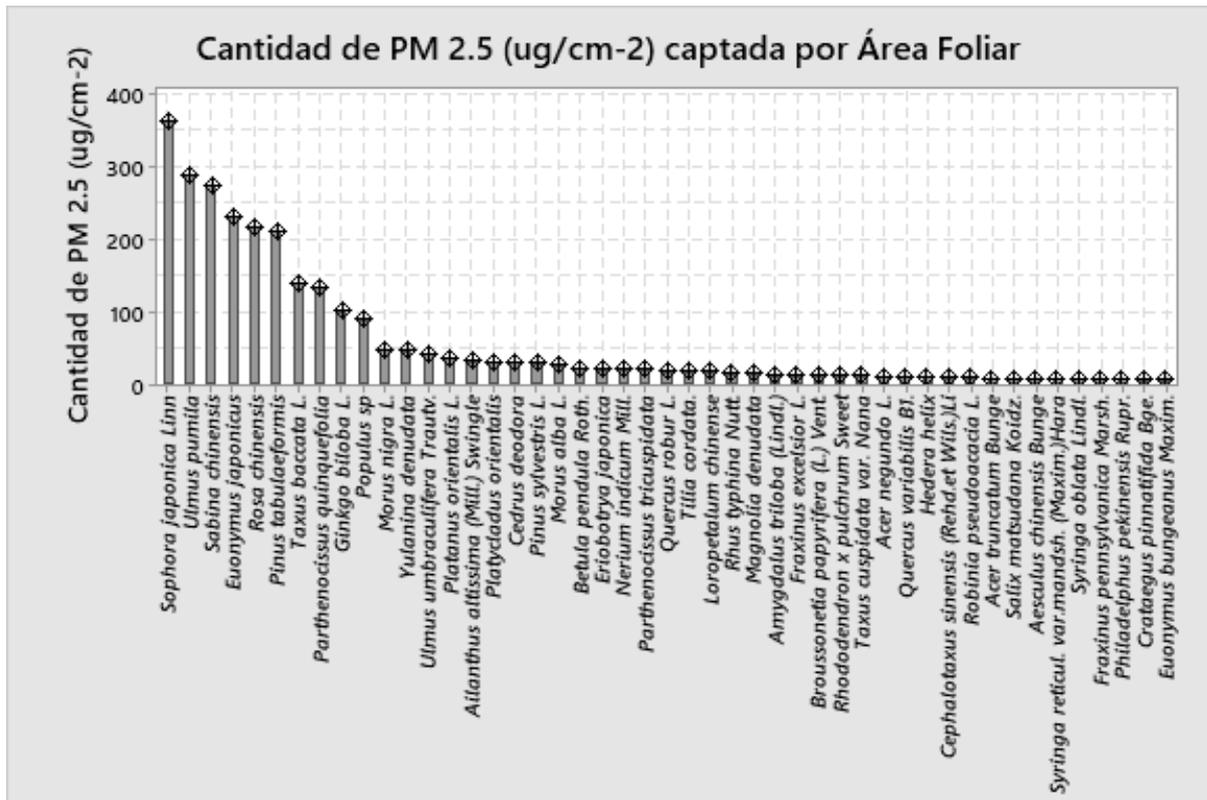
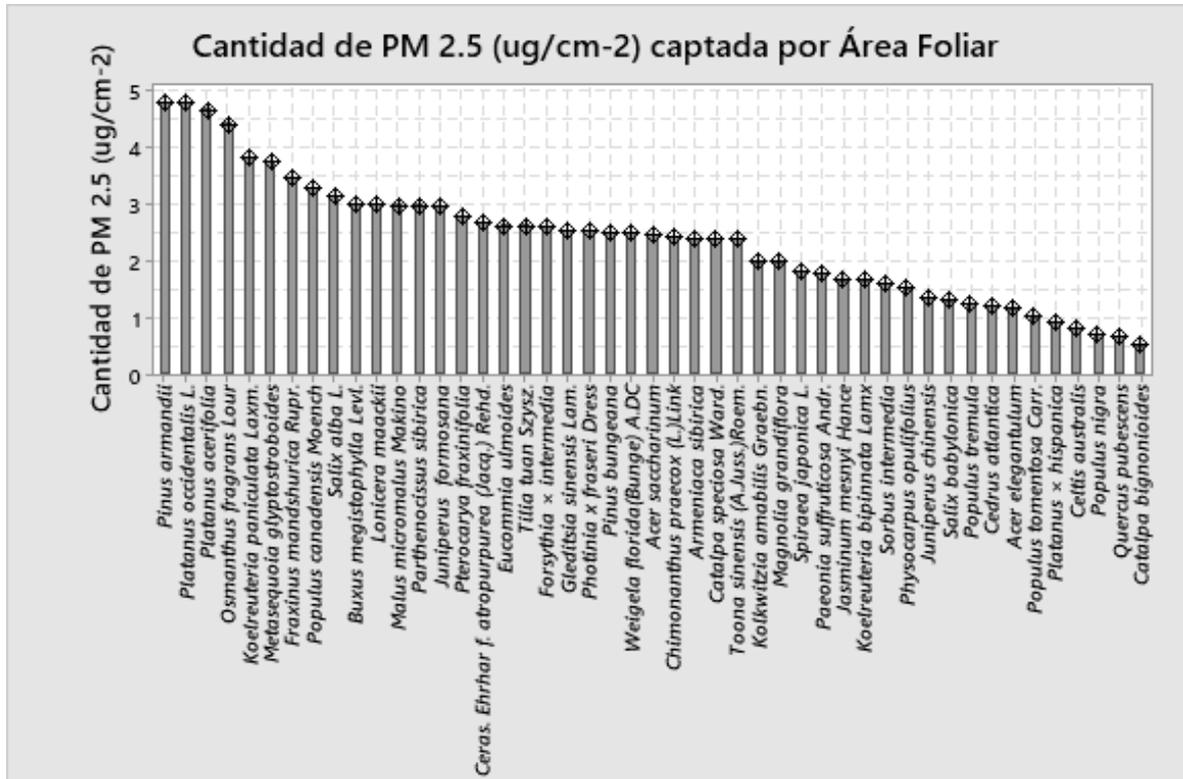


Figura 8b

PM_{2.5} (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según el método gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo.



Para conocer la adsorción de PM₁₀ observamos en la Figura 9a y 9b las especies de plantas que 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, de todas los datos recolectados se evidencia que la especie *Pinus sylvestris L.* adsorbe mayor cantidad de PM₁₀ (417,5 µg/cm⁻²) en relación a las demás especies y la especie *Pinus hellepensis Mill* con menor cantidad de PM₁₀ (0.96 µg/cm⁻²).

Figura 9a

PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la metodología de lavado y pesaje con cloroformo.

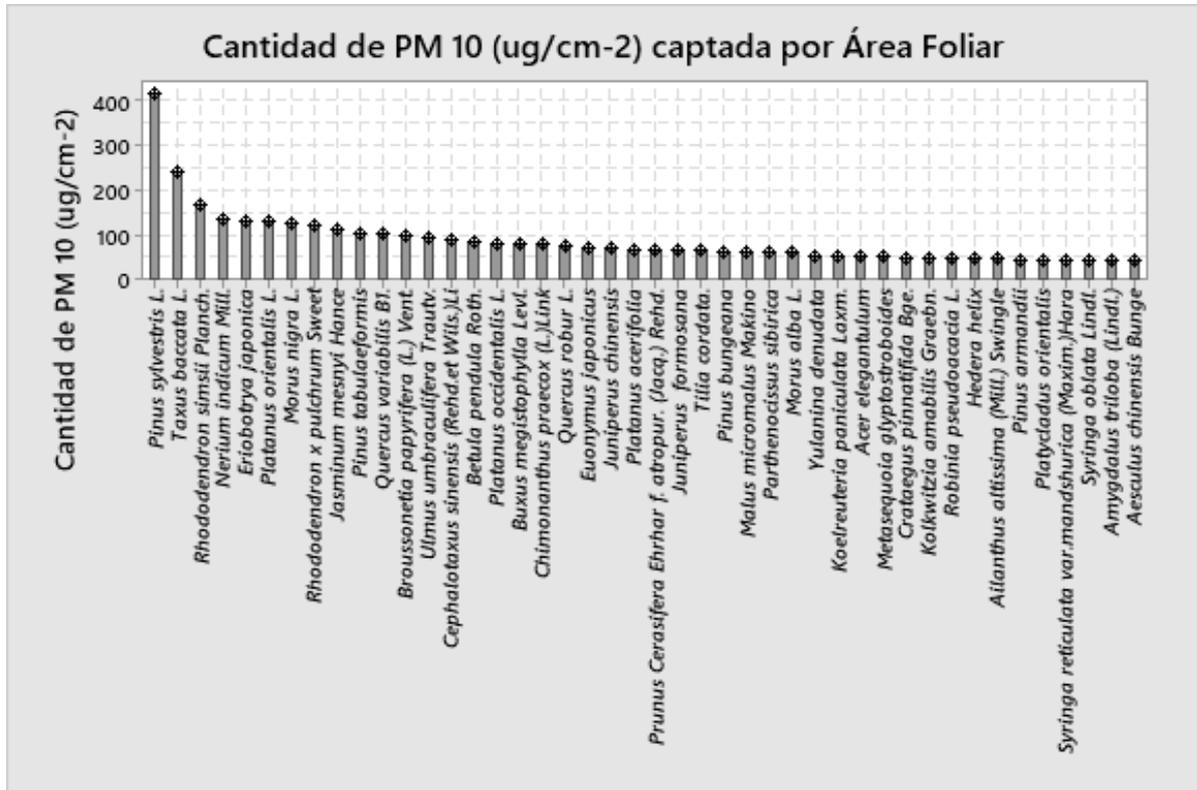
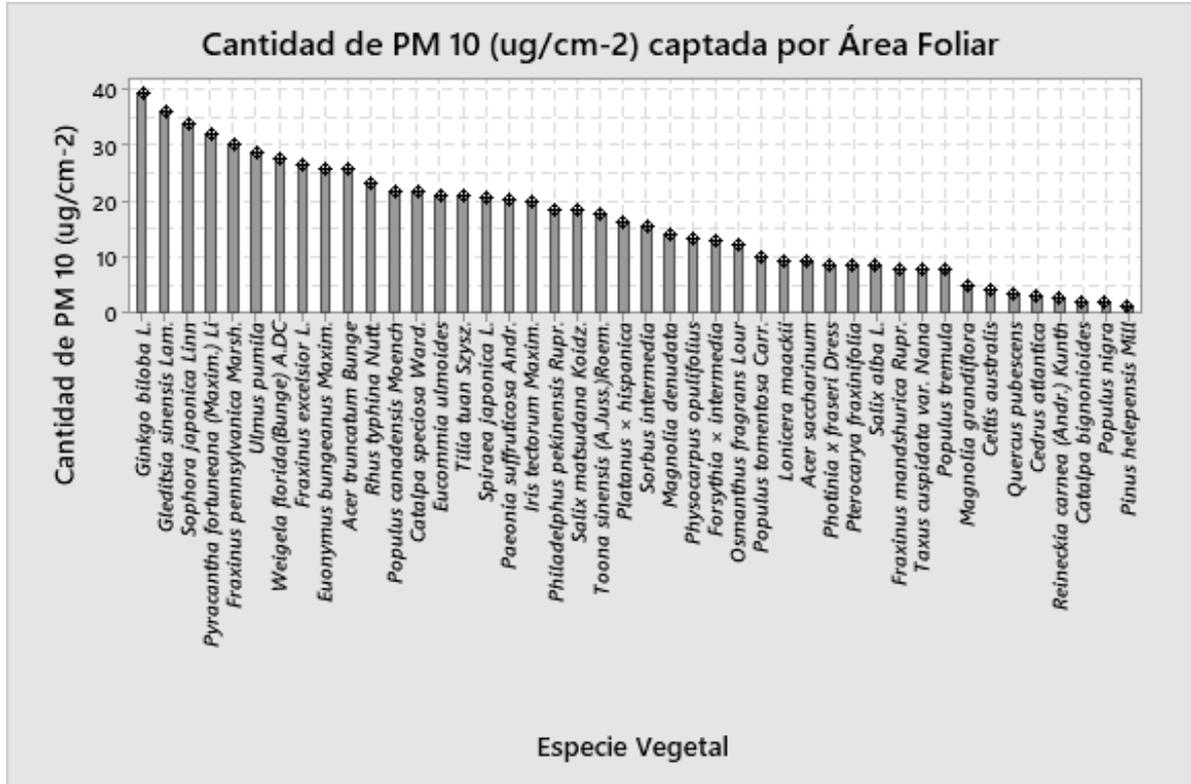


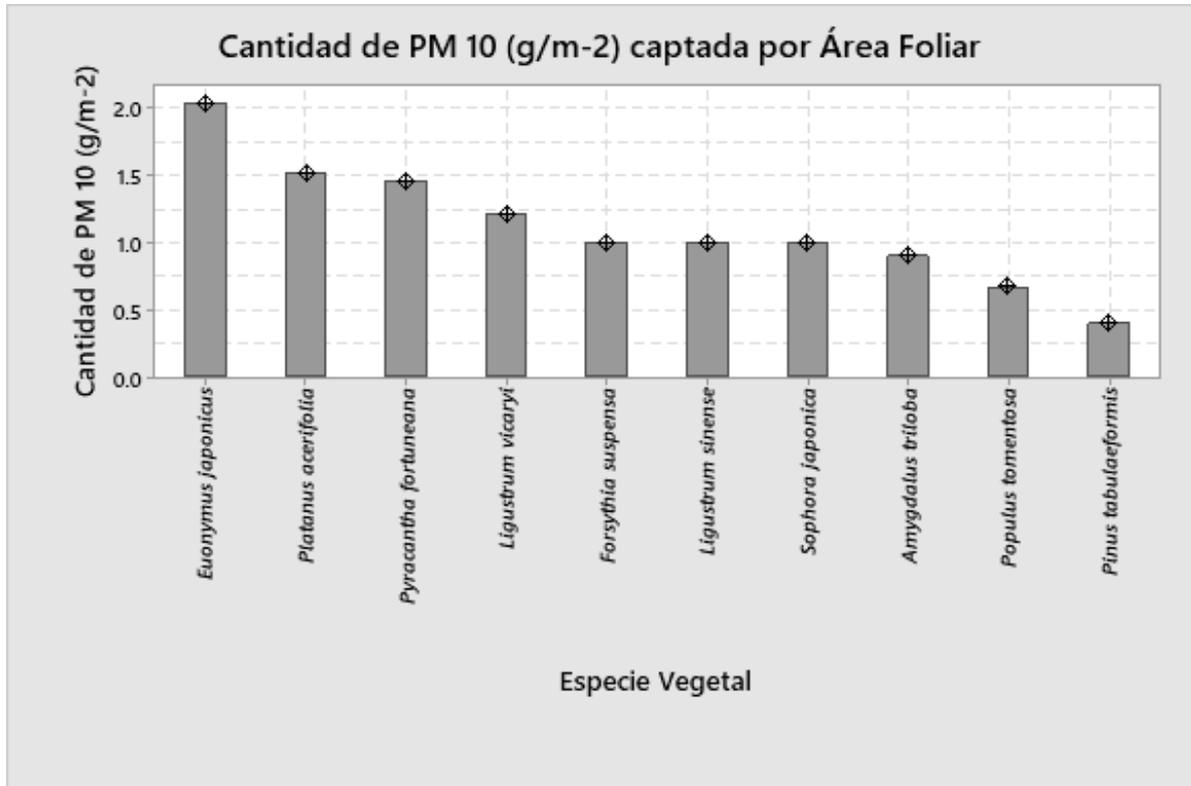
Figura 9b

PM₁₀ (µg/cm⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la metodología de lavado y pesaje con cloroformo.



En la Figura 10 los resultados que observamos fueron obtenidos por los autores y tienen como metodología al análisis gravimétrico mediante simulación por lavado de lluvia, donde la especie *Euonymus japonicus adsorbe* mayor cantidad de PM₁₀ (1.96 gm⁻²) y la de menor cantidad es *Pinus tabulaeformis* con un valor de 0.40 gm⁻² en relación a las otras especies ubicadas en este grupo.

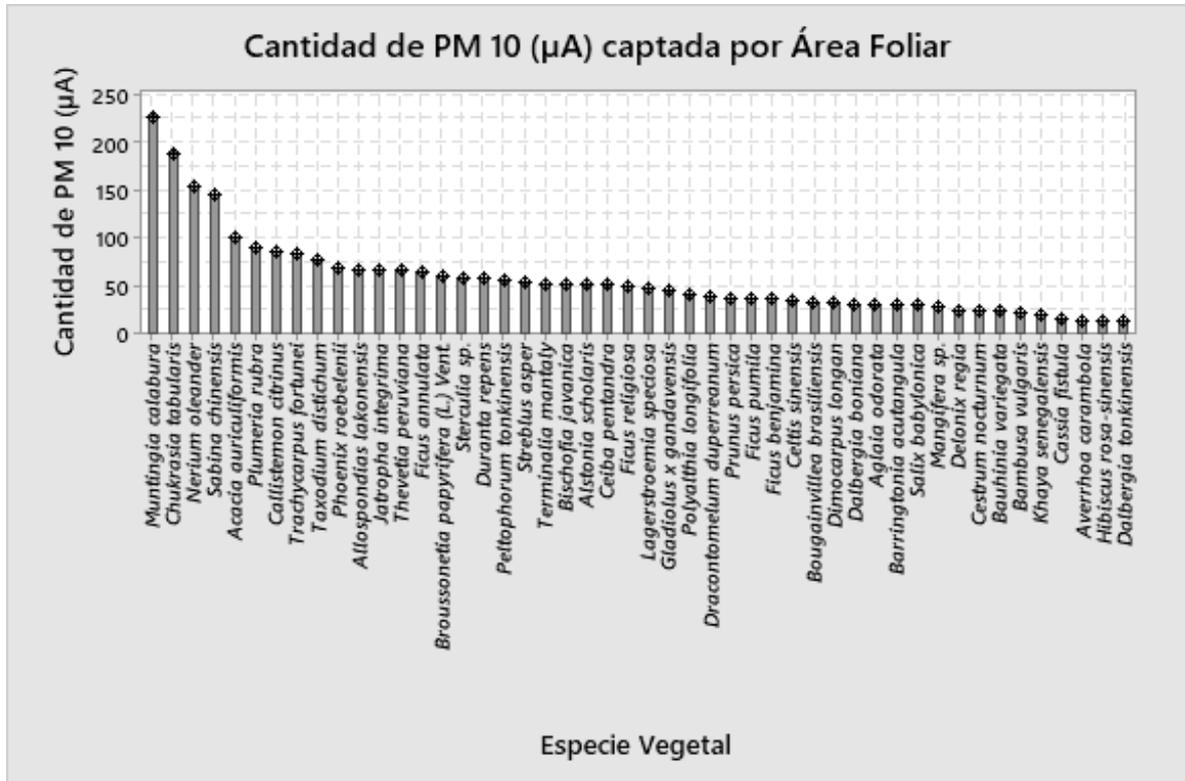
Figura 10
PM₁₀ (g m⁻²) captado por el área foliar de cada especie según la simulación por lavado de lluvia



En la Figura 11 observamos las especies de plantas recolectadas por los autores que captaron material particulado grueso mediante Magnetización Remanente Isotérmica de Saturación (SIRM, por sus siglas en inglés), de todo este grupo la especie *Muntingia calabura* adsorbe mayor cantidad de PM₁₀ (227,8 μA) a diferencia de la especie *Dalbergia tonkinensis* 12,9 (μA).

Figura 11

PM₁₀ (µA) captado por el área foliar de cada especie mediante Magnetización Remanente Isotérmica de Saturación (SIRM)



De todo el análisis observado anteriormente, se evidencia que existen diversas metodologías fiables, económicas, no destructivas para medir la contaminación del aire por material particulado fino y grueso en espacios urbanos, debido a que la captura de dicho contaminante se debe a diversas condiciones ambientales como el viento, la temperatura o la precipitación; como es el caso de la metodología de simulación por lavado de lluvia donde la precipitación generada se considera una limpieza de filtro, dejando las hojas listas para más deposición por ser un factor crucial para recuperar la función de filtrado foliar de PM, así como lo realiza el método gravimétrico y el procedimiento de lavado con agua desionizada y cloroformo, ya que para conocer la adsorción de PM que ha tenido cada especie de planta se analiza la morfología de la hoja en especial en la superficie y ceras, así como su contenido de iones solubles en el agua y el cloroformo, respectivamente.

Asimismo, se evidenció la presencia de material particulado en diversas especies de plantas respecto a la relación que guardan con la concentración de metales pesados mediante granos magnéticos como es el caso de la metodología SIRM.

Por ello, para conocer la eficiencia en la captación de material particulado grueso y fino en las especies de plantas, se utiliza la metodología más estudiada por los diversos autores; el método gravimétrico mediante lavado de las muestras con agua desionizada y cloroformo, en consecuencia, los datos obtenidos en esta metodología se procesan en el programa IBS SPSS, debido a que obtuvimos gran cantidad de valores de PM en la misma unidad ($\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$).

3.3. Efectuar un análisis descriptivo correlativo para evaluar la relación entre las características de las especies de plantas descritas por los autores y su capacidad de adsorción de material particulado

Con los datos obtenidos por los diversos autores se clasifican 94 especies de plantas que captan $\text{PM}_{2.5}$ y 88 que captan PM_{10} para establecer el grado de correlación que tienen las variables.

En la Tabla 1 se establece la codificación a utilizar para la relación entre el material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) y la fitorremediación atmosférica.

Tabla 1
Codificación para SPSS

Variable	1	2	3
Hábito de vida	Trepadora	Arbusto	Árbol
Permanencia del follaje	Caducifolia	Semicaducifolia	Perennifolia
Forma foliar	Elíptica	Lanceolada	Palmeada lobulada
Cantidad de PM _{2.5} (ug/cm ⁻²)	0 - 41	42 – 123	124 - 363
Cantidad de PM ₁₀ (ug/cm ⁻²)	0 - 41	42 – 123	124 - 418

Para el procesamiento en el SPSS las variables involucradas se agrupan en 2 grupos y se codifican de la siguiente manera:

Variable 1 (FATOTAL): Hábito de vida (FA1) + Permanencia de Follaje (FA2) + Forma Foliar (FA3)

Variable 2 (PM TOTAL): Cantidad total de PM_{2.5}/ PM₁₀

Para la selección del estadístico de correlación, se ejecuta la prueba de normalidad mediante el estadístico Kolmogórov-Smirnov, donde se utilizan las variables y dimensiones mencionadas anteriormente. Los datos obtenidos nos permiten comprobar el nivel de significancia. Por ello, en la Tabla 2, se muestran los indicadores de normalidad de las variables y dimensiones para las plantas que adsorben PM_{2.5} donde se evidencia que la significancia asintótica bilateral en todos los casos es de $p,000 < 0.005$, por lo que se tiene la certeza para utilizar una prueba no paramétrica, por ello en la presente investigación se utiliza la correlación de Rho de Spearman.

Tabla 2

Selección del estadístico de correlación de acuerdo con la normalidad de variables y dimensiones para material particulado fino

		Hábito	Permanencia follaje	Forma foliar	PM fino_rec	Fatotal	PM fino
N		94	94	94	94	94	94
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2.69	1.51	1.87	1.20	6.07	29.5241
	Desv. Desviación	.549	.864	.737	.579	1.148	67.42435
Máximas diferencias extremas	Absoluto	.447	.457	.228	.520	.205	.347
	Positivo	.287	.457	.222	.520	.155	.347
	Negativo	-.447	-.277	-.228	-.363	-.205	-.333
Estadístico de prueba		.447	.457	.228	.520	.205	.347
Sig. asintótica(bilateral)		.000 ^c	.000 ^c	.000 ^c	.000 ^c	.000 ^c	.000 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

En la Tabla 3, se observa la correlación de Rho de Spearman entre todas las dimensiones de la variable 1 y la variable 2 (material particulado fino), mostrando en la mayoría de los casos una correlación significativa menor al 5%, es decir una significancia bilateral $p,000 < 0.005$.

Tabla 3

Relación entre las variables y dimensiones para el material particulado fino

			Hábito	Permanencia follaje	Forma foliar	PM fino_rec	Fa total	PM fino
Rho de Spearman	Hábito	Coeficiente de correlación	1.000	-.305**	.115	.071	.260*	.087
		Sig. (bilateral)	.	.003	.270	.499	.011	.404
		N	94	94	94	94	94	94
	Permanencia Follaje	Coeficiente de correlación	-.305**	1.000	-.034	.175	.573**	.208*
		Sig. (bilateral)	.003	.	.748	.092	.000	.044
		N	94	94	94	94	94	94
	Forma foliar	Coeficiente de correlación	.115	-.034	1.000	.003	.684**	-.057
		Sig. (bilateral)	.270	.748	.	.980	.000	.588
		N	94	94	94	94	94	94
PM fino_rec	Coeficiente de correlación	.071	.175	.003	1.000	.193	.558**	
	Sig. (bilateral)	.499	.092	.980	.	.063	.000	
	N	94	94	94	94	94	94	
Fa total	Coeficiente de correlación	.260*	.573**	.684**	.193	1.000	.173	
	Sig. (bilateral)	.011	.000	.000	.063	.	.095	
	N	94	94	94	94	94	94	
PM fino	Coeficiente de correlación	.087	.208*	-.057	.558**	.173	1.000	
	Sig. (bilateral)	.404	.044	.588	.000	.095	.	
	N	94	94	94	94	94	94	

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la Tabla 4 se muestra que el valor de $p,044 < 0.05$ se encuentra debajo del nivel de significancia por lo que se acepta la hipótesis de la investigación, con lo que podemos indicar que existe correlación entre el material particulado fino y la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos. Asimismo, el coeficiente de correlación es $r = 0.208$, lo que significa que existe una correlación positiva baja entre las variables.

Tabla 4

Relación entre el material particulado fino y la fitorremediación atmosférica (permanencia de follaje) en espacios urbanos

			Permanencia follaje	PMfino
Rho de Spearman	Permanencia follaje	Coeficiente de correlación	1.000	.208*
		Sig. (bilateral)	.	.044
		N	94	94
	PMfino	Coeficiente de correlación	.208*	1.000
		Sig. (bilateral)	.044	.
		N	94	94

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la Tabla 5, se presentan los indicadores de normalidad de las variables y dimensiones para las plantas que adsorben PM_{10} donde se evidencia que la significancia asintótica bilateral en todos los casos es de $p,000 < 0.005$, por lo que se debe utilizar una prueba no paramétrica, por ello para establecer la correlación en la presente investigación se utiliza la correlación de Rho de Spearman.

Tabla 5

Selección del estadístico de correlación de acuerdo con la normalidad de acuerdo con las variables y dimensiones para material particulado grueso.

		Fa1	Fa2	Fa3	RePM	Fatotal	PMgrueso
N		88	88	88	88	88	88
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2.68	1.55	1.80	1.53	5.93	51.0983
	Desv. Desviación	.537	.883	.730	.624	1.211	57.93175
Máximas diferencias extremas	Absoluto	.439	.448	.249	.338	.186	.193
	Positivo	.277	.448	.249	.338	.154	.165
	Negativo	-.439	-.268	-.224	-.238	-.186	-.193
Estadístico de prueba		.439	.448	.249	.338	.186	.193
Sig. asintótica(bilateral)		.000 ^c					

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

En la Tabla 6, se observa la correlación entre todas las dimensiones de la variable 1 y la variable 2 (material particulado grueso), mostrando en la mayoría de los casos una correlación significativa menor al 5%.

Tabla 6

Relación entre las variables y dimensiones para el material particulado grueso

			Fa1	Fa2	Fa3	RePM	Fatotal	PMgrueso
Rho de Spearman	Fa1	Coeficiente de correlación	1.000	-.280**	.071	-.130	.276**	-.148
		Sig. (bilateral)	.	.008	.512	.229	.009	.169
		N	88	88	88	88	88	88
	Fa2	Coeficiente de correlación	-.280**	1.000	-.034	.270*	.542**	.264*
		Sig. (bilateral)	.008	.	.754	.011	.000	.013
		N	88	88	88	88	88	88
	Fa3	Coeficiente de correlación	.071	-.034	1.000	-.091	.659**	-.024
		Sig. (bilateral)	.512	.754	.	.398	.000	.828
		N	88	88	88	88	88	88
	RePM	Coeficiente de correlación	-.130	.270*	-.091	1.000	.066	.874**
		Sig. (bilateral)	.229	.011	.398	.	.543	.000
		N	88	88	88	88	88	88
	Fatotal	Coeficiente de correlación	.276**	.542**	.659**	.066	1.000	.110
		Sig. (bilateral)	.009	.000	.000	.543	.	.307
		N	88	88	88	88	88	88
	PMgrueso	Coeficiente de correlación	-.148	.264*	-.024	.874**	.110	1.000
		Sig. (bilateral)	.169	.013	.828	.000	.307	.
		N	88	88	88	88	88	88

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la Tabla 7 se muestra que el valor de $p,013 < 0.05$ se encuentra debajo del nivel de significancia por lo que se acepta la hipótesis de la investigación, con lo que podemos indicar que existe correlación entre el material particulado grueso y la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos. Asimismo, el coeficiente de correlación es $r = 0.264$, lo que significa que existe una correlación positiva baja entre las variables.

Tabla 7

Relación entre el material particulado grueso y la fitorremediación

			Fa2	PMgrueso
Rho de Spearman	Fa2	Coeficiente de correlación	1.000	.264*
		Sig. (bilateral)	.	.013
		N	88	88
	PM grueso	Coeficiente de correlación	.264*	1.000
		Sig. (bilateral)	.013	.
		N	88	88

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

3.4. Hipótesis general: la eficiencia de la fitorremediación atmosférica se relaciona directamente con la disminución del material particulado

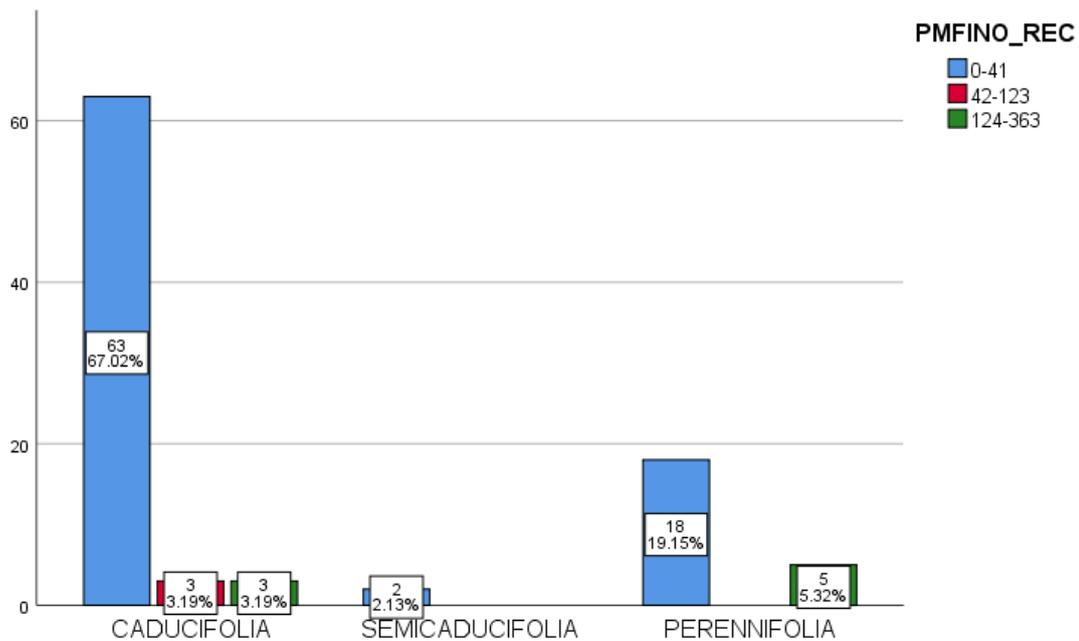
Para hallar la eficiencia de la fitorremediación se han analizado las dimensiones que involucran la fitorremediación con la cantidad de adsorción del material particulado, por lo que se han realizado tablas cruzadas con los valores asignados en el programa IBM SPSS con la finalidad de conocer las especies arbóreas óptimas para la adsorción de $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

En la figura 12 se observa la relación entre tipo de permanencia follaje de las 94 especies arbóreas con respecto a los rangos establecidos de captación de material

particulado fino procesados en el programa SPSS, donde se obtuvo que el 88.3% de las especies de plantas adsorbe menor cantidad de PM_{2.5} con un rango que va de 0 a 41 μg/cm⁻², de las cuales el 67% de las especies de plantas tienen permanencia de follaje de tipo caducifolia. Asimismo, solo 8 especies de plantas adsorben la mayor cantidad de PM_{2.5}, de las mismas el 3.02 % de las mismas son caducifolias y el 5.03% es perennifolia, destacando de este último grupo las especies *Sabina chinensis* (275.10 μg/cm⁻²), *Pinus tabulaeformis* (210.10 μg/cm⁻²), *Euonymus japonicus* (230.90 μg/cm⁻²), *Taxus baccata L.* (138.80 μg/cm⁻²) y *Parthenocissus quinquefolia* (132.20 μg/cm⁻²).

Figura 12

Relación entre la permanencia de follaje de las especies de plantas y los rangos de PM_{2.5}.

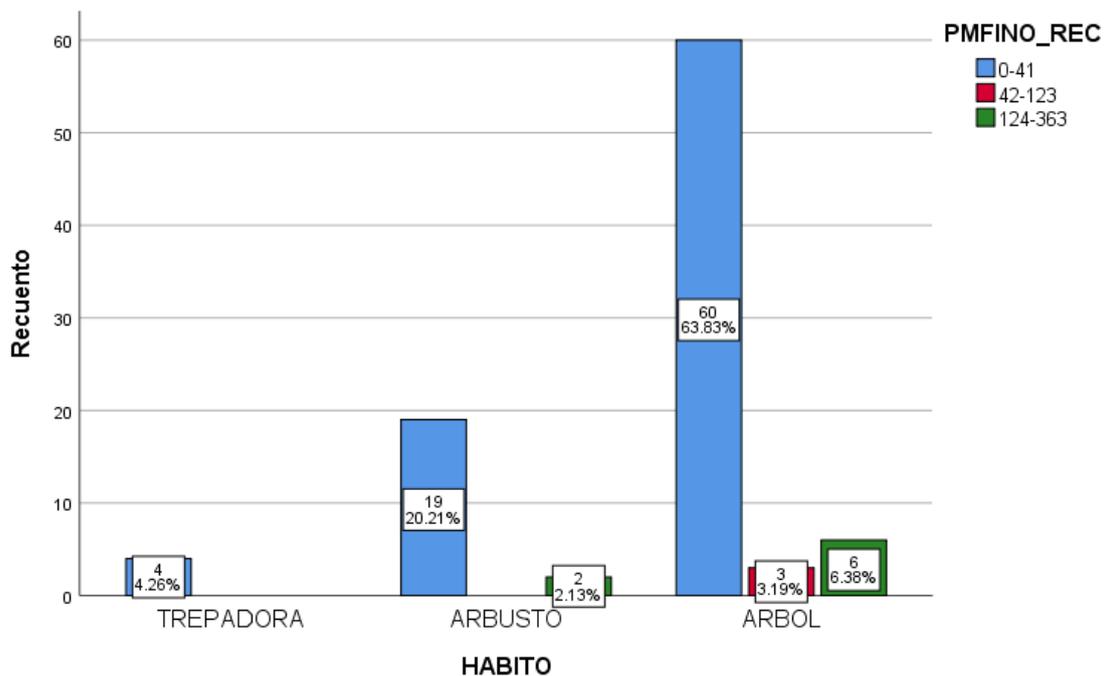


En la figura 13 se observa la relación entre tipo de hábito de las 94 especies de plantas con respecto a los rangos establecidos de captación de material particulado fino, obteniendo que de 69 especies que poseen hábito de tipo árbol; 60 adsorben la menor cantidad de PM_{2.5} (0 - 41 μg/cm⁻²), 6 adsorben una cantidad media (42 – 123 μg/cm⁻²) y 6 la

mayor cantidad ($124 - 364 \mu\text{g}/\text{cm}^2$); siendo las especies *Sophora japonica* ($362.98 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), *Ulmus pumila* ($288.32 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), *Sabina chinensis* ($275.10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), *Pinus tabulaeformis* ($210.12 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), *Taxus baccata L.* ($138.80 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) y *Parthenocissus quinquefolia* ($132.20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Figura 13

Relación entre el tipo de hábito y los rangos de $\text{PM}_{2.5}$.

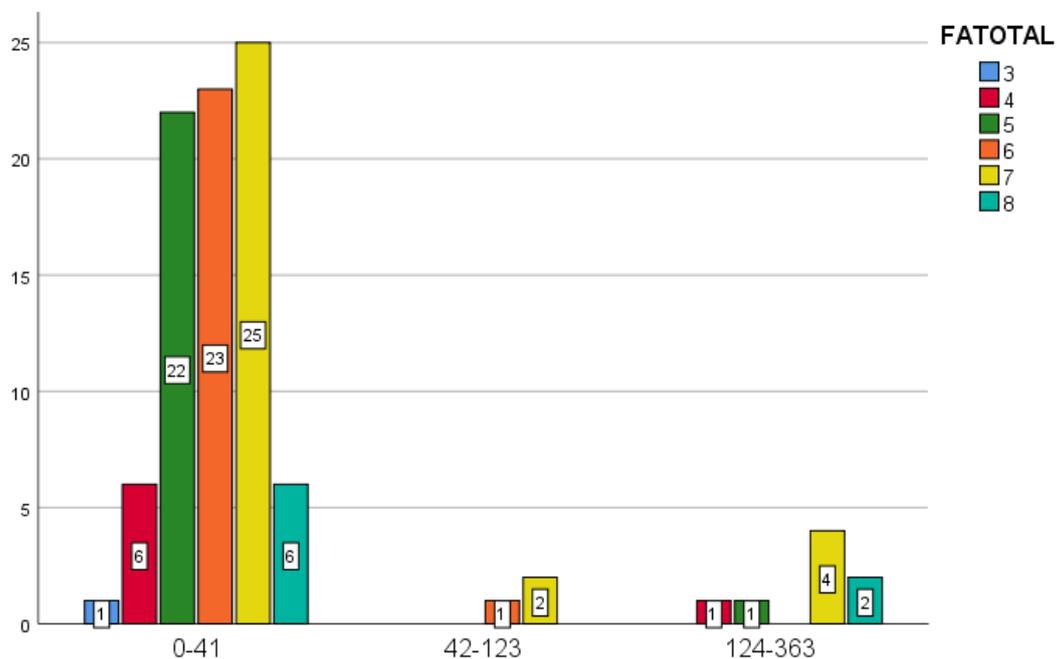


En la figura 14 se observa la relación entre los rangos de $\text{PM}_{2.5}$ y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica, el puntaje mínimo es 3 obtenido por la especie trepadora *Parthenocissus sibirica* con tipo de follaje caducifolio de hojas lanceolada, con una adsorción de $2.98 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ y los puntajes máximos son 7 y 8, en el primer grupo se encuentran árboles de tipo perennifolio con hojas palmeadas lobuladas, destacando la especie *Sophora japonica Linn* ($362.98 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) y mientras que en el otro grupo se encuentran árboles de tipo perennifolio con hojas lanceoladas, destacando la especie *Sabina chinensis* ($275.10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). De las 94 especies analizadas solo 8 (8.5%) captan la

mayor cantidad de $PM_{2.5}$ (124 - 364 $\mu g/cm^2$), de las cuales las más eficientes son *Sabina chinensis* (275.10 $\mu g/cm^2$), *Taxus baccata L.* (138.80 $\mu g/cm^2$) ya que ocupan el mayor puntaje. Aunque también existen especies que ocupan el mayor puntaje: sin embargo, su captación de adsorción es mínima como es el caso de las especies *Pinus bungeana* (2.50 80 $\mu g/cm^2$), *Juniperus Formosa* (2.96 $\mu g/cm^2$) y *Osmanthus fragrans Lour* (4.42 $\mu g/cm^2$)

Figura 14

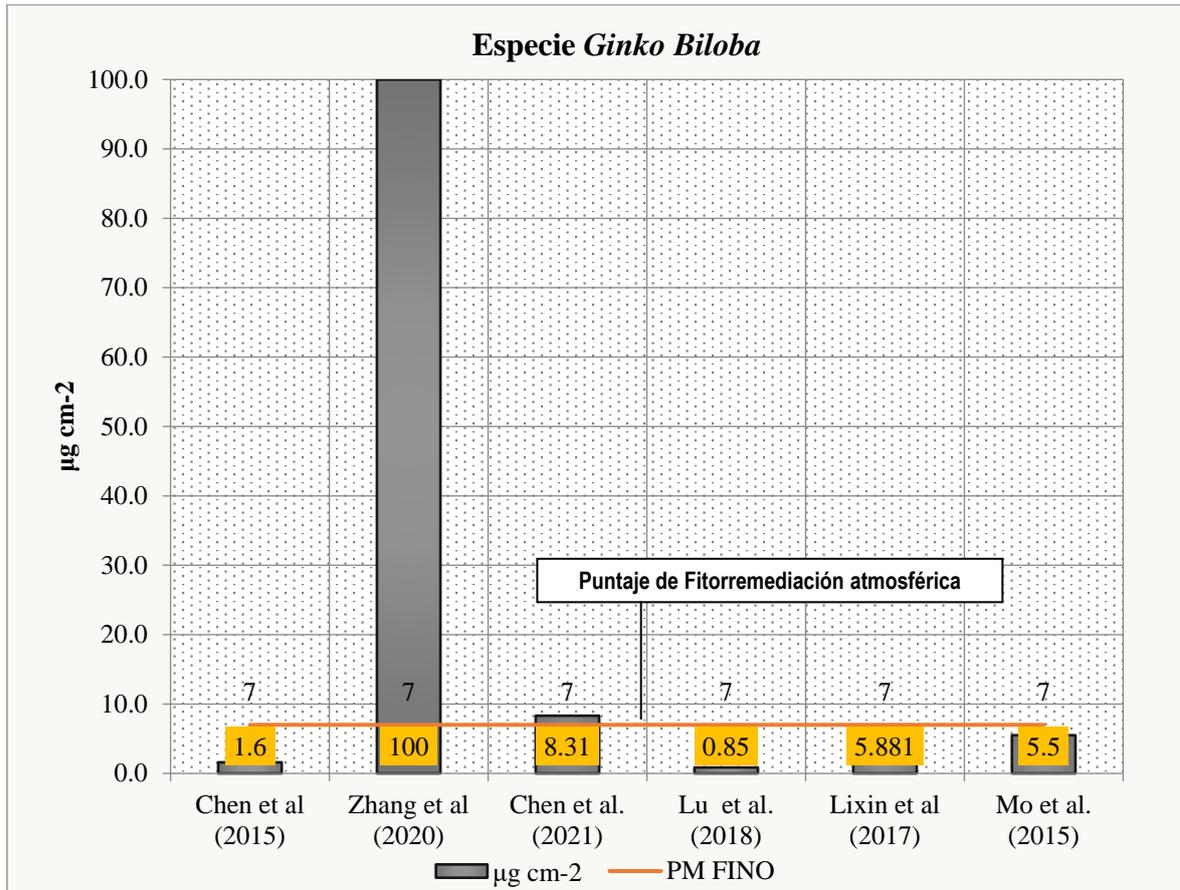
Relación entre los rangos de $PM_{2.5}$ y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica.



En la figura 15 se observa la relación entre los rangos de $PM_{2.5}$ y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Ginkgo biloba*, la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 7 y ha sido estudiada por 6 autores, destacando el autor Zhang et al (2020) por presentar una adsorción de 100 $\mu g/cm^2$, seguido de autor Chen et al (2021) que presenta por presentar una adsorción de 8.31 $\mu g/cm^2$.

Figura 15

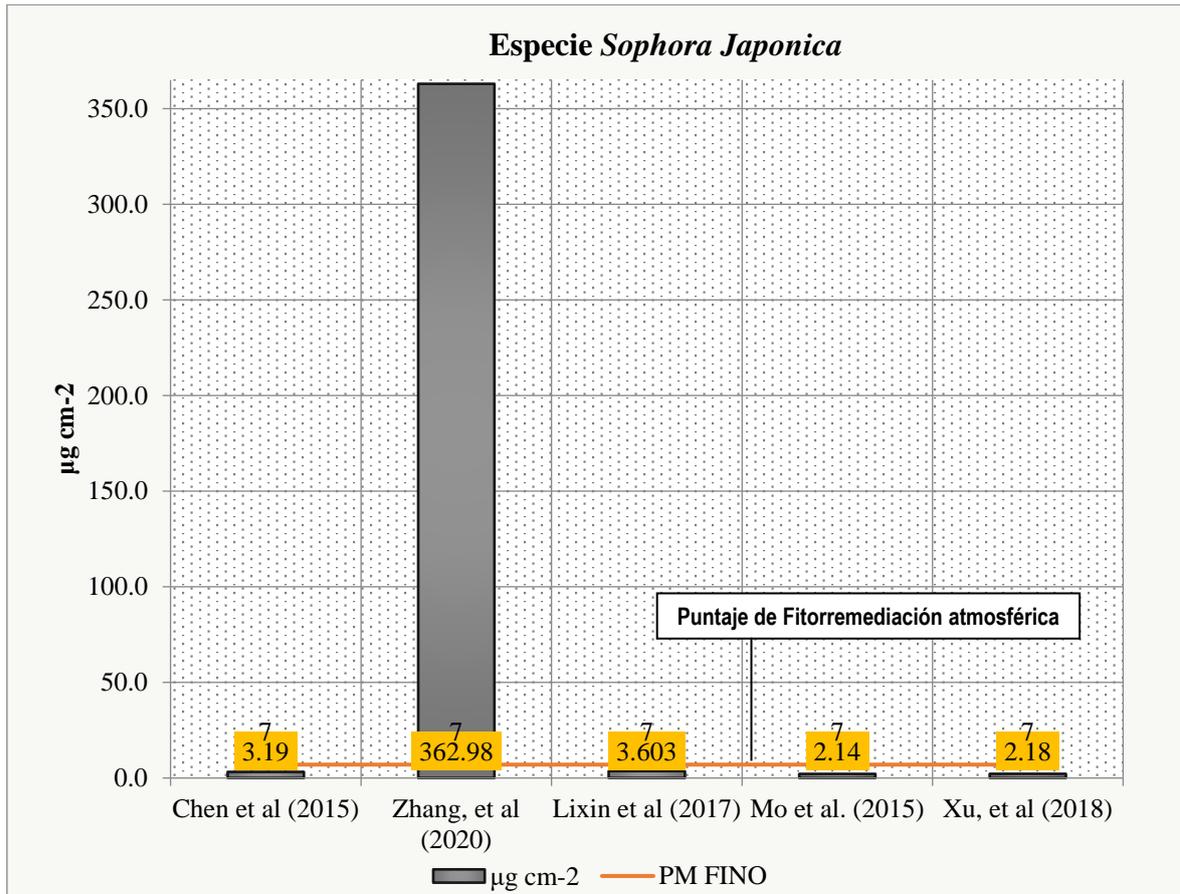
Relación entre los rangos de $PM_{2.5}$ y la eficiencia de la especie Ginkgo Biloba



En la figura 16 se observa la relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Sophora Japonica*, la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 7 y ha sido estudiada por 5 autores, destacando el autor Zhang et al (2020) por presentar una adsorción de 362.98 µg/cm², seguido de autor Lixin et al (2021) que presenta por presentar una adsorción de 3.19 µg/cm².

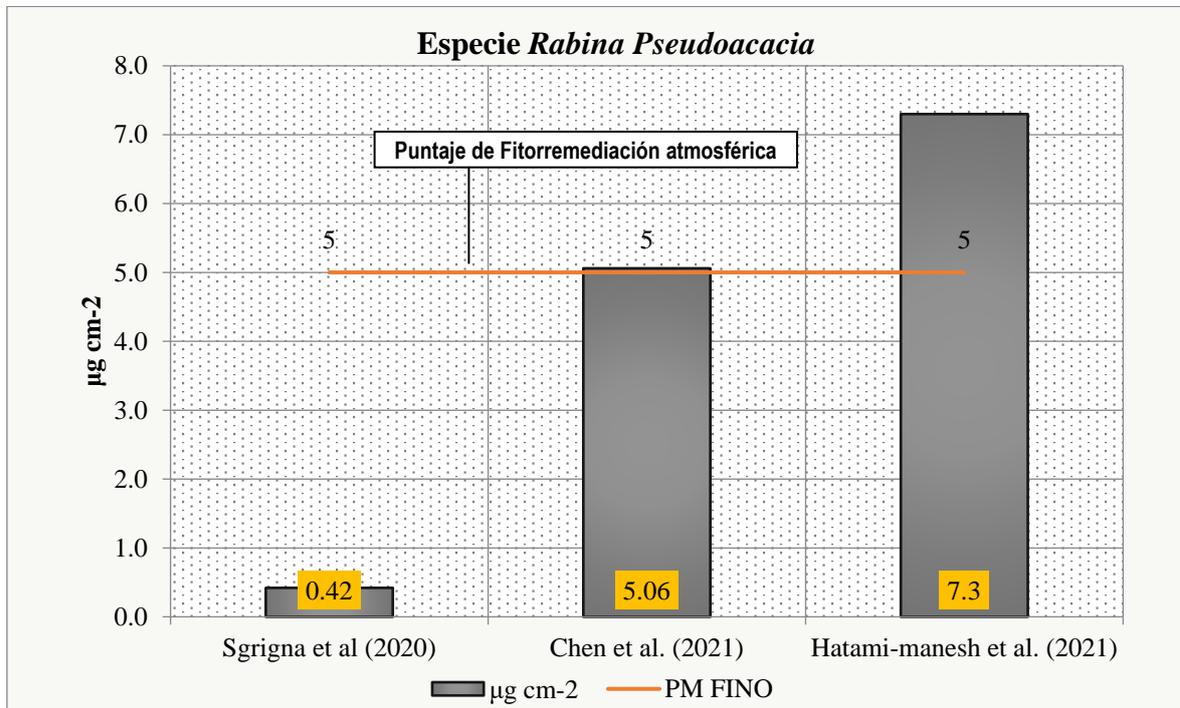
Figura 16

Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la especie Sophora Japonica



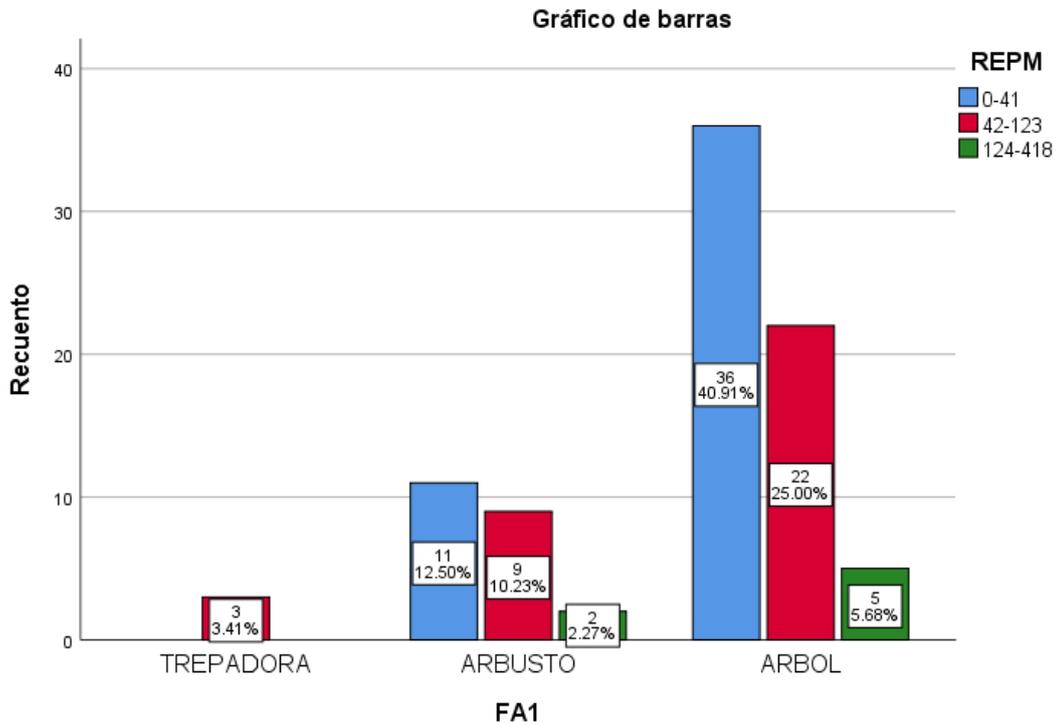
En la figura 17 se observa la relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Rabina pseudoacacia*, la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 5 y ha sido estudiada por 3 autores, destacando el autor Hatami-manesh et al. (2021) por presentar una adsorción de 7.03 µg/cm².

Figura 17
*Relación entre los rangos de PM_{2.5} y la eficiencia de la especie *Rabina pseudoacacia**



En la figura 18 se observa la relación entre tipo de hábito de las 88 especies de plantas con respecto a los rangos establecidos de captación de material particulado grueso, obteniendo que de 63 especies que poseen hábito de tipo árbol, 36 (40.09%) absorben la menor cantidad de PM₁₀ (0 - 41 µg/cm²) siendo el árbol perennifolio *Pinus helepis Mill* quien tiene la menor captación con un valor de 0.96 µg/cm² y 5 especies adsorben la mayor cantidad (124 - 418 µg/cm²) siendo de este último grupo la especie *Pinus sylvestris L.* (417.50 µg/cm²), *Morus nigra L.* (126.89 µg/cm²), *Platanus orientalis L.* (128.50 µg/cm²), *Taxus baccata L.* (240.70 µg/cm²) y *Eriobotrya japónica* (130 µg/cm²).

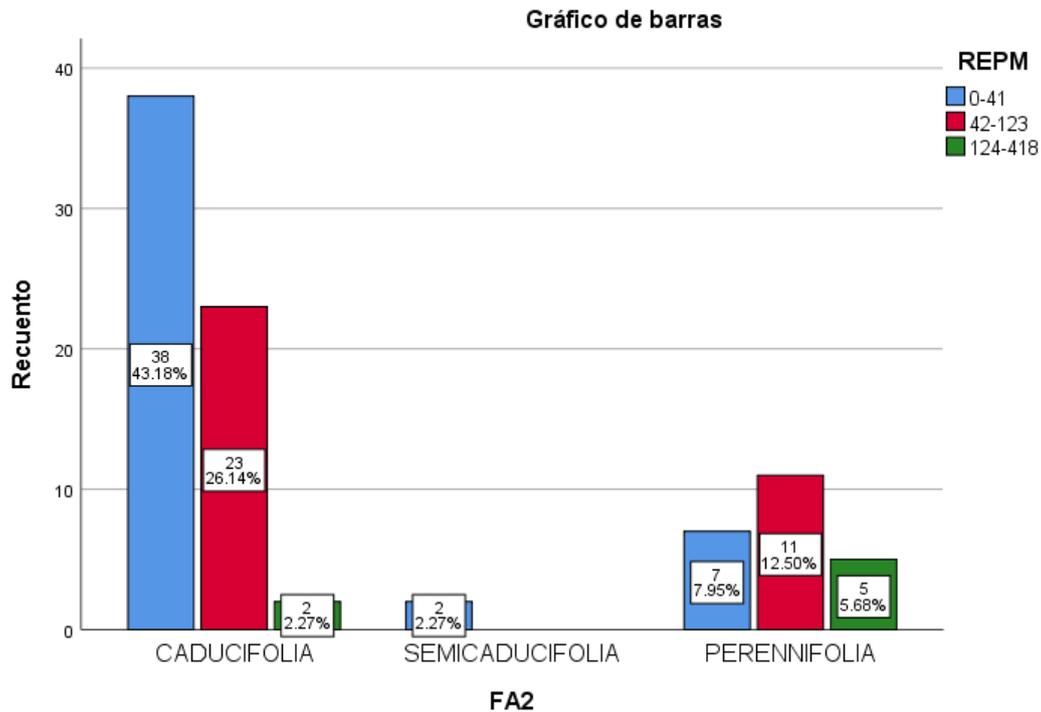
Figura 18
Relación entre el tipo de hábito y los rangos de PM_{10} .



En la figura 19 se observa la relación entre tipo de permanencia follaje de las 88 especies arbóreas con respecto a los rangos establecidos de captación de material particulado grueso procesados en el programa SPSS, donde se obtuvo que el 53.4% de las especies de plantas adsorbe menor cantidad de PM_{10} con un rango que va de 0 a $41 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$ haciendo un total de 47 especies de planta de las cuales el 43.2% de las especies de plantas tienen permanencia de follaje de tipo caducifolia, mientras que para el rango de adsorción de 124 a $418 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$ de PM_{10} , el 2.3% son caducifolias y el 4.5% son perennifolia, por lo que destacan las especies *Morus nigra L.* ($126.89 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$), *Platanus orientalis L.* ($128.50 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$), *Pinus sylvestris L.* ($417.50 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$) y *Taxus baccata L.* ($240.70 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$), respectivamente.

Figura 19

Relación entre la permanencia de follaje de las especies de plantas y los rangos de PM_{10} .

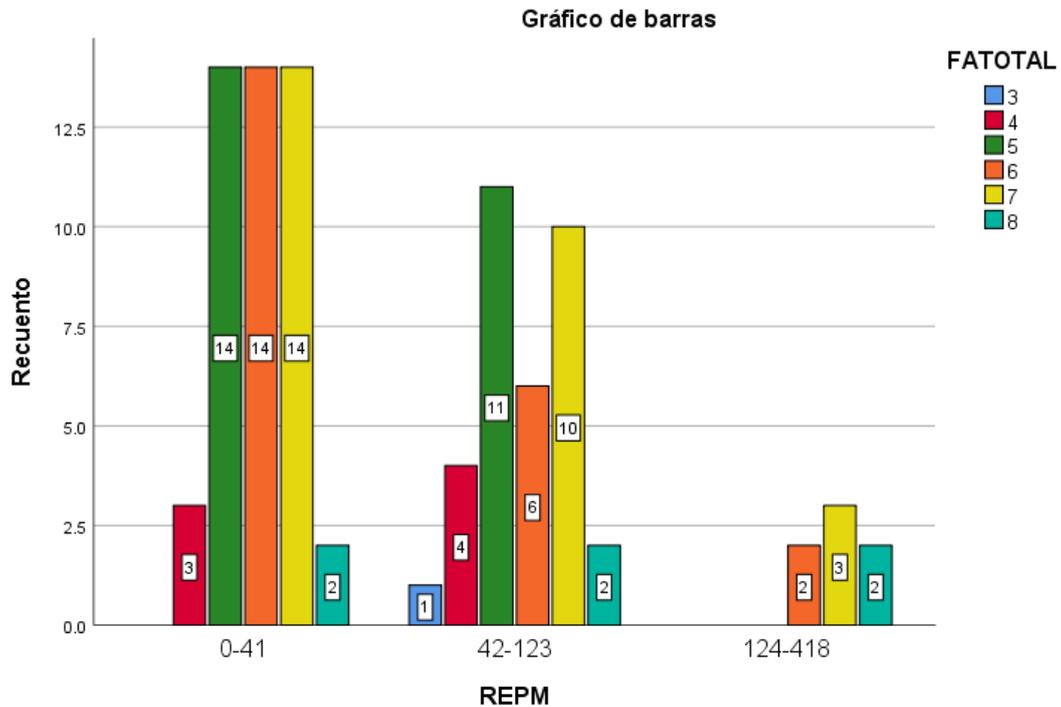


En la figura 20 se observa la relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica, el puntaje mínimo es 3 obtenido por la especie trepadora *Parthenocissus sibirica* con tipo de follaje caducifolio de hojas lanceolada, con una adsorción de $59.97 \mu\text{g}/\text{cm}^2\text{s}$ y los puntajes máximos son 7 y 8, correspondiente a árboles o arbustos de tipo perennifolio con hojas palmeadas lobuladas o lanceoladas y árboles de tipo perennifolio o caducifolio con hojas lanceoladas, respectivamente. De las 88 especies analizadas solo 2 captan la mayor cantidad de PM_{10} ($124 - 418 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), siendo las más eficientes *Taxus baccata L.* ($240.70 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) y *Pinus sylvestris L.* ($417.50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) por presentar el mayor puntaje. Asimismo, las especies *Osmanthus fragrans Lour* (12.10

$\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$) y *Taxus cuspidata var. Nana* ($7.80 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$) presentan altos puntajes, aunque poca retención de material particulado

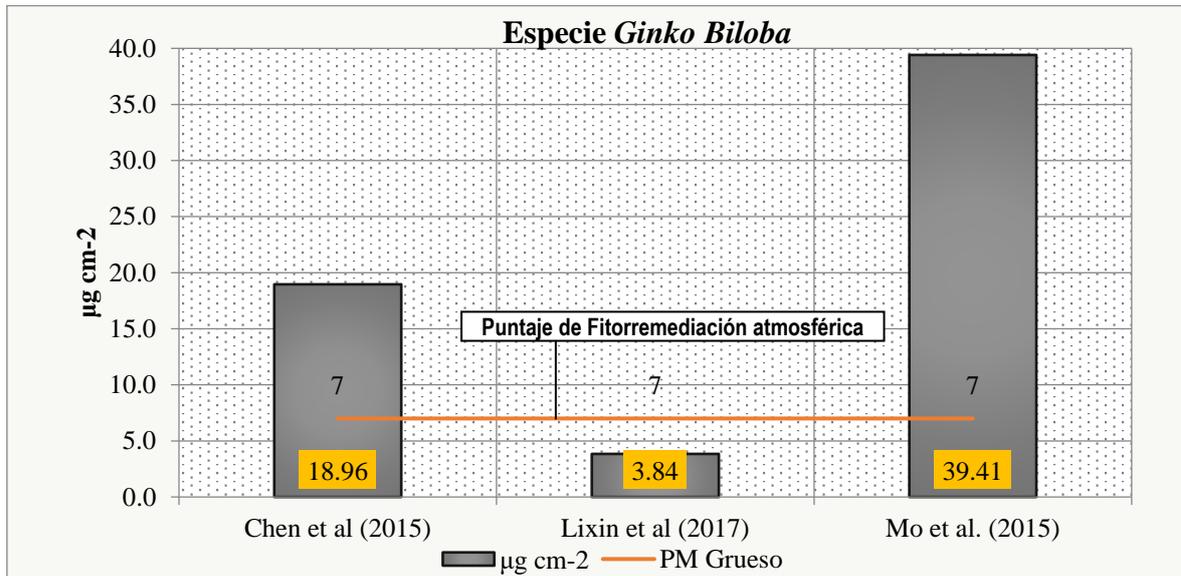
Figura 18

Relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia fitorremediación atmosférica



En la figura 21 se observa la relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Ginkgo biloba*, la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 7 y ha sido estudiada por 3 autores, subrayando el autor Mo et al. (2015) por presentar una adsorción de $39.41 \mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$.

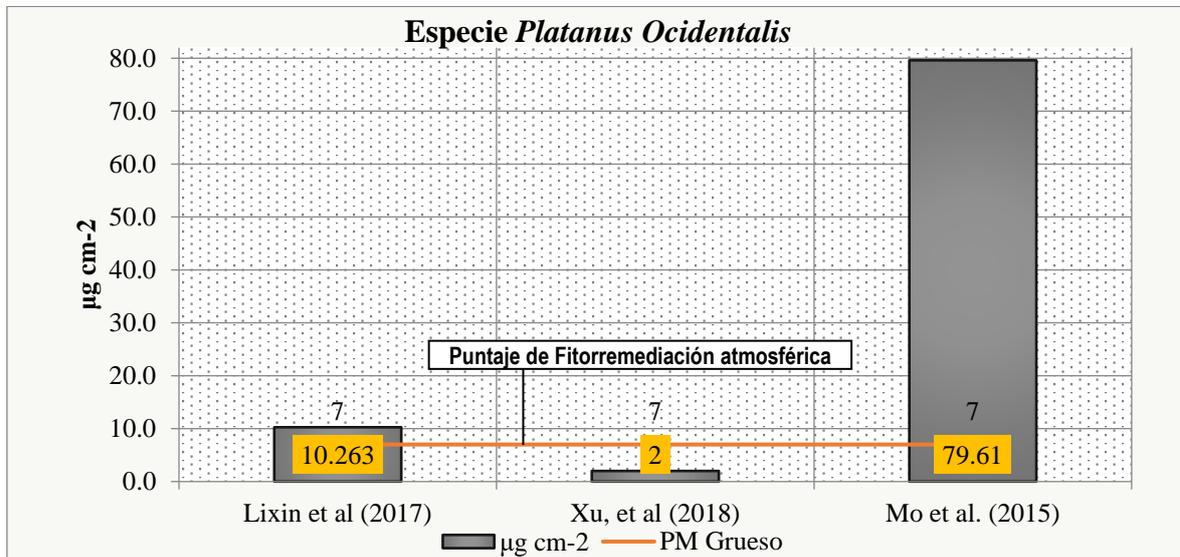
Figura 19
Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la especie Ginko biloba



En la figura 22 se observa la relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Platanus Occidentalis* la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 7 y ha sido estudiada por 3 autores, recalcando el autor Mo et al. (2015) por presentar una adsorción de 79.61 µg/cm².

Figura 20

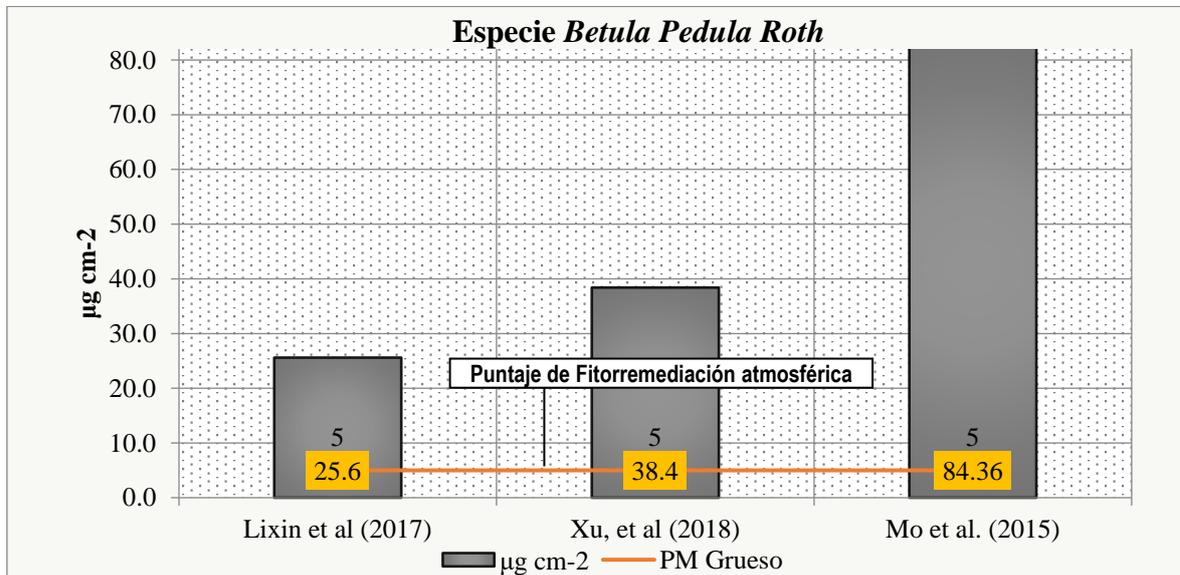
Relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia de la especie *Platanus Occidentalis*



En la figura 23 se observa la relación entre los rangos de PM_{10} y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica para la especie *Betula Pendula Roth* la cual presenta un puntaje de fitorremediación de 5 y ha sido estudiada por 3 autores, enfatizando el autor Mo et al. (2015) por presentar una adsorción de $84.36 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Figura 21

*Relación entre los rangos de PM₁₀ y la eficiencia de la especie *Betula Pendula Roth**



Al efectuar el análisis correlativo, se evidencia la capacidad de adsorción de ciertas especies de plantas, las cuales se pueden implementar en un plan estratégico de arborización que debe contemplar el análisis de la situación actual del área, selección de especies, la metodología de plantación y el monitoreo y mantenimiento a largo plazo. Se debe tener en cuenta al planificar la siembra de plantas, es importante tener en cuenta las condiciones meteorológicas de la región y seleccionar las especies adecuadas que se adapten a esas condiciones. Esto ayudará a garantizar un crecimiento saludable y exitoso de las plantas, optimizando sus posibilidades de supervivencia y desarrollo.

La fitorremediación desempeña un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, la regulación del clima local, la conservación de los recursos naturales y la preservación de la biodiversidad. Al incorporar especies como *Sabina chinensis* y *Pinus sylvestris L.* en áreas urbanas afectadas por la contaminación, se puede mejorar la calidad

del aire y contribuir a la creación de entornos más sostenibles, resilientes y estéticamente agradables.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Interpretación comparativa

En el estudio actual con respecto al objetivo general; de este estudio es que diferentes especies de plantas tiene la capacidad de captar y retener material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en sus hojas, lo que las convierte en eficientes fitorremediadoras para mejorar la calidad del aire. Los autores revisados han encontrado una relación clara entre las especies de plantas y su capacidad de adsorción teniendo como puntaje ≥ 8 destacando las siguientes especies:

- *Sabina chinensis* es un árbol de tipo perennifolio con hojas lanceoladas retiene (275.10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de PM_{2.5}.
- *Taxus baccata L.* es un árbol perennifolio de porte piramidal con hojas lineares cortas retiene (138.80 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de PM_{2.5} y (240.70 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) PM₁₀.
- *Pinus sylvestris L.* (417.50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), es un tipo de árbol perennifolio que absorbe PM₁₀.

Anteriores investigaciones han demostrado la amplia diversidad de plantas que desempeñan el papel de fitorremediadoras de material particulado, con el propósito de mejorar la calidad del aire en sus respectivas localidades, tal como indica el autor Saebo et al. (2012) en el país de Noruega, en su artículo “Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces” quien estudia 47 especies leñosas frecuentemente plantadas en áreas urbanas, destacando las siguientes especies: *Betula pendula*, *Pinus mugo*, *Pinus sylvestris*, *Salix cinerea*, *Skimmia japonica* y *Stephanandra incisa* mostraron

una elevada acumulación total de $PM_{2.5}$, calculada como valor medio para dos años, de 24-55 $\mu g\ cm^{-2}$. De igual manera el autor Zea (2020) en su investigación “Alternativas de reducción de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la ciudad de Bogotá”, desarrolla un estudio de tipo descriptivo por etapas donde menciona alternativas que permitan la disminución del material particulado donde concluye que se deben implementar espacios verdes urbanos para que las partículas pueden ser interceptadas, reduciendo las emisiones y mitigando los impactos invernaderos, mejorando la calidad del aire y afectando positivamente la salud pública de Bogotá.

El análisis del estudio toma en cuenta las características morfológicas (hábito de vida, permanencia de follaje, forma foliar) de cada especie con la adsorción de material particulado fino o grueso de las mismas, para determinar dicha eficiencia se observa la codificación, donde este alcanza un puntaje mayor igual a 8 y está definido por la siguiente morfología: hábito de vida: árbol con un puntaje de 3, permanencia de follaje: perennifolio con un puntaje de 3 y forma foliar: lanceolada con un puntaje de 2; por ende las especies eficientes que adsorben $PM_{2.5}$ y PM_{10} obtienen este puntaje.

En referencia al objetivo 1 se caracterizaron y describieron la morfología de 236 especies de plantas que adsorben material particulado, teniendo que solo 94 especies adsorben $PM_{2.5}$ agrupándose en 3 categorías: hábito de vida, permanencia del follaje y forma foliar. Donde los tipos de hábito de vida más representativos son los árboles (69), permanencia de follaje de tipo caducifolio (69) y forma foliar de tipo elíptica (32).

Las especies que adsorben PM₁₀ fueron en total 88 y se clasificaron en hábito de vida más representativos son los árboles 63, permanencia de follaje de tipo caducifolio (63) y forma foliar de tipo elíptica (34).

Alrededor de 64 especies se repiten en 27 estudios; la especie más estudiada es *Ginkgo Biloba L.* cuya morfología indica que es un árbol con follaje caducifolio de forma foliar palmeada, siendo estudiada por ocho autores (Zhang, et al. 2019; Chen et al. 2021; Yang et al. 2005; Lu et al 2018; Xu et al. 2018; Mo et al. 2015; Lixin et al 2017; Chen et al 2015); seguido de la especie *Pinus Tabulaeformis* que posee un tipo de hábito árbol, follaje perennifolio y forma foliar elíptica (Zhang, Zhang et al. 2019; Zhang et al. 2020; Chen et al., 2021; Yang, J et al., 2005; Lu et al., 2018, Xu, et al, 2018, Lixin et al., 2017) y la especie *Sophora japonica* cuya morfología indica que es un árbol con follaje caducifolio de forma foliar palmeada lobulada (Zhang, Zhang et al. 2019; Zhang et al. 2020; Yang et al. 2005; Xu et al. 2018; Mo et al. 2015, Lixin et al., 2017; Chen et al, 2015), la cuales fueron estudiada por 7 autores, mientras que la especie, *Euonymus japonicus* presenta una morfología de tipo hábito de vida arbusto con follaje perennifolio y forma foliar lanceolada (Zhang, Zhang et al. 2019; Zhang et al. 2020; Sun et al., 2018; Chen et al., 2021, Xu et al., 2018, Lixin, et al, 2017) y la especie *Robina Pseudoacacia L* tiene como hábito de vida árbol con follaje caducifolia y forma foliar de tipo elíptica (Saebo, et al., 2012; Chen et al., 2021; Yang, J et al., 2005; Hatami-manesh et al., 2021; Sgrigna et al, 2020; Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan, 2015), han sido estudiadas por 6 autores.

En nuestro estudio al realizar esta caracterización morfológica se evidencia que la mayoría de las especies de plantas son árboles de tipo caducifolios y en su mayoría son parte de la vegetación urbana de Europa y Asia, principalmente de las ciudades de China y

Beijín, evidenciando en la parte oriental del continente las autoridades ponen el énfasis necesario en los temas relacionados a la mejora de la calidad del aire.

En relación al objetivo específico 2 varios autores han documentado el uso de una amplia variedad de plantas en la fitorremediación. No obstante, se han utilizado diferentes metodologías para determinar la cantidad de adsorción de material particulado en función de las características de las áreas de estudio. Esta variabilidad en los métodos utilizados ha llevado a una notable disparidad en la cantidad de adsorción de PM_{2,5} y PM₁₀, dependiendo de la especie de planta utilizada. Esto se debe a que cada especie vegetal posee características morfológicas únicas que determinan su eficacia en la fitorremediación.

El análisis gravimétrico es una técnica comúnmente utilizada que se basa en la medición de la masa presente en la muestra, mientras que el lavado de la muestra con agua desionizada y cloroformo permite una medición cuantitativa precisa de la cantidad de PM presente en una muestra. La Magnetización Remanente Isotérmica de Saturación también ha sido utilizada en algunos estudios, pero es menos común debido a sus limitaciones para determinar la concentración exacta de los contaminantes. En cualquier caso, es importante considerar los distintos métodos disponibles al momento de abordar la cuantificación de la adsorción de material particulado en especies vegetales, con el fin de obtener resultados precisos y fiables; basado en las metodologías antes citadas se hace mención que las especies que adsorben mayor cantidad de PM_{2,5} son *Sophora Japonica* (362,98 µg/cm²), *Ulmus Pumila* (288,32 µg/cm²), *Sabina Chinesis* (275.10 µg/cm²) y *Eunonymmus Japonicus* (230.90 µg/cm²) y para el PM₁₀ las especies que adsorben este contaminante en mayor cantidad son *Pinus sylvestris L.* (417,5 µg/cm²), *Taxus baccata L.* (240,7 µg/cm²), *Rhododendron simsii Planch.* (167 µg/cm²) y *Nerium indicum Mill.* (135 µg/cm²).

La variación en las cantidades de PM capturadas por cada especie vegetal se debe a las diferencias en la morfología de la superficie de las hojas de cada especie, tal como lo indica Zhang et al (2020) en su artículo “Comparison of the suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system” quien afirma que las características morfológicas y estructurales influyen fuertemente en la capacidad de captura del material particulado.

En relación al objetivo específico 3, nuestros resultados obtenidos en el análisis estadístico muestran diferencias significativas en la retención de PM_{2.5} y PM₁₀, con respecto a la permanencia de follaje en las hojas de las especies analizadas por los investigadores mediante la metodología de análisis gravimétrico y lavado con agua desionizada y cloroformo, cuya unidad es $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Para el caso de PM_{2.5} el valor de significancia en la correlación de Rho de Spearman nos dio el valor de p ,044 ($r = 0.208$). Mientras que para PM₁₀ el valor de significancia en la correlación de Rho de Spearman fue de p ,013 ($r = 0.264$).

Estudios anteriores han demostrado que la retención de partículas atmosféricas varía entre las diversas especies de plantas, tal como indica Chen et al. (2017) en su investigación “Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter (PM_{2.5})”, quien también tiene un nivel de significación $P < 0,05$ quien muestra un rango de adsorción que va 16,06 a 19,46 $\mu\text{g cm}^{-2}$ entre las especies que absorben mayor PM. Dicha variación se debe a las diferencias que presenta la morfología de la superficie de las hojas de cada especie, tal como lo indica Zhang et al. (2020) en su artículo “Comparison of the suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system”

quien afirma que las características morfológicas y estructurales influyen fuertemente en la capacidad de captura del material particulado. Esta percepción tiene semejanza con lo indicado por Popek et al (2018) en su investigación titulada “Influence of Particulate Matter Accumulation on Photosynthetic Apparatus of Physocarpus opulifolius and Sorbaria sorbifolia” quien nos dice que la acumulación de PM en las plantas depende de las diferencias morfológicas y anatómicas que poseen sus hojas.

Asimismo, con relación a la hipótesis en la presente investigación se tiene que para la adsorción de material particulado fino, las especies que tiene mayor eficiencia y captación de PM_{2.5} con puntaje de 8 son los árboles *Sabina chinensis* (275.10 µg/cm²) y *Taxus baccata L.* (138.80 µg/cm²) y la especie con menor eficiencia y adsorción fue la trepadora caducifolia *Parthenocissus sibirica* (2.98 µg/cm²) con un puntaje de 3, cabe resaltar que la capacidad de adsorción del material particulado grueso de los árboles perennifolios de hoja lanceolada *Taxus baccata L.* (240.70 µg/cm²) y *Pinus sylvestris L.* (417.50 µg/cm²) presentaron un puntaje de eficiencia (8), la especie con menor puntaje (3) fue la trepadora caducifolia de hojas lanceoladas *Parthenocissus sibirica* (59.97 µg/cm²) sin embargo cabe destacar que las especies mencionadas coinciden en el puntaje de eficiencia de adsorción para material particulado fino y grueso pero difieren en el área de adsorción que fue mayor para PM fino,

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 eficiencia de retención para 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 (Zhang et al, 2020), en contraste con el árbol perennifolio *Pinus helepensis Mill* que presenta los valores más bajos de permanencia de

follaje (Astorga, 2012), mientras que para el material particulado grueso la especie *Pinus sylvestris L.* (la especie con mayor retención foliar y eficiencia de retención para PM₁₀) tiene un hábito de árbol de tipo perennifolio y la forma foliar de sus hojas palmeadas lobuladas (Przybysz et al, 2014), en contraste con la trepadora caducifolia *Parthenocissus sibirica*.

4.2 Implicancia

4.2.1 Implicancia práctica

El estudio resalta la importancia que las entidades públicas municipales y provinciales deben efectuar herramientas de gestión ambiental entre ellas la implementación de un plan estratégico de arborización el cuál proporciona una guía sistemática para implementar y gestionar eficazmente la plantación de árboles. Su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la comunidad, promover la sostenibilidad ambiental y contribuir a la creación de ciudades más verdes y resilientes. Aquí se presenta una estructura básica para un plan estratégico de arborización:

- Introducción y contexto:

Descripción del propósito del plan y su importancia, resumen del contexto ambiental, social y urbano que justifica la necesidad de la arborización.

- Diagnóstico y análisis:

Evaluación de la cobertura forestal existente y la calidad del arbolado urbano, identificación de áreas prioritarias para la plantación de árboles. Análisis de

factores como el clima, el suelo, la disponibilidad de recursos y los impactos potenciales.

- **Objetivos y metas:**

Establecimiento de objetivos claros y alcanzables para la arborización, definición de metas cuantitativas y cualitativas a corto, mediano y largo plazo.

- **Selección de especies y diseño:**

Identificación de las especies de árboles más adecuadas para cada área y función, consideración de factores como la adaptabilidad a las condiciones locales, la biodiversidad y la resistencia a enfermedades, diseño de la distribución espacial de los árboles y su integración en el entorno urbano.

- **Plan de acción:**

Desarrollo de un cronograma detallado de actividades, incluyendo la preparación de viveros, adquisición de plántulas, planificación de la plantación y el mantenimiento posterior, asignación de responsabilidades y recursos necesarios para cada actividad, identificación de las necesidades de mano de obra, materiales y equipos.

- **Participación comunitaria:**

Estrategias para involucrar a la comunidad en el proceso de arborización, como talleres, eventos educativos y programas de voluntariado, promoción de la concientización y el compromiso de los ciudadanos en la conservación y el cuidado de los árboles.

- **Monitoreo y evaluación:**

Establecimiento de indicadores para evaluar el progreso y el éxito del programa, implementación de sistemas de monitoreo para evaluar el crecimiento de los árboles, su supervivencia y los impactos ambientales y sociales, realización de evaluaciones periódicas para identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias.

- **Comunicación y difusión:**

Elaboración de estrategias de comunicación para informar y educar a la comunidad sobre el programa de arborización, uso de medios de comunicación, redes sociales y otros canales para difundir información y promover la participación.

- **Presupuesto y financiamiento:**

Estimación de los costos asociados con la implementación del plan, incluyendo la adquisición de plántulas, materiales, equipos y personal, exploración de fuentes de financiamiento, como el gobierno, organizaciones sin fines de lucro, patrocinadores y programas de subvenciones.

- **Seguimiento y revisión:**

Establecimiento de mecanismos de seguimiento continuo para evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas, realización de revisiones periódicas del plan para realizar ajustes según las necesidades y lecciones aprendidas.

Por otro lado, las implicancias presentadas en el estudio destacan la importancia de

la meteorología esta juega a la hora de plantar, ya que las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en el éxito y el crecimiento de las

plantas. A continuación, se describen algunas razones por las cuales la meteorología es relevante para la siembra de plantas.

- **Temperatura:** Las temperaturas extremas pueden afectar negativamente el establecimiento y el crecimiento de las plantas. Antes de la siembra, es importante tener en cuenta la temperatura mínima y máxima recomendada para las especies de plantas que se desean sembrar. Algunas plantas pueden ser más sensibles al frío y requerir protección adicional durante las heladas, mientras que otras pueden necesitar sombra o protección contra el calor intenso.
- **Precipitación:** La cantidad y distribución de las precipitaciones son factores clave para el crecimiento de las plantas. Antes de la siembra, es necesario considerar el régimen de lluvias de la región y la tolerancia de las plantas a la sequía o al exceso de agua. Es importante asegurarse de que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua para su desarrollo saludable, ya sea a través de precipitaciones naturales o mediante riego artificial.
- **Viento:** La velocidad y la dirección del viento pueden influir en el éxito de la siembra de plantas. Vientos fuertes pueden dañar las plántulas recién plantadas o afectar la transpiración de las plantas maduras. Es recomendable elegir especies resistentes al viento o tomar medidas para proteger las plantas, como la instalación de barreras rompevientos.
- **Humedad relativa:** La humedad relativa del aire puede afectar la capacidad de las plantas para absorber agua a través de sus hojas y raíces. Es importante considerar la humedad relativa promedio de la zona y asegurarse

de proporcionar un ambiente adecuadamente húmedo para las plantas recién sembradas, especialmente durante períodos de baja humedad.

- **Radiación solar:** La cantidad de luz solar que reciben las plantas es esencial para la fotosíntesis y su crecimiento saludable. Es necesario tener en cuenta la cantidad de luz solar que requieren las especies de plantas específicas y seleccionar el lugar de siembra en consecuencia, asegurándose de que las plantas reciban la cantidad adecuada de luz solar directa o indirecta.

Para ello, se recomienda seleccionar especies adecuadas, considerar la ubicación y densidad de los árboles y la meteorología de la zona, promover la biodiversidad. En este sentido, se sugiere incorporar las especies *Sabina chinensis* y *Pinus sylvestris* L. como indicador de mejora de la calidad del aire en zonas urbanas con alto tráfico vehicular y altos niveles de contaminación de material particulado fino.

De esta manera, se lograría maximizar el impacto de los árboles en la reducción de la contaminación del aire y mejorar la calidad ambiental de la zona esto contribuiría a mejorar la salud pública, especialmente en lo que respecta a enfermedades respiratorias.

4.2.2 Implicancia teórica

La importancia de nuestra investigación radica en su contribución al campo de la fitorremediación atmosférica, especialmente en el contexto de países latinoamericanos. Esta área de estudio ha sido relativamente poco explorada en la región, a pesar de ser una herramienta efectiva para mejorar la calidad del aire en entornos urbanos.

Nuestra investigación ha reafirmado la viabilidad y eficacia de la fitorremediación atmosférica al demostrar que existen especies de plantas que pueden adsorber contaminantes atmosféricos, centrándose particularmente en la adsorción de material particulado fino y grueso. Esto es relevante, ya que el material particulado, compuesto por partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, es una de las principales formas de contaminación del aire en áreas urbanas.

Al resaltar la existencia de estas especies de plantas con capacidad de adsorción de contaminantes atmosféricos, nuestra investigación impulsa el uso de la fitorremediación atmosférica como una estrategia viable y efectiva para mejorar la calidad del aire en espacios urbanos. Al incorporar estas especies en programas de plantación de árboles y áreas verdes urbanas, se puede lograr una reducción significativa de la concentración de contaminantes atmosféricos y, por lo tanto, mejorar la salud y el bienestar de la comunidad.

Además, al enfocarnos en países latinoamericanos, nuestra investigación también tiene relevancia a nivel regional. Muchas ciudades de América Latina enfrentan desafíos relacionados con la contaminación atmosférica, debido a la densidad poblacional, el tráfico vehicular y la actividad industrial. Nuestra investigación proporciona evidencia y conocimientos que pueden ser aplicados en el diseño e implementación de programas de fitorremediación atmosférica adaptados a las condiciones locales.

4.2.3 Implicancia metodológica

En base a la implicancia metodológica para un estudio correlativo – descriptivo

para analizar la relación entre las variables propuestas y cumplir con los objetivos establecidos. En esta metodología, se emplea una ficha de registro como instrumento inicial para realizar el tamizado de documentación relevante. Esta ficha de registro nos permite recopilar de manera sistemática y organizada los datos necesarios para nuestro estudio. Una vez recopilados los datos, utilizamos el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para realizar el análisis de correlación para el tamizado de datos propuestos que responden a los objetivos planteados, sugerimos el uso del software MINITAB.

Al utilizar SPSS y MINITAB como herramientas de análisis, podemos obtener resultados significativos y robustos que respalden nuestras conclusiones. Estos programas nos permiten realizar análisis estadísticos avanzados y generar gráficos claros y comprensibles que facilitan la interpretación de los resultados.

4.2.4 Limitaciones

Con respecto a las limitaciones de este estudio, se destaca la escasez de investigaciones en Latinoamérica sobre fitorremediación atmosférica en relación con material particulado tanto fino como grueso, en comparación con la cantidad de estudios existentes a nivel internacional, especialmente en Asia. Esta limitación resalta la necesidad de incentivar y promover la investigación en esta área en Latinoamérica.

Además, se menciona que hubo dificultades en la recolección de datos debido a la variedad de metodologías utilizadas por los autores en sus estudios. Esta limitación puede introducir sesgos en la base de datos y dificultar la comparación de resultados. Por lo tanto, es importante que los investigadores estandaricen las metodologías utilizadas para la

recolección de datos y la cuantificación de la adsorción de material particulado en especies vegetales, a fin de facilitar la comparación entre estudios y obtener resultados más precisos.

En función a las metodologías utilizadas en el estudio para cuantificar la adsorción de material particulado en especies vegetales, cada una de ellas presenta ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, el análisis gravimétrico, aunque es ampliamente utilizado, puede generar resultados inexactos si no se considera la presencia de otros componentes en la muestra que puedan afectar su peso. Por otro lado, el lavado de la muestra con agua desionizada y cloroformo puede ser una técnica más precisa, pero también es más costosa y requiere de un mayor tiempo de preparación de la muestra.

En cuanto a la Magnetización Remanente Isotérmica de Saturación, si bien puede proporcionar información valiosa sobre la cantidad de magnetización presente en la muestra, esta técnica no permite determinar exactamente la concentración de los contaminantes presentes, lo que puede limitar su utilidad en ciertos estudios. Otra limitación importante a considerar es la selección de las especies vegetales, ya que cada una posee características morfológicas y fisiológicas únicas que pueden afectar su capacidad para adsorber y retener el material particulado.

Durante el análisis de eficiencia de la adsorción de material particulado, al procesar los datos con la codificación SPSS (consultar Tabla 1), se detectaron anomalías en ciertas especies, a pesar de que la suma de variables fue 8. Se observó que el rango de adsorción de estas especies era inferior al rango (0-41).

Estas limitaciones deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de este estudio y resaltan la necesidad de abordar estos desafíos en futuras investigaciones para obtener una comprensión más precisa y completa de la fitorremediación atmosférica y la adsorción de material particulado en especies vegetales.

4.3 Conclusiones

4.3.1 Conclusión general

En esta tesis se estableció la relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos donde se concluye que existe una correlación entre las características morfológicas de cada especie y el material particulado fino y grueso captado por estas, debido a que el nivel de significancia para ambos fue menor al 5% aceptando la hipótesis planteada en el estudio; el coeficiente de correlación fue positiva baja para $PM_{2.5}$ ($r = 0.208$) y para PM_{10} ($r = 0.264$) por ello la eficiencia fue determinada por la codificación asignada que tiene mayor resultado siendo esta ≥ 8 .

4.3.2 Conclusión específica 1

Asimismo se describió y caracterizó la morfología de las principales plantas fitorremediadoras en espacios urbanos concluyendo que el hábito de vida presentado en la mayoría de especies fue de tipo: árbol, permanencia de follaje: caducifolio y la forma foliar: lanceolada encontrando que alrededor de 94 árboles adsorben $PM_{2.5}$ 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 88 entre ellas : *Cupressus arizonica*, *Juniperus formosana*, *Osmanthus fragrans Lour*, *Pinus sylvestris L.* , *Taxus baccata L.*

Conocer la morfología de las plantas es esencial para diseñar estratégicamente un plan de arborización que maximice la eficiencia de cada especie y promueva sus funciones de fitorremediación y beneficio para la salud. Al seleccionar y ubicar adecuadamente las plantas en función de su morfología, podemos optimizar los resultados deseados, ya sea la descontaminación del suelo, la mejora de la calidad del aire o el bienestar general de la comunidad.

4.3.3 Conclusión específica 2

En diversos estudios sobre fitorremediación atmosférica, se han empleado diferentes metodologías para investigar la adsorción de material particulado, como el PM_{2.5} y PM₁₀, por parte de las plantas. Entre las metodologías utilizadas se encuentran el análisis gravimétrico, el método de lavado y pesaje, la magnetización remanente isotérmica de saturación y la microscopía electrónica por barrido.

El análisis gravimétrico, que implica el lavado de las partes de la planta expuestas al aire contaminado y el posterior pesaje de las muestras, fue el método más utilizado por los investigadores en el laboratorio. Este método proporciona una forma directa de medir la cantidad de material particulado adsorbido por las plantas y ha demostrado ser efectivo en numerosos estudios.

En relación a la fitorremediación atmosférica y la captura de material particulado, se analizaron 236 especies de plantas utilizando el método gravimétrico por lavado de agua y cloroformo. Los resultados obtenidos revelaron que la especie más representativa en términos de captura de PM_{2.5} fue la *Sophora Japonica*, con una cantidad promedio de 362,98 µg/cm². Esta especie mostró una alta capacidad para retener partículas finas, lo que

la convierte en una opción relevante para la mejora de la calidad del aire en áreas contaminadas con PM_{2.5}.

En cuanto al material particulado PM₁₀, se identificó a la especie *Pinus sylvestris L.* como la más representativa, con una captura promedio de 417,5 µg/cm². Esto indica que este tipo de pino tiene una mayor eficiencia en la retención de partículas de mayor tamaño.

Estos resultados destacan la importancia de seleccionar las especies vegetales adecuadas en los programas de fitorremediación atmosférica, ya que algunas plantas tienen una mayor capacidad para capturar partículas específicas. *Sophora Japonica* y *Pinus sylvestris L.* han demostrado ser especies altamente efectivas en la captura de PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente.

No obstante, es importante tener en cuenta que los resultados pueden variar en función de diversos factores, como las condiciones ambientales, la concentración de contaminantes y las características específicas de cada especie vegetal. Además, se deben considerar otros aspectos relevantes en la fitorremediación, como la adaptabilidad de las plantas al entorno, su resistencia a las condiciones adversas y su capacidad para sobrevivir y crecer en suelos contaminados.

4.3.4 Conclusión específica 3

Para llevar a cabo el análisis descriptivo correlativo entre las variables, es necesario asignar una puntuación adecuada a cada una de ellas. Esto permitirá establecer una relación entre las características de cada especie de planta y su capacidad de adsorción de material particulado. Para seleccionar el estadístico de correlación adecuado, es importante realizar una prueba de normalidad y, en función del resultado del nivel de significancia, optar por

una prueba paramétrica o no paramétrica que permita aprobar o desaprobar la hipótesis del estudio.

REFERENCIAS

Adhikari, A. (2020). Introduction to spatiotemporal variations of ambient air pollutants and related public health impacts. En *Elsevier eBooks* (pp. 1-34). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815822-7.00001-7>

Agarwal, P., Sarkar, M., Chakraborty, B., & Banerjee, T. (2019). Phytoremediation of Air Pollutants. En *Elsevier eBooks* (pp. 221-241). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813912-7.00007-7>

Alcalá, J. (2008). Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. Redalyc.org.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42801703>

Alexander, A. P. C. A. (2018). Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arborea ficus benjamina en el parque zonal “Mayta Capac”, San Martín de Porres.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_30c74ac6b8b998967a563c94867ff383

Alghamdi, M. A. (2016). Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Airborne PM10 from a Residential Area of Northern Jeddah City, Saudi Arabia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(3), 939-949. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61531>
Análisis químico cuantitativo. (s. f.). Editorial Reverté S.A.
https://www.reverte.com/libro/analisis-quimico-cuantitativo_89310/

ARBOLES ORNAMENTALES. José Manuel Sánchez de Lorenzo-Cáceres. (s. f.).
<https://www.arbolesornamentales.es/>

Árboles y arbustos de la Facultad de Ciencias - Laboratorio de Plantas Vasculares,
Facultad de Ciencias UNAM. (s. f.).

<http://biologia.fciencias.unam.mx/plantasvasculares/ArbolesArbustosFCiencias>

Bedoya, M. G., & Del Pilar Arroyave Maya, M. (2019). Clasificación de especies arbóreas según su capacidad para remover material particulado del aire en el Valle de Aburrá. *Revista EIA*. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1270>

Brusseau, M. L., Matthias, A. D., Comrie, A. C., & Musil, S. (2019). Atmospheric Pollution. En *Elsevier eBooks* (pp. 293-309). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814719-1.00017-3>

Bustillos, F. R. A. (2011). *Pinus halepensis Mill. como indicador de contaminación atmosférica en una zona industrial urbana*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438963007>

Buczacki, S. (1995, 5 mayo). *Plantas trepadoras* (1.^a ed.). Tursen/Hermann Blume. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=LZIAu4tZh2wC&oi=fnd&pg=PA6&dq=que+es+una+planta+trepadora&ots=DZysw_4vcZ&sig=vbdQ1i2fX3BSyVYgeK4CKlwiVBE&redir_esc=y#v=onepage&q=que%20es%20una%20planta%20trepadora&f=false

Camac, T., & Lucía, S. (2016). Caracterización morfológica de arbustos con potencial para práctica de protección de suelos en las provincias de Jauja y Concepción, Junín. En *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/UNALM/2224/1/F70-T4-T.pdf>

Cabrera, J. (2019). Material particulado 2.5 micrómetros (μM) y la morbilidad respiratoria en los habitantes de Santa Luzmila en el distrito de Comas.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_68925540c4b77836efc38b8e261f6f4

Chavez C, B. M. (2018). Fuentes emisoras de contaminación atmosférica y su influencia en la calidad del aire de la ciudad de Huánuco 2016.

<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4096>

Chen, G., Lin, L., Hu, Y., Zhang, Y., & Ma, K. (2021). Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127230. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127230>

Chen, L., Liu, C., Zhang, L., Zou, R., & Zhang, Z. (2017). Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM_{2.5}). *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03360-1>

Chen, X., Zhou, Z., Teng, M., Wang, P., & Zhou, L. (2015). Accumulation of three different sizes of particulate matter on plant leaf surfaces: Effect on leaf traits. *Archives of Biological Sciences*, 67(4), 1257-1267. <https://doi.org/10.2298/abs150325102c>

Chiam, Z., Song, X., Lai, H., & Tan, H. T. W. (2019). Particulate matter mitigation via plants: Understanding complex relationships with leaf traits. *Science of The Total Environment*, 688, 398-408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.263>

Dzierzanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A., & Gawroński, S. (2011). Deposition of Particulate Matter of Different Size Fractions on Leaf Surfaces and in Waxes of Urban Forest Species. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10), 1037-1046. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.552929>

Egas, C., Naulin, P. I., & Préndez, M. (2018). Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile. *Información tecnológica*, 29(4), 111-118.

<https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400111>

Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición). Mc Graw Hill. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-la-gran-colombia/metodologia-de-la-investigacion/hernandez-r-fernandez-c-y-baptista-p-2014-metodologia-de-la-investigacion-6a-ed-mc-grwall-hill-education-capitulo-7/36166706>

Gawronski, S. W., Gawrońska, H., Lomnicki, S. M., Sæbø, A., & Vangronsveld, J. (2017). Plants in Air Phytoremediation. En *Advances in Botanical Research* (pp. 319-346). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.008>

Guerrero-Leiva, N., Castro, S. A., Rubio, M. P. G., & Ortiz-Calderón, C. (2016). Retention of Atmospheric Particulate by Three Woody Ornamental Species in Santiago, Chile. *Water Air and Soil Pollution*, 227(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3124-4>

Harris, D. (2022). *ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO*. Reverte.

Hatami-Manesh, M., Mortazavi, S., Solgi, E., & Mohtadi, A. (2021). Assessing the uptake and accumulation of heavy metals and particulate matter from ambient air by some tree species in Isfahan Metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30), 41451-41463. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13524-2>

Huatuco, M. (2018). Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Federico Villarreal.

- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental advances*, 8, 100203.
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>
- Legorburo Serra, A. (2005). *Estimación del área foliar en Vitis vinifera L.*
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/2309>
- Lorenzini, G., Grassi, C., Nali, C., Petiti, A., Loppi, S., & Tognotti, L. (2006). Leaves of *Pittosporum tobira* as indicators of airborne trace element and PM10 distribution in central Italy. *Atmospheric Environment*, 40(22), 4025-4036.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.032>
- Los mejores árboles y arbustos de hoja perenne.* (s. f.). Google Books.
https://books.google.com.pe/books?id=iDmmNK16ztQC&dq=follajes+perennes&source=gbs_navlinks_s
- Lu, S., Yang, X., Li, S., Chen, B., Jiang, Y., Wang, D., & Xu, L. (2018). Effects of plant leaf surface and different pollution levels on PM2.5 adsorption capacity. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.006>
- Lu, T., Lin, X., Chen, J., Huang, D., & Li, M. (2019). Atmospheric particle retention capacity and photosynthetic responses of three common greening plant species under different pollution levels in Hangzhou. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00783. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00783>
- Łukowski, A., Popek, R., & Karolewski, P. (2020). Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology.

Environmental Science and Pollution Research, 27(10), 10296-10307.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0>

Manuel, R. P. (s. f.). *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008

Maraziotis, E., & Sarotis, L. (2007, 19 octubre). Statistical analysis of inhalable (pm10) and fine particles (pm2.5) concentrations in urban region of patras, Greece. *Global Nest*. https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/123-131_496_MARAZIOTIS_10-2.pdf

Mariën, B., Mariën, J., Nguyen, X. V., Nguyen, V. T., & Samson, R. (2019). Particulate matter accumulation capacity of plants in Hanoi, Vietnam. *Environmental Pollution*, 253, 1079-1088. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.035>

Martínez-Carrillo, M., Solís, C., Andrade, E., Isaac-Olivé, K., Rocha, M. F. G., Murillo, G., Beltrán-Hernández, R. I., & Lucho-Constantino, C. A. (2010). PIXE analysis of *Tillandsia usneoides* for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico. *Microchemical Journal*, 96(2), 386-390. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.06.014>

Medicinal Plant Images Database - Browse page. (s. f.). https://libproject.hkbu.edu.hk/was40/outline?page=1&channelid=1288&lang=en&searchword=herb_id=D01181&sortfield=

Mo, L., Ma, Z., Xu, Y., Fengbin, S., Lun, X., Liu, X., Chen, J., & Yu, X. (2015). Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing, China. *PLOS ONE*, 10(10), e0140664. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140664>

Mohamed, A. O., Maraqa, M. A., Howari, F. M., & Paleologos, E. K. (2021).

Outdoor air pollutants. En *Elsevier eBooks* (pp. 491-554). Elsevier BV.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809582-9.00009-8>

Moreno, G. (s. f.). *Frecuencia de diferentes tamaños de material particulado en hojas de Morus alba en el arbolado urbano de Mendoza (Argentina)*.

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292016000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

[73292016000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292016000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Nowicki, M. (2018). Anhyseretic Magnetization Measurement Methods for Soft Magnetic Materials. *Materials*, *11*(10), 2021. <https://doi.org/10.3390/ma11102021>

Ochoa de la Torre, J. (1999). *La vegetación como instrumento para el control micro climático* [Tesis de doctorado]. Universidad Politécnica de Catalunya.

Oksanen, E., & Kontunen-Soppela, S. (2021). Plants have different strategies to defend against air pollutants. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *19*, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.10.010>

Ortega-García, J. A., Martínez-Hernández, I., Boldo, E., Cárceles-Álvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., Aguilar-Ros, E., Sanchez-Solis, M., & López-Hernández, F. (2020). Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *Anales De Pediatría*, *93*(2), 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.01.012>

Padilla, A., & Villegas, E. (2018). Deposición de partículas de hollín en la superficie de las hojas de ficus (*Ficus macrophylla*) como indicador de contaminación del aire en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote. *Ecología aplicada*, *17*(1). <https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1178>

Plantas de invierno. (s. f.). Google Books.

https://books.google.com.pe/books?id=1mOm7nxUfL0C&dq=follajes+caducifolia&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Popek, R., Łukowski, A., & 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>

Phocco, H. (2019). Estimación de la capacidad de adsorción del material particulado del aire en dos especies ornamentales (*Cytisus canariensis*, *Malva sylvestris*) en la Ciudad de Puno, 2018. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3918>

Przybysz, A., Sæbø, A., Hanslin, H. M., & Gawroński, S. (2014). Accumulation of particulate matter and trace elements on vegetation as affected by pollution level, rainfall and the passage of time. *Science of The Total Environment*, 481, 360-369.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.072>

Riojas-Rodríguez, H. (2016, 1 septiembre). Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change.

<https://iris.paho.org/handle/10665.2/31229>

Rodríguez-Fernández, P., Prat-Aymerich, C., & Domínguez, J. M. N. (2019). Interacción entre contaminación ambiental e infecciones respiratorias. *Archivos De Bronconeumología*, 55(7), 351-352. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2018.10.018>

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawrońska, H., & Gawronski, S. W. (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>

Sgrigna, G., Baldacchini, C., Dreveck, S., Cheng, Z., & Calfapietra, C. (2020).

Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment. *Science of The Total Environment*, 718, 137310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137310>

Sun, X., Li, H., Guo, X., Sun, Y., & Li, S. (2018). Capacity of six shrub species to retain atmospheric particulates with different diameters. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(3), 2643-2650. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0549-2>

Tapia, V., Carbajal, L., Vásquez, V. C., Espinoza, R., Gonzales, G. F., & Steenland, K. (2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 190. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>

Trees and Shrubs Online - A modern reference to temperate woody plants. (s. f.). <https://treesandshrubsonline.org/>

Vázquez-Sánchez, M., Terrazas, T., & Arias, S. (2012). El hábito y la forma de crecimiento en la tribu Cacteeae (Cactaceae, Cactoideae). *Botanical sciences*, 90(2), 97-108. <https://doi.org/10.17129/botsci.477>

Watson, A. S., & R, S. B. (2021). Phytoremediation for urban landscaping and air pollution control—a case study in Trivandrum city, Kerala, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9979-9990. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11131-1>

Weerakkody, U., Dover, J. W., Mitchell, P., & Reiling, K. (2017). Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 173-186.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.07.005>

World Health Organization: WHO. (2022). Ambient (outdoor) air pollution.
www.who.int. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Xu, Y., Xu, W., Mo, L., Heal, M. R., Xu, X., & Yu, X. (2018). Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12545-12556.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1478-4>

Yang, J., Chang, Y., & Yan, P. (2015). Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM2.5 pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 267-277. <https://doi.org/10.5094/apr.2015.031>

Yepez, P., & Gaibor, R. (2020). «Follaje de guayaba (*Psidium guajava* L.) como fitobiótico en la alimentación de pollos broilers».
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5273>

Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., & Wang, W. (2011). Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2155-2163.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.009>

Zhang, L., Zhang, Z., Chen, L., & McNulty, S. G. (2019). An investigation on the leaf accumulation-removal efficiency of atmospheric particulate matter for five urban plant species under different rainfall regimes. *Atmospheric Environment*, 208, 123-132.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.010>

Zhang, W., Zhang, Y., Gong, J., Yang, B., Zhang, Z., Wang, B., Zhu, C., Shi, J., & Yue, K. (2020). Comparison of the suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system. *Environmental Pollution*, 263, 114615.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114615>

Zea Castro, M. (2020, noviembre). *Alternativas de reducción de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Bogotá*. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/37301>

ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla 8

Especies de plantas más estudiadas que adsorben material particulado

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Aceraceae	Acer	campestre (L.)	Arce común	Saebo, et al (2012) Dzierzanowski et al (2011) Hatami-manesh et al. (2021)
Aceraceae	Acer	negundo L.	Acer negundo	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015) Saebo, et al (2012)
Aceraceae	Acer	platanoides (L.)	Arce real o de noruega	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)
Hippocastanaceae	Aesculus	chinensis Bunge	Castaños de india	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Yang, J et al. (2005) Xu, et al (2018) Hatami-manesh et al. (2021)
Simaroubaceae	Ailanthus	altissima (Mill.) Swingle	Árbol del cielo	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015) Sun et al. (2018) Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Rosaceae	Amygdalus	triloba (Lindl.)	Ciruella de flor	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Betulaceae	Betula	pendula Roth	Abedul o aliso blancoo	Saebo, et al (2012)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
				Popek, et al (2018) Lukowski, Popek y Karolewski (2020)
Moraceae	Broussonetia	papyrifera (L.) Vent.	Morena de papel	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015) Bertold et al. (2019) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Saebo, et al (2012)
Bignoniaceae	Catalpa	speciosa Ward	Catalpa Speciosa ward	Mo et al. (2015) Lixin, et al (2017)
Rosaceae	Crataegus	pinnatifida Bge.	Espino chino	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Zhang, Zhang et al. (2019)
Celastraceae	Euonymus	japonicus	Bonetero del japon	Sun et al. (2018) Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021) Xu, et al (2018) Lixin, et al (2017) Bertold et al. (2019)
Moraceae	Ficus	benamina	Árbol benjamin	Huatuco (2018) Vásquez, M., Arroyace, M. (2019)
Oleaceae	Forsythia	× intermedia	Campanita China	Saebo, et al (2012) Popek, et al (2018) Dzierzanowski et al (2011)
Oleaceae	Fraxinus	excelsior L	Fresno de hoja ancha	Saebo, et al (2012) Dzierzanowski et al (2011)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Oleaceae	Fraxinus	pennsylvanica Marsh.	Fresno rojo americano	Hatami-manesh et al. (2021) Mo et al. (2015) Xu, et al (2018) Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005)
Ginkgoaceae	Ginkgo	Ginkgo biloba L	Ginkgo	Lu et al. (2018) Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Chen et al (2015) Saebo, et al (2012) Popek, et al (2018)
Araliaceae	Hedera	hélix L.	Hiedra	Weerakkody et al. (2017) Dzierzanowski et al (2011)
Cupressaceae	Juniperus	Chinensis	Enebro chino	Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005)
Sapindaceae	Koelreuteria	paniculata Lxm	Jabonera de China	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Chen et al (2015) Chen et al (2015)
Oleaceae	Ligustrum	lucidum Ait.	Aligustre arboreo	Guerrero Leyva et al (2016)
Caprifoliaceae	Lonicera	Lonicera maackii	Madreselva de japon	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)
Magnoliaceae	Magnolia	denudata	Yulan	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)
Magnoliaceae	Magnolia	grandiflora	Magnolio	Sgrigna et al (2020) Chen et al (2015)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Rosaceae	Malus	micromalus Makino	Manzano silvestre enano	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Taxodiaceae	Metasequoia	glyptostroboides	Metasecuoya	Lixin et al (2017) Mo et al. (2015) Hatami-manesh et al. (2021) Mo et al. (2015)
Moraceae	Morus	Morus alba L.	Morera blanco	Chen et al (2015) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)
Muntingiaceae	Muntingia	calabura	Cereza de Jamaica	Bertold et al. (2019) Chiam, et al (2019)
Apocynaceae	Nerium	oleander	Adelfa rosa	Bertold et al. (2019) Guerrero Leyva et al (2016)
Oleaceae	Osmanthus	fragrans Lour	Olivo dulce	Ting et al. (2019) Chen et al (2015)
Vitaceae	Parthenocissus	quinquefolia	Viña virgen	Zhang, et al (2020) Saebo, et al (2012)
Viña virgen	Parthenocissus	tricuspidata	Hiedra japonesa	Chen et al (2015) Saebo, et al (2012)
Hydrangeaceae	Philadelphus	pekinensis Rupr.	Celindo	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Popek, et al (2018)
Rosaceae	Physocarpus	opulifolius	Crespon	Dzierzanowski et al (2011) Saebo, et al (2012)
Pinaceae	Pinus	armandi	Pino chino de Armand	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)
Pinaceae	Pinus	bungeana	Pino chino de bunes	Chen et al (2021) Lu et al. (2018)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Pinaceae	Pinus	sylvestris	Pino silvestre	Saebo, et al (2012) Przybysz et al. (2014) Zhang, Zhang et al. (2019) Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021)
Pinaceae	Pinus	tabulaeformis	Pino de manchuria	Yang, J et al. (2005) Lu et al. (2018) Xu, et al (2018) Lixin et al (2017) Lorenzini, G, et al (2006) Chen et al (2015)
Pittosporaceae	Pittosporum	tobira	Pitosporo	Guerrero Leyva et al (2016) Popek, et al (2018) Dzierzanowski et al (2011) Zhang, Zhang et al. (2019) Chen et al. (2021)
Oleaceae	Platanus	× hispanica	Plátano de sombra	Sgrigna et al (2020) Chen et al (2015) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015) Alcala, J, et al (2008)
Oleaceae	Platanus	acerifolia	Plátano de sombra	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Xu, et al (2018)
Oleaceae	Platanus	Occidentalis	Plátano occidental	Lixin et al (2017) Xu, et al (2018)
Cupressaceae	Platycladus	orientalis	Árbol de la vida	Lixin et al (2017) Yang, J et al. (2005)
Salicaceae	Populus	canadensis Moench	Chopo canadiense	Mo et al. (2015)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Salicaceae	Populus	tormentosa Carr.	Álamo blanco chino	Yang, J et al. (2005) Xu, et al (2018) Zhang, Zhang et al. (2019)
Salicaceae	Populus	tremula (L.)	Chopo temblón	Saebo, et al (2012) Sgrigna et al (2020) Xu, et al (2018)
Rosaceae	Prunus	Cerasifera Ehrhar f. atropurpurea (Jacq.) Rehd	Ciruelo mirobolano	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Sgrigna et al (2020) Chen et al (2015)
Rosaceae	Pyracantha	fortuneana (Maxim.) Li	-	Sun et al. (2018) Chen et al (2015) Saebo, et al (2012)
Fagaceae	Quercus	robur (L.)	Roble europeo	Lukowski, Popek y Karolewski (2020)
Fagaceae	Quercus	Variabilis	Quercus variabilis	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Anacardiaceaea	Rhus	typhina Nutt.	Zumaque	Mo et al. (2015) Xu, et al (2018) Saebo, et al (2012) Chen et al. (2021)
Fabaceae	Robinia	pseudoacacia L.	Falsa acacia	Yang, J et al. (2005) Hatami-manesh et al. (2021) Sgrigna et al (2020)
Cupressaceae	Sabina	chinensis	Enebro chino	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015) Zhang, et al (2020) Bertold et al. (2019)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Salicaceae	Salix	babylonica	Sauce llorón	Lu et al. (2018) Bertold et al. (2019)
Salicaceae	Salix	matsudana Koidz.	Sauce tortuoso	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Zhang, Zhang et al. (2019) Zhang, et al (2020) Yang, J et al. (2005)
Fabaceae	Sophora	japonica Linn	Acacia del Japón	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Chen et al (2015) Popek, et al (2018)
Rosaceae	Sorbus	intermedia	Mostajo de suecia	Saebo, et al (2012) Popek, et al (2018)
Rosaceae	Spiraea	japonica L.	Corona de novia rosada	Dzierżanowski et al (2011) Chen et al. (2021)
Oleaceae	Syringa	oblata Lindl.	Lilas	Mo et al. (2015)
Oleaceae	Syringa	reticulata var.mandshurica (Maxim.)Hara	Lilas japonesa	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Taxaceae	Taxus	baccata (L.)	Tejo inglés	Saebo, et al (2012) Przybysz et al. (2014) Saebo, et al (2012) Dzierżanowski et al (2011)
Tiliaceae	Tilia	cordata	Tilo norteño	Lukowski, Popek y Karolewski (2020) Sgrigna et al (2020) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)

Familia	Género	Especie	Nombre común	Autores
Tiliaceae	Tilia	tuan Szysz.		Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)
Arecaceae	Trachycarpus	fortunei	Palmera china de abanico	Bertold et al. (2019) Chen et al (2015) Zhang, et al (2020)
Ulmaceae	Ulmus	pumila	Olmo de Siberia	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)

Anexo N°2: Tabla 9

Características de las principales plantas fitorremediadoras de aire en espacios urbanos

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
1	Acer campestre (L.)	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol caducifolio de 7-10 m de altura, con la corteza gris-castaño, corchosa, tornándose escamosa y fisurada con los años. Las hojas son caducas, simples, carecen de pelosidad por ambas caras, son palmeadas generalmente en 5 lóbulos profundos, y miden 3-8 cm de largo.
		Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia	
2	Acer negundo L.	Hatami-manesh et al. (2021)	Irán	Árbol caducifolio y crecimiento rápido que alcanza los 20 metros, con una copa ancha e irregular y tronco de corteza lisa gris verdoso, de hojas compuestas, imparipinnadas, con folios ovados a elíptico lanceoladas, además tiene peciolo de 6-10cm de longitud, en el otoño las hojas adquieren tonalidades amarillentas.
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China	
3	Acer platanoides (L.)	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol caducifolio polígamo-dioico, de porte alto, alcanzando 20-25 m de altura, de copa redondeada u ovalada y tronco con la corteza de color pardo oscuro, algo fisurada. Las hojas son caducas, simples, opuestas sobre las ramillas y lobuladas, pero con el borde de ángulos agudos, Además, son más finas, lisas y brillantes por las dos caras y segregan látex al ser cortadas.
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China	
4	Aesculus chinensis Bunge	Mo et al. (2015)	Beijín, China	Árbol de hasta veinticinco metros de altura, con copa alta y ovalada o redondeada de hasta diez metros de anchura. Los foliolos, en número de cinco a nueve, son de lanceolados a oblongos, de hasta treinta centímetros de longitud y diez de anchura, con margen finamente serrado o crenulado, ápice muy agudo y base de cuneada a cordada.
		Lixin et al (2017)		
5	Ailanthus altissima	Yang, J et al. (2005)	Pekín	Árbol caducifolio de invierno que puede llegar a los 20 metros de altura, sus

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
6	(Mill.) Swingle	Xu, et al (2018)	Campus de la Universidad Forestal de Beijing	hojas son imparipinnadas, grandes y alternas compuestas con 12 pares de foliolos anchos, lobulados y triangulares con la base truncada. Las flores son pequeñas y verdes, agrupadas en panículas de unos 20 cm. Se ha empleado como ornamental se utiliza en la medicina popular oriental y tiene propiedades bactericida e insecticida.
		Hatami-manesh et al. (2021)	Ciudad de Isfahán, Irán.	
		Mo et al. (2015)	Beijing, China	
		Lixin et al (2017)		
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China	
		Sun et al. (2018)	Distrito de Cheng yang, China	
6	Amygdalus triloba (Lindl.)	Xu, et al (2018)	Beijing, China	Arbusto caducifolio de hojas ampliamente elípticas a obovadas con una altura de 2 a 3 metros. Tiene ramas extendidas, muy ramificadas; las ramitas del pueden ser de color gris a negro grisáceo, marrón grisáceo, glabras o ligeramente pubescentes cuando jóvenes, glabras y flores blancas o de color rosa.
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)		
7	Betula pendula Roth	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	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, de hojas romboidales y ovadas de 4-6 cm de longitud. Son árboles muy frugales, adecuados para la restauración de suelos pobres de montaña.
		Popek, et al (2018)	Varsovia	
		Lukowski, Popek y Karolewski (2020)	Polonia	
7	Betula pendula Roth	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China	
		Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Árbol caducifolio de porte medio, de 10-15 m de altura, de forma irregular,

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
	(L.) Vent.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijing, China	copa densa con hojas alternas, simples, dismórficas. Pose hojas alternas con 3 -5 lóbulos en los árboles jóvenes, anchamente ovadas u oblongas con la base redondeada.
9	Catalpa speciosa Ward	Saebo, et al (2012) Mo et al. (2015) Lixin, et al (2017)	Polonia y Noruega Beijín, China	Árbol de hoja caduca de tamaño mediano con una copa irregular, abierta, redondeada a ovalada estrecha. Tiene hojas anchas ovadas a ovaladas-oblongas (hasta 30 cm de largo) puntiagudas en las puntas y redondeadas a cordadas en la base.
10	Crataegus pinnatifida Bge.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Especie arbórea caducifolia de 6 m de altura, la lámina de las hojas de color verde oscuro, adaxialmente, anchamente ovada o triangular-ovada, rara vez romboidal-avada, nervios laterales 6-10 pares, sus flores poseen pétalos blancos, ovados con 20 estambres.
		Zhang, Zhang et al. (2019) Sun et al. (2018)	China Distrito de Cheng yang, China	Arbusto de hoja perennes nativa de Japón, Corea y China, sus hojas son de color verde o amarillo ovaladas, miden de 3 a 7cm de largo, y tienen el margen finamente acerado. Las flores miden unos 5mm de diámetro, y son de color verdoso-blanco. El fruto es de color verde, y en su interior encontramos semillas rosadas con forma ovado (5 a 10 cm de longitud), con altura de 2,1 m
11	Euonymus japonicus	Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021) Xu, et al (2018) Lixin, et al (2017)	Beijing, China	
12	Ficus benjamina	Bertold et al. (2019)	Vietnam	Árbol siempre verde de copa ancha y frondosa, normalmente con raíces

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
13	<i>Forsythia × intermedia</i>	Huatuco (2018)	Perú	aéreas, pudiendo alcanzar hasta 20 m de altura. Presenta un tipo de hábito perennifolio, con hojas palmeadas lobuladas con lámina ovada elíptica u oblonga con base redondeada de color verde brillante, presentan follaje perennifolio. Arbustos caducifolios de porte ancho y ramificado desde la base que alcanzan 2-3 metros de altura, sus hojas son ovales o lanceoladas, de color verde oscuro y con el margen dentado. Sus flores color del sol desde el comienzo de la primavera, siendo originaria del este de Asia.
		Vásquez, M., Arroyace, M. (2019)	Polonia	
		Saebo, et al (2012) Popek, et al (2018)	Polonia y Noruega Varsovia, Polonia	
		Dzierżanowski et al (2011)		
14	<i>Fraxinus excelsior L</i>	Saebo, et al (2012)	Polonia	Se trata de un gran árbol de hasta 20 m de altura, sus hojas son caducas, opuestas y compuestas, formadas por 7 a 13 hojuelas (folíolos) de forma lobulada, presentan un haz de color verde fuerte y envés más pálido con pubescencia en el nervio central, florece en marzo y abril.
		Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia	
		Hatami-manesh et al. (2021)	Ciudad de Isfahán, Irán.	
15	<i>Fraxinus pennsylvanica Marsh.</i>	Mo et al. (2015)	Beijing, China	Árbol caducifolio de ribera de arroyos, es resistente a los extremos climáticos, con hojas opuestas, ovado-lanceoladas, acuminadas a una punta aguda, se caracteriza por tener hojas compuestas con 7 - 9 folios, es considerada una buena especie arbórea para proyectos de restauración.
		Xu, et al (2018)		
16	<i>Ginkgo biloba L</i>	Zhang, et al (2020)	China	Árbol más antiguo y sus hojas son ampliamente utilizadas para una amplia variedad de enfermedades, por lo que es una eficiente medicina. Las hojas alternas, bilobuladas, en forma de abanico y con muescas desiguales en el borde, son de un hermoso color verde claro. Tiene corteza, de un marrón grisáceo, está marcada por profundos surcos rugosos. Sus ramas horizontales y con ramos extendidos forman una larga copa cónica.
		Chen et al. (2021)		
		Yang, J et al. (2005)		
		Lu et al. (2018)		
		Xu, et al (2018)		
		Mo et al. (2015)		
Lixin et al (2017)				

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
17	Hedera hélix L.	Chen et al (2015)	Polonia y Noruega Varsovia, Polonia Birmingham, Reino Unido Varsovia, Polonia	Trepadora con follaje perennifolio conocida como hiedra común que llevan hojas alternas, pecioladas. Las hojas cercanas a las ramas fértiles son romboidales, mientras que las del resto de la planta presentan unos lóbulos característicos con forma palmada. Florece al final del verano y otoño.
		Saebo, et al (2012)		
		Popek, et al (2018)		
		Weerakkody et al. (2017)		
18	Juniperus chinensis	Dzierżanowski et al (2011)	China	Arbusto conífero de hojas perennes, algunas tienen forma de aguja de 5 a 10 mm de largo y las adultas presentan forma de escamas (1,5 a 3mm de longitud) y con una altura de 4,1m.
		Chen et al. (2021)		
19	Koelreuteria paniculata Laxm	Yang, J et al. (2005)	China	Árbol caduco de hojas alternas, de unos 10 -15 m y hasta 20 m de altura de hojas compuestas imparipinnadas de color verde oscuro, 7-15 foliolos oblongo-ovales y de bordes cerrados.
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)		
20	Ligustrum lucidum Ait.	Chen et al (2015)	Wuhan, china	Árbol perennifolio de crecimiento rápido, que puede alcanzar de 12 a 15 metros de altura. Su follaje es persistente, de color verde con una banda amarillenta en los bordes. Hojas simples, lúcidas, opuestas, ovadas o elípticas de hasta 15 centímetros de largo.
		Guerrero Leyva et al (2016)	Chile	
21	Lonicera maackii	Xu, et al (2018)	Beijín, China	Arbusto caducifolio erguido de hasta 15-20 pies de alto; la médula de los tallos maduros es hueca y blanca o tostada (en contraste con la médula blanca sólida de las especies nativas de madreSelva arbustiva) de hojas opuestas ovadas con punta cónica
		Lixin et al (2017)		
22	Magnolia denudata	Xu, et al (2018)	Beijín, China	Árbol caducifolio muy ramoso que apenas alcanza 15 m de talla. Ramillos tomentosos. Hojas de ovales a obovadas, de 7.5-15 cm de longitud y 5-9 cm de anchura, con la base cuneada y el ápice puntiagudo. Limbo de haz verde

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
		Lixin et al (2017)		y envés más pálido y pubescente. Flores de color blanco marfil, olorosas, de 15 cm de diámetro, con 9 tépalos cóncavos, gruesos.
23	Magnolia grandiflora	Sgrigna et al (2020)	Italia	Árboles perennifolios, de 3-15 m de altura; corteza externa pardo-verdusca, ligeramente fisurada; ramas negro-tomentosas en los ápices, lenticelas de 0.5-1.5 mm de longitud en la superficie restante, cicatrices circulares en cada nudo. Hojas ovadas u oblanceoladas de color verde claro brillante, de 7-21 cm de largo por 3-9 cm de ancho, coriáceas, glabras en el haz, densamente tomentosas ferruginosas en el envés, el margen entero, el ápice agudo o acuminado
		Chen et al (2015)	Wuhan, China	
24	Malus micromalus Makino	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Arbusto de 2.5 a 5 m de altura, posee ramillas de color marrón violáceo o marrón oscuro, con hoja estrechamente elíptica o elíptica, de 5-10 × 2,5-5 cm, pubérula cuando es joven, glabrescente, base cuneada, rara vez sobre ondeada, margen aserrado, ápice agudo o acuminado.
25	Metasequoia glyptostroboides	Lixin et al (2017) Mo et al. (2015)	Beijín, China	Árbol de tipo conífera que puede llegar a alcanzar hasta 50 m de altura con hojas más largas y más cortas alternando irregularmente, formando un contorno ovado-elíptico, es ideal para jardines grandes donde pueda desarrollarse con total libertad, consiguiendo así que el espectador pueda contemplarla en todo su esplendor.
26	Morus alba L.	Hatami-manesh et al. (2021) Mo et al. (2015) Chen et al (2015)	Ciudad de Isfahán, Irán. China	Árbol caducifolio de tamaño medio con copa ovada y redondeada, sus hojas son grandes, casi glabras y lustrosas por el haz, alternas, pecioladas, variables en la forma, redondeadas o cordadas, dentadas o lobuladas. Las flores son pequeñas y se agrupan en espigas muy densas, alargadas u

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)		ovoides.
27	Muntingia calabura	Bertold et al. (2019) Chiam, et al (2019)	Hanoi, Vietnam Singapur	Árbol caducifolio, de 3 a 12 m de altura, con hojas alternas, ovadas y lanceoladas de 4-12 x 1,5-4, con base asimétrica, oblicuamente subcordada o truncada, el margen de forma irregular verde claro en el haz y verde grisáceo en el envés.
28	Nerium oleander	Bertold et al. (2019) Guerrero Leyva et al (2016)	Hanoi, Vietnam Chile	Arbusto leñoso perennifolio de 1-4 m, tiene hojas con pecíolos 6-16 mm; láminas 9.5-26 × 0.9-2.6 cm, angostamente elípticas a linear elípticas, subcartáceas, agudas o cortamente acuminadas en el ápice, cuneadas basalmente, glabrescentes, algunas veces puberulentas en el envés. Presentan flores con los sépalos 5-7 mm, ovados, acuminados apicalmente; corola blanca, color crema, rosada o roja
29	Osmanthus fragrans Lour	Ting et al. (2019) Chen et al (2015)	Beijín, China	Árbol perennifolio de la familia Oleaceae y de hoja perenne de hasta 10 m. de altura, con hojas opuestas, simples, coriáceas, de elípticas a oblango-lanceoladas, de 5-10 cm. de longitud, escasamente pecioladas. Flores blanco-amarillentas, muy aromáticas, agrupadas en pequeños racimos axilares.
30	Parthenocissus quinquefolia	Zhang, et al (2020) Saebo, et al (2012)	Beijín, China Polonia y Noruega	Trepadora caducifolia ornamental perennifolia utilizada para cubrir paredes, fachadas y suelos, que logra alcanzar hasta 15 m de altura, con una extensión compacta con hojas ovaladas simples verdes que se tornan rojizas en otoño.
31	Parthenocissus tricuspidata	Chen et al (2015) Saebo, et al (2012)	Wuhan, China Polonia y Noruega	Trepadora perennifolia de 8-10m de longitud, tiene hojas bastante variables, desde algunas variedades redondeadas o acorazonadas, a dentadas o divididas, hasta tribuladas

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
32	<i>Philadelphus pekinensis</i> Rupr.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Arbusto de hoja caduca denso, compacto, de tallos múltiples, sus hojas son ovadas a lanceoladas, con márgenes serrados son glabras por debajo. La corteza de color marrón oscuro se exfolia con la edad.
33	<i>Physocarpus opulifolius</i>	Popek, et al (2018) Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia	Arbusto caducifolio de la familia de las Rosáceas, de hoja caduca y múltiples ramas que crecen desde el suelo pudiendo alcanzar en la madurez hasta los dos metros de altura formando una silueta bonita estructura en forma de copa abierta. Las hojas varían de 3-12 cm (1 a 5 pulgadas) de longitud y presentan lóbulos de vena palmeada.
34	<i>Pinus armandi</i>	Saebo, et al (2012) Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)	Polonia y Noruega Beijín, China	Árbol caducifolio que alcanza los 25–40 m de altitud, y un diámetro en el tronco de 1,5 m, sus hojas están en fascículos de cinco, con una vaina caducas, considerado un miembro del grupo de los pinos blancos
35	<i>Pinus bungeana</i>	Chen et al (2021) Lu et al. (2018)	China	Árbol conífera de hoja perenne de crecimiento lento con crecimiento piramidal cuando es joven, a menudo de múltiples tallos, aplanados y redondeados con el tiempo. Increíblemente hermoso, su suave corteza de color gris verdoso se desprende y revela un rico mosaico de blanco cremoso, rojo, morado, marrón y verde. A medida que madura, eventualmente se vuelve blanco plateado
36	<i>Pinus sylvestris</i>	Saebo, et al (2012) Przybysz et al. (2014)	Polonia y Noruega Stavanger, Noruega	Árbol perennifolio que puede alcanzar 40 m de talla, con la corteza gruesa que se desprende en placas amarillo-verdosas o rojizas, papiráceas. Árbol que puede alcanzar 40 m de talla, con la corteza gruesa que se desprende en placas amarillo-verdosas o rojizas, papiráceas. Las hojas se disponen en parejas, son aciculares, cortas, de 3 a 7 cm, flexibles y generalmente retorcidas
37	<i>Pinus tabulaeformis</i>	Zhang, Zhang et al.	China	Árbol de hasta 30 m de altura de tipo conífera de 4,8m de altura, posee hojas

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
		(2019)		perennes en fascículos de 2(-3), persistentes 2-3 años, extendidas, envueltas en una vaina basal persistente de 10-15 mm de largo; 6-15 cm de largo, rectas o curvas, rígidas, 1-1,5 mm de espesor, a menudo ligeramente torcidas, de color verde oscuro; ápice agudo o acuminado; estomas en líneas finas en todas las superficies.
38	Pittosporum tobira	Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005) Lu et al. (2018) Xu, et al (2018) Lixin et al (2017) Lorenzini, G, et al (2006)	China	Arbusto de 2- 6 m de altura, con copa densa y redondeada, posee hojas perennes alternas, simples, agrupadas hacia el extremo de las ramas, obovadas u obovado-lanceoladas, de 5-10 x 2,5-4 cm.
		Chen et al (2015) Guerrero Leyva et al (2016)	Chile	
39	Platanus × hispanica	Popek, et al (2018) Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia	Árbol caducifolio, las hojas son simples, alternas y palmeadas en 5 lóbulos de picos agudos e irregulares. Son grandes, pues miden 12-22 cm de largo por 12-30 cm de ancho. Las flores son muy pequeñas y poco vistosas, tetrámeras, con sépalos escamiformes, ovados, más cortos que los pétalos.
		Zhang, Zhang et al. (2019) Chen et al. (2021)	China	Árbol de follaje caducifolio de copa ovoidal (25 a 35 cm de altura y de 10 a 15m de diámetro), con hojas simples, alternas y palmeadas en 5 lóbulos de picos agudos e irregulares. Posee flores muy pequeñas, agrupadas en estructuras globosas, femeninas y masculinas por separado, pero en el mismo árbol. Frutos globosos con semillas rodeadas de pelos permanecen hasta la siguiente primavera.
40	Platanus acerifolia	Sgrigna et al (2020) Chen et al (2015) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	Italia China	
41	Platanus Occidentalis	Alcala, J, et al (2008)	México	Especie arbórea de 30 a 40 m de altura, que posee hojas caducas con lóbulos palmeados y pertenece a la familia Platanaceae, puede llegar a alcanzar

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
42	Platycladus orientalis	Xu, et al (2018)	China	treinta metros de altura y treinta metros de anchura. En otoño, las hojas adquieren un color amarillo pardusco. Las hojas caídas no se pudren fácilmente y permanecen en el suelo alrededor del árbol. La flor esférica es única y, como la fruta puntiaguda, cuelga de un tallo largo.
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)	Beijing, China	Árbol caducifolio que puede alcanzar 20 a 30 m de altura de hojas escamiformes, carnosas dispuestas en 4 filas. Hojas escumiformes tapizando ramillas aplastadas, dispuestas en un solo plano y de forma vertical. Las piñas con 6-8 escamas provistas en el dorso de una protuberancia recurvada en forma de cuerno.
		Xu, et al (2018)		
Lixin et al (2017)				
43	Populus canadensis Moench	Yang, J et al. (2005)	China	Árbol caducifolio que puede alcanzar los 40 m de altura. Las hojas son deltoides, no romboidales, acuminadas, de base truncada o con cierta forma de corazón. El margen de las hojas es dentado y translúcido, con los pelos cortos en el contorno o en la cara inferior.
		Mo et al. (2015)		
44	Populus tomentosa Carr.	Yang, J et al. (2005)	China	Árbol caducifolio de la familia Salicaceae, de tipo conífera de hoja pequeñas palmeadas lobuladas y puede alcanzar los 30 m de altura.
		Xu, et al (2018)		
		Zhang, Zhang et al. (2019)		
45	Populus tremula (L.)	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol caducifolio que puede alcanzar los 30m de altura, con el tronco de corteza lisa y blanquecina. La copa es redondeada y ancha, de hasta 20 m de altura. Las hojas son orbiculares e irregularmente sinuato-dentadas, verdes

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
		Sgrigna et al (2020)	Italia	en el haz y glaucoscentes en el envés. En otoño cambian del verde claro al morado pasando por toda la gama de amarillos, ocres y rojos, lo que le confiere una gran vistosidad.
46	Prunus Cerasifera Ehrhar f. atropurpurea (Jacq.) Rehd	Xu, et al (2018)	China	Arbusto caducifolio de hasta 6-7 m de altura con el follaje abierto y ascendente, tiene hojas alternas, simples, ovadas o elípticas, de 2-7 cm de longitud. Flores generalmente solitarias, de 2-2.5 cm de diámetro, de color blanco o rosa. Aparecen antes que las hojas en el mes de marzo-abril.
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)	Italia	
		Sgrigna et al (2020)	China	
47	Pyracantha fortuneana (Maxim.) Li	Chen et al (2015)	China	Arbustos de hoja perenne, generalmente espinosos, de la familia de las rosas (Rosaceae), nativo del sureste de Europa y Asia, además sus frutos pueden usarse como suplemento tradicional.
		Sun et al. (2018)		
48	Quercus robur (L.)	Saebo, et al (2012)	China	Árbol caducifolio que puede alcanzar de 5 a 50 m de altura, con la copa muy frondosa y el tronco bastante corto, grueso, algo inclinado y sinuoso, y con las ramas cortas y considerablemente gruesas, dicotómicas.
		Lukowski, Popek y Karolewski (2020)	Polonia	
49	Quercus variabilis	Mo et al. (2015)	China	Árbol caducifolio perteneciente a la familia de las fagáceas, que puede alcanzar de 25 a 30 m con una copa abierta y tiene hojas anchas lanceoladas, de 8-12 cm de longitud.
		Lixin et al (2017)		
50	Rhus typhina Nutt.	Mo et al. (2015)	Beijin, China	Árbol puede llegar a alcanzar seis metros de altura, a veces con varios troncos, posee hojas caducas pinnadas con 11 -31 folíolos, de forma

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
51	Robinia pseudoacacia L.	Xu, et al (2018)		oblongo- lanceolada, acuminados de 6-10 cm de longitud, de flores verdosas, polígamas, dispuestas en inflorescencias terminales, pubescentes.
		Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Es un árbol de rápido crecimiento, de corte gris y agrietada que puede alcanzar las 25m, además sus hojas son caducas, alternas y compuestas con forma ovalada, redondeada., a menudo con el ápice escotado y con el haz de un verde algo azulado. Las flores son blancas, se agrupan en racimos densos que cuelgan de forma bien visible. Los frutos florecen a final de primavera, son legumbres que tienen hasta 10 cm de color marrón y con las semillas bien marcadas.
		Chen et al. (2021)	China	
		Yang, J et al. (2005)	Ciudad de Isfahán, Irán.	
		Hatami-manesh et al. (2021)	Italia	
		Sgrigna et al (2020)	China	
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)		
52	Sabina chinensis	Zhang, et al (2020)	Beijin, China	Árbol de tipo conífera con hojas perennes, algunas tienen forma de aguja de 5 a 10 mm de largo y las adultas presentan forma de escamas (1,5 a 3mm de longitud) y con una altura de 4,1m.
		Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	
53	Salix babylonica	Lu et al. (2018)	Beijin, China	Arbolito caducifolio de 8-12 m de altura con ramas delgadas, flexibles, largas y colgantes casi hasta el suelo, presenta hojas linear-lanceoladas, de 8-16 cm de longitud, acuminadas, de borde finamente aserrado, lampiñas y algo glaucas en el envés, sus flores son de color amarillo pálido.
		Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	
54	Salix matsudana Koidz.	Xu, et al (2018)	Beijing, China	Árbol caducifolio de 4-8 m de altura con el ramaje en zigzag y en espiral característico, de hojas lanceoladas, estrechas de 5 a 10 cm de longitud con el borde aserrado, largamente acuminadas, con la base obtusa o redondeada, que generalmente florece en abril y mayo
		Mo et al. (2015)		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
55	Sophora japonica Linn	Zhang, Zhang et al. (2019)	Beijín, China	Es un árbol leguminoso, caducifolio de 8-10 m, aunque puede alcanzar 15-25 metros, sus hojas son compuestas imparipinadas de 15-25 (-30) cm de longitud, cada una con 7-17 folíolos alternos o subopuestos, de elípticos a ovado-lanceolados u ovado-oblongos, de 2,5-6 x 1,5-3 cm, cortamente peciolobulados, con la base anchamente cuneada o redondeada, además posee numerosas flores de color blanco-crema, ligeramente olorosa, dispuestas sobre pedicelos puberulentos de 3-5 mm de largo.
		Zhang, et al (2020)		
		Yang, J et al. (2005)		
		Xu, et al (2018)		
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)		
Chen et al (2015)				
56	Sorbus intermedia	Popek, et al (2018)	Polonia y Noruega	Árbol Caducifolio de abundante follaje que puede alcanzar una altura de 20m de altura, con las ramas jóvenes pelosas y corteza lisa y gris. Las hojas son caducas, simples, alternas (este carácter se observa mejor en la parte intermedia de las ramas, pues en los extremos a veces aparecen muy juntas), de margen serrado, con 3 a 5 pares de lóbulos profundos característicos.
		Saebo, et al (2012)	Varsovia, Polonia	
57	Spiraea japonica L.	Popek, et al (2018)	Varsovia, Polonia	Arbusto semiperennifolio que apenas superan el 1,5 metro de altura. Las hojas son de color verde vivo, con el borde dentado y forma lanceolada terminada en punta. Las abundantes flores aparecen en corimbos terminales y suelen ser de color rosa
		Dzierżanowski et al (2011)		
58	Syringa oblata Lindl.	Chen et al. (2021)	China	Especie de arbusto caducifolio pequeño que puede alcanzar los 5 metros, de la familia Oleaceae. Presenta hojas ovada, ovada-orbicular, a reniforme, ligeramente más ancha que larga o ligeramente más estrecha que larga, 2,5-10(-14) × 2,5-8(-15) cm, glabra o pubescente, vellosa a glabrescente, base

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
		Mo et al. (2015)		subcordada o truncada a anchamente cuneadas, ápice abruptamente agudo a largo acuminado.
59	<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i> (Maxim.) Hara	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Árbol caducifolio con lámina de la hoja ovada, ovada-lanceolada, elíptica-ovada, oblonga-lanceolada o suborbicular, 2.5-13 x 1-6 (-8) cm.
60	<i>Taxus baccata</i> (L.)	Saebo, et al (2012) Przybysz et al. (2014)	Polonia y Noruega Stavanger, Noruega	Árbol perennifolio de porte piramidal con hojas lineares, cortas (1-3 cm) y estrechas (1,5-2,5mm), de márgenes paralelos, de color verde oscuro por el haz, más claras por el envés.
61	<i>Tilia cordata</i>	Saebo, et al (2012) Dzierżanowski et al (2011) Lukowski, Popek y Karolewski (2020) Sgrigna et al (2020) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	Polonia y Noruega Varsovia, Polonia Polonia Italia China	Árbol caducifolio que puede alcanzar los 25-30 m de altura, de tallo recto con corteza lisa que alcanza alrededor de 18 m de altura. Sus hojas tienen forma acorazonada de 3.5-7.5 cm de longitud, con peciolo delgado, además son verde oscuras por el haz y verde azuladas por el envés. Las flores tienen un color amarillento, agrupadas en racimos.
62	<i>Tilia tuan</i> Szysz.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijing, China	Árbol de hasta 23 m de altura con hoja de forma ovada entre ancha y estrecha, muy oblicua en la base y, a menudo, con un abultamiento en el lóbulo en el lado grande.

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta
63	Trachycarpus fortunei	Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Palmera resistente al frío y nieve, sus hojas son palmadas de limbo redondeado de unos 60-90 cm de ancho y de 40-60 cm de largo, con pecíolos que pueden medir de medio hasta un metro, con los márgenes finamente serrados, mientras que las flores son de color amarillo, aromáticas y los frutos tienen forma de riñón y coloración azulona- negra cuando están maduros.
		Chen et al (2015)	Wuhan, china	
64	Ulmus pumila	Zhang, et al (2020)	Beijín, China	Árbol caducifolio, que puede llegar a los 25 m de altura. La corteza es de color gris oscuro y fisurada longitudinalmente, y las ramitas son delgadas, gris-amarillento y glabra y sus hojas tienen peciolo pubescente de 4-10 mm.
		Xu, et al (2018)		
		Mo et al. (2015)		
		Lixin et al (2017)		

Anexo N°3: Tabla 10
Matriz de consistencia

Problema General	Objetivos	Hipótesis general	Variable	Metodología
<p>¿Qué relación existe entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos?</p>	<p>Objetivo general Establecer la relación entre el material particulado y la eficiencia de la fitorremediación atmosférica en espacios urbanos.</p> <p>Objetivos específicos: Describir y caracterizar las principales plantas fitorremediadoras en espacios urbanos. Conocer la adsorción de material particulado en base a 4 metodologías PM 2.5 y PM 10 realizadas por los autores. Efectuar un análisis descriptivo correlativo para evaluar la relación entre las características de las especies de plantas descritas por los autores y su capacidad de adsorción de material particulado.</p>	<p>La eficiencia de la fitorremediación atmosférica se relaciona directamente con la disminución del material particulado.</p>	<p>Variable independiente: Especies de plantas</p> <p>Variable dependiente: Material particulado</p>	<p>Tipo de investigación: <u>Enfoque:</u> Cuantitativo Diseño de investigación: Correlacional <u>Nivel de profundidad:</u> Descriptiva - correlacional Periodo temporal: Longitudinal Por su propósito: Aplicada Población y muestra <u>Población:</u> Todas las investigaciones que tienen relación con la fitorremediación atmosférica y material particulado <u>Muestra:</u> 32 Investigaciones</p>

Anexo N°4: Tabla 11

Ficha de registro

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
1	Egas Claudia, Naulin Paulette I.y Préndez Margarita	2018	Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile	Artículo científico	SciELO	Analizar el efecto de la contaminación sobre cuatro especies arbóreas urbanas sometidas a concentraciones diferentes de material particulado	Estudio cuantitativo, a nivel laboratorio dado en cuatro fases lugar de muestreo, selección y colección de especies arbóreas, análisis foliar y estadístico)	Se evalúan variables morfoatómicas de las plantas con sus respectivas desviaciones estándar.	Región Metropolitana de Santiago de Chile
2	Zhang Lu, Zhang Zhiqiang, Chen Lixin y McNulty Steven	2019	An investigation on the leaf accumulation-removal efficiency of atmospheric particulate matter for five urban plant species under different rainfall regimes	Artículo científico	Sciencedirect	Determinar la cantidad de remoción de MP foliar y la tasa de diferentes tamaños para cinco especies de plantas mediante diferentes regímenes de lluvia simulados.	Metodología cuantitativa, mediante proceso experimental desarrollado en ocho fases, además se realizó un análisis estadístico para	Cumple con los estándares de calidad científica y realiza un análisis estadístico para determinar las diversas cantidades de remoción de	China

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
3	Sun Xiaodan, Li Haimei, Guo Xiao, Sun Yingkun y Li Shimei	2018	Capacity of six shrub species to retain atmospheric particulates with different diameters	Artículo científico	Springer	Medir la retención de polvo atmosférico por unidad de área foliar y volumen en seis especies de arbustos en el cinturón verde de una carretera en el distrito de Cheng yang de Qingdao, China.	observar las diferencias entre especies con un ANOVA de una vía en SPSS 18.0 y el método de corrección de Pearson. Estudios experimentales (recolección de hojas, medición de área foliar a nivel laboratorio, medición de polvo atmosférico y análisis de datos software en SPSS).	PM en las plantas. Cumple con los estándares de calidad científica.	China
4	Phocco Machaca Herbert	2019	Estimación de la capacidad de adsorción del material particulado del aire en dos	Tesis de Maestría	Repositorio ALICIA	Estimar la capacidad de adsorción de material particulado del	Se utilizó una metodología cuantitativa, median un proceso	Realiza un análisis estadístico para la comprobación	PERÚ

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			especies ornamentales (Cytisus canariensis, Malva sylvestris) en la Ciudad de Puno, 2018			aire en dos especies ornamentales (Cytisus canariensis, Malva sylvestris) en la ciudad de Puno, 2018.	experimental y de observación que se desarrolló en cinco fases, para lo cual se realizó pruebas en laboratorio.	y análisis de sus datos, por ello utiliza Análisis de Varianza (ANOVA), prueba de Tukey y correlación de Pearson.	
5	Mariën Bertold, Mariën Joachim, Nguyen Xuan Hoa, Nguyen The Cuong, Nguyen Van Sinh y Samson Roeland	2019	Particulate matter accumulation capacity of plants in Hanoi, Vietnam	Artículo científico	Sciencedirect	Investigar qué especies de plantas acumulan la mayor parte de PM	Estudio experimental, primero se recolectó hojas, luego se realizó la medición del área foliar específica, la estoma de la hoja y para el análisis estadístico se utilizó un modelo lineal mixto	Cumple con los estándares de calidad científica.	Vietnam
6	Zhang, et al	2020	Comparison of the	Artículo	Sciencedirect	Identificar la	Metodología	Cumple con lo	China

Nº	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
7	Saebo, A.; Popek, R.; Nawrot, B.; Hanslin, H.M; Gawronska, H.; Gawronski, S.W.	2012	suitability of plant species for greenbelt construction based on particulate matter capture capacity, air pollution tolerance index, and antioxidant system Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces	científico Artículo científico	 Pubmed	planta más adecuada para la mitigación de PM que tenga un alto índice de tolerancia a la contaminación del aire (APTI) Examinar la acumulación de PM por parte de 47 especies leñosas comúnmente cultivadas como vegetación urbana en Europa.	cuantitativa, se desarrolló en siete fases incluyendo experimentación el laboratorio y análisis estadístico con la versión 20.0 del software SPSS Estudios experimentales (recolección de hojas, análisis de PM y cera en cada muestra) y análisis de varianza (ANOVA)	que se desea demostrar en la investigación. Cumple con los estándares de calidad científica y utilizan gran variedad de especies de árboles y arbustos.	 Polonia y Noruega
8	Chiam Zhongyu, Song Xiao, Lai Hao Ran, Tan Hugh Tiang Wah	2019	Particulate matter mitigation via plants: Understanding complex relationships with	Artículo científico	Sciencedirect	Evaluar el efecto de los rasgos funcionales de las hojas en la deposición seca de PM en 20	Estudio cuantitativo mediante, selección de especies, muestreo, diseño	Cumple con los estándares de calidad científica y utilizan gran variedad de	Singapur

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			leaf traits			especies tropicales.	de túnel de viento y análisis estadístico. Se realizó las recolecciones de muestras, luego se evaluó la eficiencia del aparato fotosintético de la hoja y se utilizó análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia estadística de las diferencias y la interacción entre la cantidad de PM.	especies de plantas.	
9	Popek, R., Przybysz, A., Gawrońska, H., Klamkowski, K., & Gawroński, S. W.	2018	Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions	Artículo científico	Pubmed	Definir la cantidad de PM y ceras en el follaje, y evaluar la eficiencia del aparato fotosintético en siete especies de plantas.	La investigación es de tipo experimental donde se utiliza análisis	Cumple con lo que se desea demostrar en la investigación.	Polonia
10	Astorga, F	2010	Utilización de follaje de Pinus halepensis Mill como bioindicador de contaminación	Artículo científico	Scielo	Estudiar la relación entre las concentraciones de partículas suspendidas	Se determinaron concentraciones de PST de acuerdo al		México

N°	Autor	Año	Titulo	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			atmosférica por material particulado			<p>totales (PST) en la atmósfera captadas por filtros de fibra de vidrio y el material particulado retenido (MPR) en hojas de pino Alepo. Generar un índice indirecto de calidad del aire utilizando follaje de pino.</p>	<p>estadístico elaborando un modelo matemático de regresión entre los dos tipos de monitoreo</p>	<p>Método EPA IO-2.1, en muestreos de 24 horas cada 6 días. El MPR en el follaje de los pinos se determinó mediante la colecta y lavado de hojas con una periodicidad mensual. En el análisis de correlación se ordenaron los datos de menor a mayor y se delimitaron tres secciones. Los resultados de correlaciones de Pearson fueron 0.745, 0.799, 0.707</p>	

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
11	Huatuco, M	2018	Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima	Tesis de Maestría	Repositorio ALICIA	Determinar la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016.	La metodología desarrolla un enfoque cuantitativo, por lo que considera seis etapas: planificación de gabinete, implementación de las parcelas de muestreo, evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS) empleando a la vegetación como bio-indicador, determinación del estado fisiológico de la vegetación arbórea,	La tesis presenta gran variedad de especies de plantas y capturan material particulado, aunque existe una diferencia significativa.	Perú

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
12	Padilla Lauriano, Abiu y Villegas Silva, Elvito	2018	Deposición de partículas de hollín en la superficie de las hojas de ficus (<i>Ficus macrophylla</i>) como indicador de contaminación del aire en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote	Artículo científico	SciELO	Cuantificar la deposición de hollín en el follaje de la vegetación arbustiva, formada principalmente por ficus (<i>Ficus macrophylla</i>), en el ecosistema urbano de Florida Baja–Chimbote.	determinación de la captura de carbono en vegetación (Cv) y estimación de stocks de carbono. Estudio con enfoque cuantitativo, diseño experimental en cuatro fases y tratamiento estadístico utilizando el software IBM SPSS Statistics V21.0.	Tiene los estándares requeridos de artículo científico	PERÚ
13	Weerakkody Udeshika, DoveJohn W, Mitchell Paul y Reiling Kevin	2017	Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-	Artículo científico	Sciencedirect	Examinar la variación entre especies de la captura de partículas por las hojas de	Estudio con enfoque cuantitativo, desarrollado en seis fases y análisis	Utiliza gran variedad de especies para evaluar la captura de material	Inglaterra

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			traffic at a metropolitan station			diecisiete especies de plantas presentes en una pared viva en la estación de tren de New Street, Birmingham, Reino Unido.	estadístico con software estadístico R versión 3.2.5	particulado	
14	Vásquez, M., Arroyace, M.	2019	Clasificación de especies arbóreas según su capacidad para remover material particulado del aire en el Valle de Aburrá	Artículo científico	Redalyc	Clasificar 100 especies arbóreas más comunes en Valle de Aburrá que mejor controlan el MP, a partir de sus rasgos funcionales.	Estudio con enfoque cualitativo, recopila información registrada en el Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la región metropolitana del Valle de la Aburrá (AMVA, 2006) y búsqueda de información	Evalúan un gran número de especies de plantas y los resultados muestran que los árboles con características ornamentales como las coníferas son los que tienen mayor captación de material particulado.	Colombia

Nº	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
15	Chen Guojian, Lin, Hu Yang, Zhang Yuxin y Ma Keming	2021	Net particulate matter removal ability and efficiency of ten plant species in Beijing	Artículo científico	Sciencedirect	Cuantificar y comparar las capacidades netas de eliminación de partículas y la eficiencia de diez especies de plantas en Beijing.	especializada de los rasgos funcionales. Estudio cuantitativo a nivel experimental, realizado en tres fases (recolección de muestra, análisis cuantitativo del PM y análisis de datos para evaluar la remoción de PM normalizado en la hoja).	Las diez especies presentaron PM en sus hojas con diferencias significativas, además el estudio brinda información de calidad.	China
16	Alcala J., M. Sosa C., M. Moreno L., C. Quintana, A. Campos y C. Holguín	2008	Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México	Artículo científico	Redalyc	Determinar la capacidad de retención de material particulado sedimentable (MPS) de las especies arbóreas	Metodología cuantitativa, mediante muestreo, análisis en laboratorio, cálculos de densidad y	Las especies evaluadas demuestran una opción para ser utilizadas en la retención de polvo atmosférico.	México

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
17	Martínez, M.; Solís, C.; Andrade, E.; Isaac, K.; Rocha, M.; Murillo, G.; Beltrán, R. & Constantino, C.	2010	PIXE analysis of Tillandsia usneoides for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico	Artículo científico	Scopus	<p>con mayor densidad y distribución urbana</p> <p>Examinar la eficiencia de acumulación de T. usneoides y comparar la composición elemental y los niveles en PM10 y biomonitores, para evaluar si existe correspondencia entre los elementos traza acumulados en ambos métodos de muestreo de PM.</p>	<p>análisis con el diseño del Modelo con Proc GLM de SAS</p> <p>Análisis de los aerosoles atmosféricos recogidos en filtros. se utilizó Tillandsia usneoides, un monitor biológico confiable de contaminación del aire que ocurre naturalmente en todo México, para monitorear la calidad del aire del corredor Tula-Tepeji en el centro de México.</p>	<p>Se acepta el estudio debido a que se demuestra que esta especie dentro del ecosistema urbano es un bioindicador de contaminación ambiental.</p>	México

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
18	Lorenzini, G., C. Grassi, C. Nali, A. Petiti, S. Loppi and L. Tognotti	2006	Leaves of <i>Pittosporum tobira</i> as indicators of airborne trace element and PM10 distribution in central Italy	Artículo científico	Sciencedirect	Cuantificar el papel de la vegetación en la detección de la distribución espacial de elementos seleccionados y en partículas.	Estudio experimental, primero se identificó el lugar para la recolección, luego se muestreó las hojas a ser utilizadas, luego analizaron los elementos seleccionados y finalmente se realizó un tratamiento estadístico multivariante.	Cumple con los estándares de calidad científica.	Italia
19	Jun Yang, Joe McBride, Jinxing Zhou, Zhenyuan Sun	2005	The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction	Artículo científico	Scopus	Describir la composición y estructura actuales del bosque urbano de Pekín, cuantificar los principales contaminantes	Análisis de imágenes de satélite y en encuestas sobre el terreno para establecer las características del bosque	Cumple con los estándares de calidad científica y utilizan gran variedad de especies de árboles y	China

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
						atmosféricos, incluidos el SO ₂ , el NO ₂ , las PM ₁₀ y el O ₃ , que el bosque urbano reduce de la atmósfera; cuantificar la emisión de BVOC del bosque urbano; calcular el secuestro de CO ₂ .	urbano actual en la parte central de Pekín. Y se estudió el modelo de efectos del bosque urbano.	arbustos.	
20	Lu Shaowei, Yang Xinbing, Li Shaoning, Chen Bo, Jiang Yan, Wang Di y Xu Lan	2018	Effects of plant leaf surface and different pollution levels on PM _{2.5} adsorption capacity	Artículo científico	Sciencedirect	Comparar la adsorción de PM _{2.5} con la morfología de la hoja y el contenido en iones solubles en agua.	Estudio cuantitativo realizado de manera experimental en laboratorio con el fin de conocer el PM _{2.5} retenido den las hojas.	El estudio brinda estrategias para reducir la contaminación del PM y mejora la calidad del aire en las ciudades.	China
21	Dzierzanowski, K., Popek, R.,	2011	Deposition of particulate matter of	Artículo científico	Springer	Determinar la cantidad de	Estudio cuantitativo	Se comprobó la importancia de	Polonia

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
	Gawrońska, H., Saebø, A., & Gawroński, S. W.		different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species			deposición de partículas en el follaje de ocho especies de plantas comúnmente cultivadas en zonas urbanas de Polonia	realizado a nivel experimental para ello recolectaron hojas en dos temporadas, luego fueron analizados en laboratorio y para el análisis de datos se utilizó el de análisis de varianza unidireccional con el programa StatGraphics Plus 4.1 (StatPoint Technologies, Inc., USA).	las diferencias entre los valores medios mediante la prueba de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey a $\alpha = 0,05$.	
22	Lukowski, Popek y Karolewski	2020	Particulate matter on foliage of <i>Betula pendula</i> , <i>Quercus robur</i> , and <i>Tilia cordata</i> : deposition	Artículo científico	Springer	Determinar la influencia de la acumulación de PM en los procesos	Metodología cuantitativa realizada en laboratorio mediante	En todas las especies se encontró PM de ambas fracciones.	Polonia

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			and ecophysiology			fotosintéticos y la capa de cera y cómo variaba según la especie arbórea	análisis gravimétrico y análisis estadístico ANOVA bidireccional con efectos aleatorios para comparar los valores de las cantidades medidas de material particulado.		
23	Ting Lu, Xintao Lin, Jian Chen, Dongming Huang, Ming Li,	2019	Atmospheric particle retention capacity and photosynthetic responses of three common greening plant species under different pollution levels in Hangzhou	Artículo científico	Sciencedirect	Evaluar las capacidades de retención de material particulado de diferentes especies de plantas bajo diferentes niveles de contaminación por cada tamaño de partícula.	Estudio con enfoque cuantitativo de tipo experimental, desarrollado en seis fases (identificación de especies de plantas, recolección de muestras de	Cumple con los estándares de calidad científica y todos los datos se probaron para determinar la homogeneidad de la varianza y normalidad de la distribución	China

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
25	Xu, Y., Xu, W., Mo, L. y col.	2018	Quantifying particulate matter accumulated on leaves by 17 species of urban trees in Beijing, China	Artículo científico	Springer	Investigar la efectividad de 17 especies de plantas en la acumulación de PM durante la temporada de crecimiento en las precipitaciones en la eliminación de material particulado depositada en el follaje.	tercera etapa, cuantificar la acumulación de material particulado mediante lavado de hojas con agua destilada y cloroformo, en cuarto lugar, se evaluaron las condiciones de lluvia, en quinto los oligoelementos y finalmente se realizó análisis estadístico.	El estudio prueba las diferencias significativas de la acumulación de PM entre las diversas la vegetación en la remediación de contaminantes.	China

N°	Autor	Año	Titulo	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
						Beijing para el año 2014.	llevadas a laboratorio y medir la masa promedio de material particulado depositada diariamente, para ello lavaron las muestras con agua desionizada y luego se filtró secuencialmente a través de filtros de 10, 2.5 y 0.2 μm , luego el área se midió con ImageJ, finalmente se utilizó el análisis de varianza unidireccional (ANOVA) para probar diferencias significativas en	especies de plantas mediante la correlación de Sperman y demuestra que las hojas de las plantas leñosas acumulan material particulado de forma diferente y deben seleccionarse las especies vegetales más eficaces en las zonas urbanas.	

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
26	Hatami-manesh, M., Mortazavi, S., Solgi, E. et al.	2021	Assessing the uptake and accumulation of heavy metals and particulate matter from ambient air by some tree species in Isfahan Metropolis, Iran	Artículo científico	Springer	Evaluar la absorción y el potencial de acumulación de metales pesados en las hojas lavadas, sin lavar y en material particulado (PM) en la superficie de las hojas y ceras de	la acumulación de PM entre diferentes especies y el análisis de correlación de Spearman para evaluar las correlaciones lineales entre la PM superficial, la PM en cera y los iones solubles en agua. Investigación cuantitativa, se seleccionaron ocho estaciones de muestreo donde se recolectaron 131 muestras de hojas, las cuales se dividieron en dos secciones (hojas lavadas	La investigación utiliza diversidad de especies de plantas y demuestra la alta capacidad para controlar la contaminación	Ciudad de Isfahán, Irán

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
27	Mo L, Ma Z, Xu Y, Sun F, Lun X, Liu X, et al.	2015	Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing, China	Artículo científico	Pubmed	Evaluar la deposición de material particulado en las hojas y en la capa de cera de 35 especies (11 diferentes especies de árboles en la ciudad de Isfahán.	con agua desionizada y no lavadas), luego se evaluó el índice de bioconcentración integral, a continuación, se utilizó el índice de acumulación de metales y finalmente para la acumulación de material particulado se realizó lavado de hojas con agua desionizada y cloroformo.	atmosférica por material particulados y metales pesados. El estudio utilizó una cantidad significativa de especies de plantas, así como el	Beijing, China

N°	Autor	Año	Titulo	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
						<p>arbustos, 24 árboles) en Beijing, China.</p>	<p>arbustos y 24 árboles, luego se colocaron en bolsas de plástico y se sellaron, se etiquetaron con números de serie y se almacenaron a 4 ° C en un refrigerador de laboratorio. Para determinar la acumulación de material particulado se utilizó el método de filtrado y pesaje para conocer el rango de tamaño de PM para ello las hojas se lavaron con agua desionizada y</p>	<p>análisis de varianza unidireccional (ANOVA) para probar las diferencias en la acumulación de MP entre las especies.</p>	

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
28	Lixin Chen, Chenming Liu, Lu Zhang, Rui Zou y Zhiqiang Zhang	2017	Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter (PM2.5)	Artículo Científico	PUBMED	Determinar los rasgos foliares para una captura efectiva de PM2.5 y explorar especie a especie diferencias en la capacidad foliar de recaptura de PM2.5 después de un evento de lluvia	<p>cloroformo. Para conocer el área de la hoja se utilizó un escáner, finalmente se realizó un análisis estadístico.</p> <p>Estudio de tipo experimental que tiene como criterio aplicar la recolección de hojas teniendo en cuenta el sol y la velocidad del viento obteniendo un rango de área foliar de 300 a 500 cm², posteriormente a ello se congelan las muestras, posteriormente</p>	Se acepta el estudio por la evidencia de PM encontrado en las 31 especies arbóreas	Beijing, China

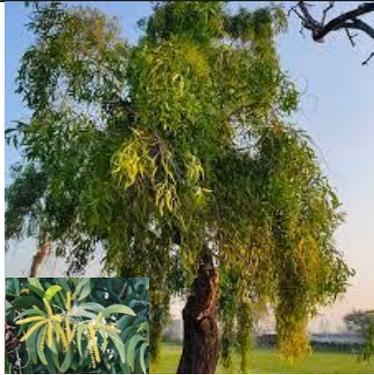
N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
29	G Sgrigna , C Baldacchini , S Dreveck , Z Cheng , C Calfapietra	2020	Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment	Artículo Científico	Sciencedirect	Obtener un análisis cuantitativo de las diferentes fracciones de tamaño de PM.	se observa al microscopio la morfología foliar con la cantidad de PM absorbido Se utilizaron dos técnicas para el análisis de hojas: vacío / filtración y microscopía electrónica de barrido junto con espectroscopía de rayos X de dispersión de energía.	Cumple con los estándares de calidad científica.	parque urbano dentro de la ciudad industrial de Terni, situada en la región de Umbría, en el centro de Italia
30	Xiaoping Chen, Zhixiang Zhou*, Mingjun Teng, Pengcheng Wang and Lin Zhou	2015	ACCUMULATION OF THREE DIFFERENT SIZES OF PARTICULATE MATTER ON PLANT LEAF SURFACES: EFFECT ON LEAF	Artículo Científico	Research Gate	Evaluar el efecto de la acumulación de partículas de diferentes tamaños en la superficie de las hojas sobre los rasgos de	Este estudio investigo la acumulación de tres tamaños diferentes de PM en la superficie de las hojas mediante el método	Cumple con lo que se desea demostrar en la investigación.	Wuhan, China

N°	Autor	Año	Título	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
			TRAITS			las hojas.	gravimétrico y determinó los rasgos de las hojas de 24 especies de plantas.		
31	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan	2015	Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM2.5 pollution.	Artículo científico	Sciencedirect	Averiguar qué especies de árboles ocurren comúnmente en las ciudades globales, y clasificar la idoneidad de esas especies de árboles para controlar PM2.5.	Se desarrolló un enfoque de clasificación para evaluar el PM2.5 eficiencia de remoción, impactos negativos en la calidad del aire y la idoneidad para los entornos urbanos de las especies arbóreas urbanas más comunes.	Tiene los estándares requeridos de artículo científico y explica los impactos negativos en especies arbóreas de entornos urbanos	China
32	Nicole Guerrero-Leiva, Sergio A. Castro, María A, Rubio y	2016	Retention of atmospheric particulate by three woody ornamental species in Santiago,	Artículo Científico	Springer	Determinar los rasgos foliares para una captura efectiva de PM2.5 y explorar	Investigación de tipo experimental donde el área de estudio fue 37	Se acepta el estudio por que los resultados muestran la contribución de	Chile

N°	Autor	Año	Titulo	Tipo de documento	Base de dato	Objetivo de la investigación	Método utilizado	Porque se acepta la publicación	Lugar de desarrollo del estudio
	Claudia Ortiz Calderon		Chile			especie a especie diferencias en la capacidad foliar de recaptura de PM2.5 después de un evento de lluvia	distritos de Santiago -Chile se muestrearon y analizaron múltiples especies de plantas donde se obtiene una masa promedio de retención de PM ,	tres especies ornamentales en la reducción de partículas atmosféricas en la ciudad de Santiago, Chile.	

Anexo N°5: Tabla 12

Características de las plantas fitorremediadoras recopiladas por los 32 autores

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
1	<i>Acacia auriculiformis</i>	Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Árboles, perennifolios, de hasta 20 m de altura. Corteza gris-blanca, lisa. Hojas simples, falcado-lanceoladas, afinándose en cada extremo, de 15 cm de largo Flores de color amarillo anaranjado. Cáliz de 0,5-1 mm, poco dentado. Pétalos oblongos, 1,5-2 mm. Filamentos 2,5-4 mm. Ovario densamente puberulento.	
2	<i>Acer campestre</i> (L.)	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol caducifolio de 7-10 m de altura, con la corteza gris-castaño, corchosa, tornándose escamosa y fisurada con los años. Las hojas son caducas, simples, carecen de pelosidad por ambas caras, son palmeadas generalmente en 5 lóbulos profundos, y miden 3-8 cm de largo.	
		Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
3	<i>Acer negundo L.</i>	Hatami-manesh et al. (2021)	Irán	Árbol caducifolio y crecimiento rápido que alcanza los 20 metros, con una copa ancha e irregular y tronco de corteza lisa gris verdoso, de hojas compuestas, imprimadas, con folios ovados a elíptico lanceoladas, además tiene peciolo de 6-10cm de longitud, en el otoño las hojas adquieren tonalidades amarillentas.	
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China		
4	<i>Acer platanoides (L.)</i>	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol caducifolio polígamo-dioico, de porte alto, alcanzando 20-25 m de altura, de copa redondeada u ovalada y tronco con la corteza de color pardo oscuro, algo fisurada. Las hojas son caducas, simples, opuestas sobre las ramillas y lobuladas, pero con el borde de ángulos agudos, Además, son más finas, lisas y brillantes por las dos caras y segregan látex al ser cortadas.	
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China		
5	<i>Aesculus chinensis Bunge</i>	Mo et al. (2015) y Lixin et al (2017)	Beijín, China	Árbol de hasta veinticinco metros de altura, con copa alta y ovalada o redondeada de hasta diez metros de anchura. Los folíolos, en número de cinco a nueve, son de lanceolados a oblongos, de hasta treinta centímetros de longitud y diez de anchura, con margen finamente serrado o crenulado, ápice muy agudo y base de cuneada a cordada.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
6	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	<p>Yang, J et al. (2005)</p> <p>Xu, et al (2018)</p> <p>Hatami-manesh et al. (2021)</p> <p>Mo et al. (2015)</p> <p>Lixin et al (2017)</p> <p>Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)</p>	<p>Pekín</p> <p>Campus de la Universidad Forestal de Beijing</p> <p>Ciudad de Isfahán, Irán.</p> <p>Beijing, China</p> <p>China</p>	<p>Árbol caducifolio de invierno que puede llegar a los 20 metros de altura, sus hojas son envainadas, grandes y alternas compuestas con 12 pares de folíolos anchos, lobulados y triangulares con la base truncada. Las flores son pequeñas y verdosas, agrupadas en panículas de unos 20 cm. Se ha empleado como ornamental se utiliza en la medicina popular oriental y tiene propiedades bactericida e insecticida.</p>	

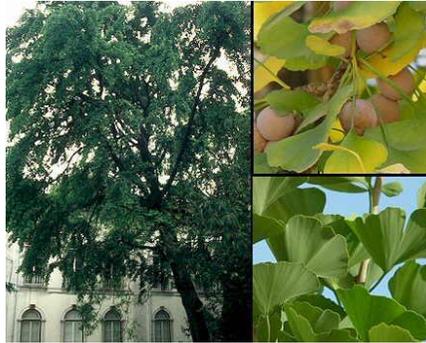
N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
7	<i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.)	Sun et al. (2018)	Distrito de Cheng yang, China	Arbusto caducifolio de hojas ampliamente elípticas a obovadas con una altura de 2 a 3 metros. Tiene ramas extendidas, muy ramificadas; las ramitas del pueden ser de color gris a negro grisáceo, marrón grisáceo, glabras o ligeramente pubescentes cuando jóvenes, glabras y flores blancas o de color rosa.	
		Xu, et al (2018)			
		Mo et al. (2015)	Beijing, China		
		Lixin et al (2017)			
8	<i>Betula pendula</i> Roth	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	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, de hojas romboidales y ovadas de 4-6 cm de longitud. Son árboles muy frugales, adecuados para la restauración de suelos pobres de montaña.	
		Popek, et al (2018)	Varsovia		
		Lukowski, Popek y Karolewski (2020)	Polonia		
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
9	<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) Vent.	Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Árbol caducifolio de porte medio, de 10-15m. de altura, de forma irregular, copa densa, hojas alternas, simples, dimórficas. Pose hojas alternas con 3 -5 lóbulos en los árboles jóvenes, anchamente ovadas u oblongas con la base redondeada.	
		Mo et al. (2015)	Beijing, China		
		Lixin et al (2017)			
10	<i>Buxus megistophylla</i> Levl.	Mo et al. (2015)	Beijing, China	Arbusto común de hoja perenne que alcanza de 0,6 a 2 m de altura, presenta hoja ovada, elíptica u oblongo-lanceolada. Puede crecer a temperatura de 23 - 25°C, y es tolerante a la poda por lo que es perfecta para construir setos en jardines.	
11	<i>Catalpa speciosa</i> Ward	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol de hoja caduca de tamaño mediano con una copa irregular, abierta, redondeada a ovalada estrecha. Tiene hojas anchas ovadas a ovaladas-oblongas (hasta 30 cm de largo) puntiagudas en las puntas y redondeadas a cordadas en la base.	
		Mo et al. (2015)	Beijín, China		
		Lixin, et al (2017)			

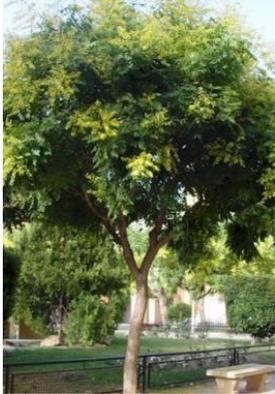
N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
12	<i>Cephalotaxus sinensis</i> (Rehd.et Wils.) Li	Mo et al. (2015)	Beijín, China	Arbusto de coníferas o árbol pequeño de la familia del tejo de ciruela. Es originaria del centro y sur de China. Poseen hojas aciculares, aplanadas, persistentes, flexibles y suaves, no punzantes. La cara superior de color verde y la cara inferior con dos bandas blancas.	
13	<i>Chimonanthus praecox</i> (L.) Link	Mo et al. (2015)	Beijín, China	Arbusto caducifolios o en ocasiones con hojas persistentes, con lámina de la hoja ovada, elíptica, ampliamente elíptica, ovada-elíptica, oblonga-elíptica o, a veces, oblonga-lanceolada, 5-29 × 2-12 cm, parecida al papel.	
14	<i>Chukrasia tabularis</i>	Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Árbol caducifolio grande capaz de alcanzar los 30-40 m altura, presenta hojas verdes paripinnadas y de unos 30 - 50 cm de largo, cada hoja consta de 4 - 6 pares de folíolos con márgenes dentados, generalmente de superficie lisa. Las flores contienen un tinte rojo y amarillo, la corteza y las hojas contienen gomas y taninos comerciales y la corteza astringente tiene usos medicinales.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
15	<i>Crataegus pinnatifida</i> Bge.	Mo et al. (2015)	Beijín, China	Especie arbórea caducifolia de 6 m de altura, la lámina de las hojas de color verde oscuro, adaxialmente, anchamente ovada o triangular-ovada, rara vez romboidal-avada, nervios laterales 6-10 pares, sus flores poseen pétalos blancos, ovados con 20 estambres.	
		Lixin et al (2017)			
16	<i>Eriobotrya japonica</i>	Chen et al (2015)	Wuhan, china	Arbolito siempreverde de 4-6(-10) m de altura, con una copa densa, presenta hojas simples, alternas, oblongo-elípticas o elíptico-lanceoladas, de 15-30(-40) x 4-8(-13) cm, con la base cuneada, el margen dentado en la mitad superior y el ápice agudo o acuminado; son de textura coriácea, glabras y de color verde oscuro por el haz, y con un denso tomento grisáceo o amarillento por el envés. Flores blancas de 1,7-2 cm de diámetro.	
		Zhang, Zhang et al. (2019)	China		
17	<i>Euonymus japonicus</i>	Sun et al. (2018)	Distrito de Cheng yang, China	Arbusto de hoja perennes nativa de Japón, Corea y China, sus hojas son de color verde o amarillo ovaladas, miden de 3 a 7cm de largo, y tienen el margen finamente aserrado. Las flores miden unos 5mm de diámetro, y son de color verdoso-blanco. El fruto es de color verde, y en su interior encontramos semillas rosadas con forma ovado (5 a 10 cm	
		Zhang, et al (2020)	Beijing, China		
		Chen et al. (2021)			

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
		Xu, et al (2018)		de longitud), con altura de 2,1 m.	
		Lixin, et al (2017)			
18	<i>Ficus benjamina</i>	Bertold et al. (2019)	Vietnam	Árbol siempreverde de copa ancha y frondosa, normalmente con raíces aéreas, pudiendo alcanzar hasta 20 m de altura. Presenta un tipo de habito perennifolio, con hojas palmeadas lobuladas con lámina ovada elíptica u oblonga con base redondeada de color verde brillante, presentan follaje perenniforme.	  
		Huatuco (2018)	Perú		
		Vásquez, M., Arroyace, M. (2019)	Polonia		
19	<i>Forsythia × intermedia</i>	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Arbustos caducifolios de porte ancho y ramificados desde la base que alcanzan 2-3 metros de altura, sus hojas son ovales o lanceoladas, de color verde oscuro y con el margen dentado. Sus flores color del sol desde el comienzo de la primavera, siendo originaria del este de Asia.	
		Popek, et al (2018)	Varsovia, Polonia		
		Dzierżanowski et al (2011)			

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
20	<i>Fraxinus excelsior L</i>	Saebo, et al (2012) Dzierżanowski et al (2011) Hatami-manesh et al. (2021)	Polonia Varsovia, Polonia Ciudad de Isfahán, Irán.	Se trata de un gran árbol de hasta 20 m de altura, sus hojas son caducas, opuestas y compuestas, formadas por 7 a 13 hojuelas (folíolos) de forma lobulada, presentan un haz de color verde fuerte y envés más pálido con pubescencia en el nervio central, florece en marzo y abril.	
21	<i>Fraxinus pennsylvanica Marsh.</i>	Mo et al. (2015) Xu, et al (2018)	Beijing, China	Árbol caducifolio de ribera de arroyos, es resistente a los extremos climáticos, con hojas opuestas, ovado-lanceoladas, acuminadas a una punta aguda, se caracteriza por tener hojas compuestas con 7 - 9 folios, es considerada una buena especie arborea para proyectos de restauración.	
22	<i>Ginkgo biloba L</i>	Zhang, et al (2020) Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005) Lu et al. (2018) Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Chen et al (2015)	China	Árbol más antiguo y sus hojas son ampliamente utilizadas para una amplia variedad de enfermedades, por lo que es una eficiente medicina. Las hojas alternas, bilobuladas, en forma de abanico y con muescas desiguales en el borde, son de un hermoso color verde claro. Tiene corteza, de un marrón grisáceo, está marcada por profundos surcos rugosos. Sus ramas horizontales y con ramos extendidos forman una larga copa cónica.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
23	<i>Hedera hélix L.</i>	Saebo, et al (2012) Popek, et al (2018) Weerakkody et al. (2017) Dzierżanowski et al (2011)	Polonia y Noruega Varsovia, Polonia Birmingham, Reino Unido Varsovia, Polonia	Trepadora con follaje perennifolio conocida como hiedra común que llevan hojas alternas, pecioladas. Las hojas cercanas a las ramas fértiles son romboidales, mientras que las del resto de la planta presentan unos lóbulos característicos con forma palmada. Florece al final del verano y otoño.	
24	<i>Juniperus chinensis</i>	Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005)	China	Arbusto conífero de hojas perennes, algunas tienen forma de aguja de 5 a 10 mm de largo y las adultas presentan forma de escamas (1,5 a 3mm de longitud) y con una altura de 4,1m.	
25	<i>Juniperus Formosa</i>	Chen et al. (2021)	China	Árbol de hojas perennes con forma lineal-lanceolado (1,2-2 cm de longitud), que alcanza una altura de hasta 15m, posee corteza marrón y una corona generalmente piramidal o cilíndrica.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico	
26	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm	Mo et al. (2015)	China	Árbol caduco de hojas alternas, de unos 10 - 15 m y hasta 20 m de altura de hojas compuestas imparipinnadas de color verde oscuro, 7-15 foliolos oblongo-ovales y de bordes cerrados.		
		Lixin et al (2017)				
		Chen et al (2015)				
27	<i>Ligustrum lucidum</i> Ait.	Chen et al (2015)	Wuhan, china	Árbol perennifolio de crecimiento rápido, que puede alcanzar de 12 a 15 metros de altura. Su follaje es persistente, de color verde con una banda amarillenta en los bordes. Hojas simples, lúcidas, opuestas, ovadas o elípticas de hasta 15 centímetros de largo.		
		Guerrero Leyva et al (2016)	Chile			

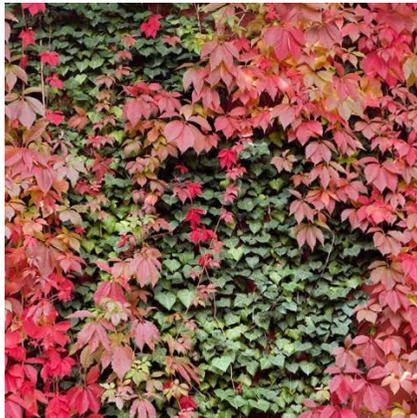
N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
28	<i>Ligustrum vicaryi</i>	Sun et al. (2018)	China	Arbusto Caducifolio de múltiples tallos que crece rápido alcanzando los 6 a 12 m de altura, presenta hojas de color amarillo dorado y de flores aromáticas, de forma tubular y de color blanco opaco a fines de la primavera. Sus flores son atractivas para las aves y mariposas, por poseer frutos pequeños, oscuros, algo persistentes y parecido a las bayas.	
29	<i>Lonicera maackii</i>	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Arbusto caducifolio erguido de hasta 15-20 pies de alto; la médula de los tallos maduros es hueca y blanca o tostada (en contraste con la médula blanca sólida de las especies nativas de madre selva arbustiva) de hojas opuestas ovadas con punta cónica	
30	<i>Magnolia denudata</i>	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Árbol caducifolio muy ramoso que apenas alcanza 15 m de talla. Ramillos tomentosos. Hojas de ovals a obovadas, de 7.5-15 cm de longitud y 5-9 cm de anchura, con la base cuneada y el ápice puntiagudo. Limbo de haz verde y envés más pálido y pubescente. Flores de color blanco marfil, olorosas, de 15 cm de diámetro, con 9 tépalos cóncavos, gruesos.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
31	<i>Magnolia grandiflora</i>	Sgrigna et al (2020)	Italia	Árboles perennifolios, de 3-15 m de altura; corteza externa pardo-verdusca, ligeramente fisurada; ramas negro-tomentosas en los ápices, lenticelas de 0.5-1.5 mm de longitud en la superficie restante, cicatrices circulares en cada nudo. Hojas ovadas u oblanceoladas de color verde claro brillante, de 7-21 cm de largo por 3-9 cm de ancho, coriáceas, glabras en el haz, densamente tomentosas ferrugíneas en el envés, el margen entero, el ápice agudo o acuminado	
		Chen et al (2015)	Wuhan, China		
32	<i>Malus micromalus Makino</i>	Mo et al. (2015)	Beijín, China	Arbusto de 2.5 a 5 m de altura, posee ramillas de color marrón violáceo o marrón oscuro, con hoja estrechamente elíptica o elíptica, de 5–10 × 2,5–5 cm, pubérula cuando es joven, glabrescente, base cuneada, rara vez subredondeada, margen aserrado, ápice agudo o acuminado.	
		Lixin et al (2017)			

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
33	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Lixin et al (2017) Mo et al. (2015)	Beijín, China	Árbol de tipo conífera que puede llegar a alcanzar hasta 50 m de altura con hojas más largas y más cortas alternando irregularmente, formando un contorno ovado-elíptico, es ideal para jardines grandes donde pueda desarrollarse con total libertad, consiguiendo así que el espectador pueda contemplarla en todo su esplendor.	
34	<i>Morus alba L.</i>	Hatami-manesh et al. (2021) Mo et al. (2015) Chen et al (2015) Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	Ciudad de Isfahán, Irán. China	Árbol caducifolio de tamaño medio con copa ovada y redondeada, sus hojas son grandes, casi glabras y lustrosas por el haz, alternas, pecioladas, variables en la forma, redondeadas o cordadas, dentadas o lobuladas. Las flores son pequeñas y se agrupan en espigas muy densas, alargadas u ovoides.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
35	<i>Muntingia calabura</i>	Bertold et al. (2019) Chiam, et al (2019)	Hanoi, Vietnam Singapur	Árbol caducifolio, de 3 a 12 m de altura, con hojas alternas y dísticas, ovadas y lanceoladas de 4-12 x 1,5- 4, con base asimétrica, oblicuamente subcordada o truncada, el margen de forma irregular verde claro en el haz y verde grisáceo en el envés.	
36	<i>Nerium indicum</i> Mill	Chen et al (2015)	Wuhan , china	Planta que posee eficacia terapéutica en diferentes enfermedades a nivel mundial es sinónimo de la especie Neriu Oleandr por ello también es considerad un arbusto de hoja perenne de hojas estrechas, lineales, lanceoladas que se estrechan en un tallo corto, además producen flores de distintos colores durante la estación cálida.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
37	<i>Nerium oleander</i>	Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam	Arbusto leñoso de 1 -4 m, tiene hojas con pecíolos 6-16 mm; láminas 9.5-26 × 0.9-2.6 cm, angostamente elípticas a linear elípticas, subcartáceas, agudas o cortamente acuminadas en el ápice, cuneadas basalmente, glabrescentes, algunas veces puberulentas en el envés. Presentan flores con los sépalos 5-7 mm, ovados, acuminados apicalmente; corola blanca, color crema, rosada o roja	
		Guerrero Leyva et al (2016)	Chile		
38	<i>Osmanthus fragrans Lour</i>	Ting et al. (2019)	Beijín, China	Árbol de la familia Oleaceae y de hoja perenne de hasta 10 m. de altura, con hojas opuestas, simples, coriáceas, de elípticas a oblongo-lanceoladas, de 5-10 cm. de longitud, escasamente pecioladas. Flores blanco-amarillentas, muy aromáticas, agrupadas en pequeños racimos axilares.	 
		Chen et al (2015)			

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
39	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Zhang, et al (2020) Saebo, et al (2012)	Beijín, China Polonia y Noruega	Trepadora caducifolia ornamental utilizada para cubrir paredes, fachadas y suelos, que logra alcanzar hasta 15 m de altura, con una extensión compacta con hojas ovaladas simples verdes que se tornan rojizas en otoño.	
40	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	Chen et al (2015) Saebo, et al (2012)	Wuhan , China Polonia y Noruega	Trepadora perennifolia de 8-10m de longitud, tiene hojas bastante variables, desde algunas variedades redondeadas o acorazonadas, a dentadas o divididas, hasta tribuladas	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
41	<i>Philadelphus pekinensis</i> Rupr.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Arbusto de hoja caduca denso, compacto, de tallos múltiples, sus hojas son ovadas a lanceoladas, con márgenes serrados son glabras por debajo. La corteza de color marrón oscuro se exfolia con la edad.	
42	<i>Physocarpus opulifolius</i>	Popek, et al (2018) Dzierżanowski et al (2011) Saebo, et al (2012)	Varsovia, Polonia Polonia y Noruega	Arbusto caducifolio de la familia de las Rosáceas, de hoja caduca y múltiples ramas que crecen desde el suelo pudiendo alcanzar en la madurez hasta los dos metros de altura formando una silueta bonita estructura en forma de copa abierta. Las hojas varían de 3-12 cm (1 a 5 pulgadas) de longitud y presentan lóbulos de vena palmeada.	
43	<i>Pinus armandi</i>	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)	Beijín, China	Árbol caducifolio que alcanza los 25–40 m de altitud, y un diámetro en el tronco de 1,5 m, sus hojas están en fascículos de cinco, con una vaina caducas, considerado un miembro del grupo de los pinos blancos	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
44	<i>Pinus bungeana</i>	Chen et al (2021) Lu et al. (2018)	China	<p>Árbol conífero de hoja perenne de crecimiento lento con crecimiento piramidal cuando es joven, a menudo de múltiples tallos, aplanados y redondeados con el tiempo. Increíblemente hermoso, su suave corteza de color gris verdoso se desprende y revela un rico mosaico de blanco cremoso, rojo, morado, marrón y verde. A medida que madura, eventualmente se vuelve blanco plateado</p>	
45	<i>Pinus sylvestris</i>	Saebo, et al (2012) Przybysz et al. (2014)	Polonia y Noruega Stavanger, Noruega	<p>Árbol perennifolio que puede alcanzar 40 m de talla, con la corteza gruesa que se desprende en placas amarillo-verdosas o rojizas, papiráceas. Árbol que puede alcanzar 40 m de talla, con la corteza gruesa que se desprende en placas amarillo-verdosas o rojizas, papiráceas. Las hojas se disponen en parejas, son aciculares, cortas, de 3 a 7 cm, flexibles y generalmente retorcidas</p>	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
46	<i>Pinus tabulaeformis</i>	Zhang, Zhang et al.(2019)	China	Árbol de hasta 30 m de altura de tipo conífera de 4,8m de altura, posee hojas perennes en fascículos de 2(-3), persistentes 2-3 años, extendidas, envueltas en una vaina basal persistente de 10-15 mm de largo; 6-15 cm de largo, rectas o curvas, rígidas, 1-1,5 mm de espesor, a menudo ligeramente torcidas, de color verde oscuro; ápice agudo o acuminado; estomas en líneas finas en todas las superficies.	
		Zhang, et al (2020)			
		Chen et al. (2021)			
		Yang, J et al. (2005)			
		Lu et al. (2018)			
		Xu, et al (2018)			
Lixin et al (2017)					
47	<i>Pittosporum tobira</i>	Lorenzini, G, et al (2006)	China	Arbusto de 2- 6 m de altura, con copa densa y redondeada, posee hojas Perennes alternas, simples, agrupadas hacia el extremo de las ramas, obovadas u obovado-lanceoladas, de 5-10 x 2,5-4 cm.	 
		Chen et al (2015)	Chile		
		Guerrero Leyva et al (2016)			

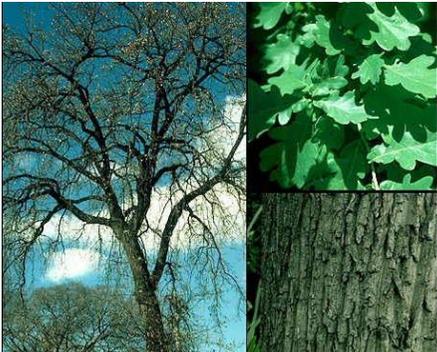
N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
48	<i>Platanus × hispanica</i>	Popek, et al (2018)	Varsovia, Polonia	Árbol caducifolio, las hojas son simples, alternas y palmeadas en 5 lóbulos de picos agudos e irregulares. Son grandes, pues miden 12-22 cm de largo por 12-30 cm de ancho. Las flores son muy pequeñas y poco vistosas, tetrámeras, con sépalos escamiformes, ovados, más cortos que los pétalos.	
		Dzierżanowski et al (2011)	China		
		Zhang, Zhang et al.(2019)	China		
49	<i>Platanus acerifolia</i>	Chen et al. (2021)	China	Árbol de follaje caducifolio de copa ovoidal (25 a 35 cm de altura y de 10 a 15m de diámetro), con hojas simples, alternas y palmeadas en 5 lóbulos de picos agudos e irregulares. Posee flores muy pequeñas, agrupadas en estructuras globosas, femeninas y masculinas por separado, pero en el mismo árbol. Frutos globosos con semillas rodeadas de pelos permanecen hasta la siguiente primavera.	
		Sgrigna et al (2020)	Italia		
		Chen et al (2015)	China		
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
50	<i>Platanus Occidentalis</i>	Alcala, J , et al (2008)	México	Especie arbórea de 30 a 40 m de altura, que posee hojas caducas con lóbulos palmeados y pertenece a la familia Platanaceae, puede llegar a alcanzar treinta metros de altura y treinta metros de anchura. En otoño, las hojas adquieren un color amarillo pardusco. Las hojas caídas no se pudren fácilmente y permanecen en el suelo alrededor del árbol. La flor esférica es única y, como la fruta puntiaguda, cuelga de un tallo largo.	
		Xu, et al (2018)			
		Mo et al. (2015)	China		
		Lixin et al (2017)			
51	<i>Platanus Orientalis</i>	Hatami-manesh et al. (2021)	Ciudad de Isfahán, Irán.	Especie arbórea que pertenece a la familia Platanaceae., tiene un ritmo de crecimiento rápido, pudiendo superar los 30 metros de altura, sus hojas son simples con 5 lóbulos y alternas de hasta 25 cm.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
52	<i>Platycladus orientalis</i>	Xu, et al (2018) Lixin et al (2017)	Beijing, China	Árbol caducifolio que puede alcanzar 20 a 30 m de altura de hojas escamiformes, carnosas dispuestas en 4 filas Hojas escuamiformes tapizando ramillas aplastadas, dispuestas en un solo plano y de forma vertical. Las piñas con 6-8 escamas provistas en el dorso de una protuberancia recurvada en forma de cuerno.	
53	<i>Populus canadensis</i> <i>Moench</i>	Yang, J et al. (2005) Mo et al. (2015)	China	Árbol caducifolio que puede alcanzar los 40 m de altura. Las hojas son deltoides, no romboidales, acuminadas, de base truncada o con cierta forma de corazón. El margen de las hojas es dentado y translúcido, con los pelos cortos en el contorno o en la cara inferior.	

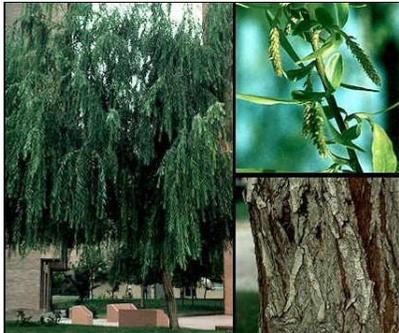
N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
54	<i>Populus tomentosa</i> Carr.	Yang, J et al. (2005) Xu, et al (2018)	China	Árbol caducifolio de la familia Salicaceae, de tipo conífera de hoja pequeñas palmeadas lobuladas y puede alcanzar los 30 m de altura.	
55	<i>Populus tremula</i> (L.)	Saebo, et al (2012) Sgrigna et al (2020)	Polonia y Noruega Italia	Árbol caducifolio que puede alcanzar los 30m de altura, con el tronco de corteza lisa y blanquecina. La copa es redondeada y ancha, de hasta 20 m de altura. Las hojas son orbiculares e irregularmente sinuato-dentadas, verdes en el haz y glaucescentes en el envés. En otoño cambian del verde claro al morado pasando por toda la gama de amarillos, ocres y rojos, lo que le confiere una gran vistosidad.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
56	<i>Prunus Cerasifera Ehrhar f. atropurpurea (Jacq.) Rehd</i>	<p>Xu, et al (2018)</p> <p>Mo et al. (2015)</p> <p>Lixin et al (2017)</p> <p>Sgrigna et al (2020)</p>	<p>China</p> <p>Italia</p>	<p>Arbusto caducifolio de hasta 6-7 m de altura con el follaje abierto y ascendente, tiene hojas alternas, simples, ovadas o elípticas, de 2-7 cm de longitud. Flores generalmente solitarias, de 2-2.5 cm de diámetro, de color blanco o rosa. Aparecen antes que las hojas en el mes de marzo-abril.</p>	
57	<i>Pyracantha fortuneana (Maxim.) Li</i>	<p>Chen et al (2015)</p> <p>Sun et al. (2018)</p> <p>Chen et al (2015)</p>	China	<p>Arbustos de hoja perenne, generalmente espinosos, de la familia de las rosas (Rosaceae), nativo del sureste de Europa y Asia, además sus frutos pueden usarse como suplemento tradicional.</p>	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
58	<i>Quercus robur</i> (L.)	Saebo, et al (2012) Lukowski, Popek y Karolewski (2020)	China Polonia	Árbol caducifolio que puede alcanzar de 5 a 50 m de altura, con la copa muy frondosa y el tronco bastante corto, grueso, algo inclinado y sinuoso, y con las ramas cortas y considerablemente gruesas, dicotómicas.	
59	<i>Quercus variabilis</i>	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	China	Árbol caducifolio perteneciente a la familia de las fagáceas, que puede alcanzar de 25 a 30 m con una copa abierta y tiene hojas anchas lanceoladas, de 8-12 cm de longitud.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
60	<i>Rhododendron simsii</i> Planch.	Chen et al (2015)	Wuhan , China	<p>Arbusto caducifolio o semiperennifolio, de 2-5 m de altura, sus hojas son más cortas y papiráceas en primavera, mientras que son largas, coriáceas, ovado-elípticas o largas ovado-lanceoladas en verano, presenta floración de abril a junio de color rosado a rosado púrpura y su fructificación se da de julio a setiembre.</p>	
61	<i>Rosa chinensis</i>	Zhang, et al (2020)	Beijin,China	<p>Es un arbusto que crece hasta 1-2 metros de altura con hojas pinnada, elípticas a ovados u oblongo-ovados con haz lustroso y envés verde claro y graso, sus flores son blancas, amarillas, rosas, rojas o salmón y presenta frutos globosos.</p>	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
62	<i>Rhus typhina</i> Nutt.	Mo et al. (2015) Xu, et al (2018)	Beijin,China	Árbol puede llegar a alcanzar seis metros de altura, a veces con varios troncos, posee hojas caducas pinnadas con 11 -31 foliolos, de forma oblongo- lanceolada, acuminados de 6-10 cm de longitud, de flores verdosas, polígamas, dispuestas en inflorescencias terminales, pubescentes.	
63	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Saebo, et al (2012) Chen et al. (2021) Yang, J et al. (2005) Hatami-manesh et al. (2021) Sgrigna et al (2020)	Polonia y Noruega China Ciudad de Isfahán, Irán. Italia	Es un árbol de rápido crecimiento, de corte gris y agrietada que puede alcanzar las 25m, además sus hojas son caducas, alternas y compuestas con forma ovalada, redondeada., a menudo con el ápice escotado y con el haz de un verde algo azulado. Las flores son blancas, se agrupan en racimos densos que cuelgan de forma bien visible. Los frutos florecen a final de primavera, son legumbres que tienen hasta 10 cm de color marrón y con las semillas bien marcadas. Especie rústica, indiferente al tipo de suelos,	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
64	<i>Sabina chinensis</i>	Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China	gusta de exposición soleada de crecimiento rápido invasora en brotes de raíz.	
		Zhang, et al (2020)	Beijin,China	Árbol de tipo conífera con hojas perennes, algunas tienen forma de aguja de 5 a 10 mm de largo y las adultas presentan forma de escamas (1,5 a 3mm de longitud) y con una altura de 4,1m.	
		Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam		
65	<i>Salix babylonica</i>	Lu et al. (2018)	Beijin,China	Arbolito caducifolio de 8-12 m de altura con ramas delgadas, flexibles, largas y colgantes casi hasta el suelo, presenta hojas linear-lanceoladas, de 8-16 cm de longitud, acuminadas, de borde finamente aserrado, lampiñas y algo glaucas en el envés, sus flores son de color amarillo pálido.	
		Bertold et al. (2019)	Hanoi, Vietnam		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
66	<i>Salix matsudana</i> <i>Koidz.</i>	Xu, et al (2018) Mo et al. (2015)	Beijing, China	Árbol caducifolio de 4-8 m de altura con el ramaje en zigzag y en espiral característico, de hojas lanceoladas, estrechas de 5 a 10 cm de longitud con el borde aserrado, largamente acuminadas, con la base obtusa o redondeada, que generalmente florece en abril y mayo	
67	<i>Sophora japonica</i> Linn	Zhang, Zhang et al.(2019) Zhang, et al (2020) Yang, J et al. (2005) Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017) Chen et al (2015)	Beijín, China	Es un árbol leguminoso, caducifolio de 8-10 m, aunque puede alcanzar 15-25 metros, sus hojas son compuestas imparipinadas de 15-25 (-30) cm de longitud, cada una con 7-17 folíolos alternos o subopuestos, de elípticos a ovado-lanceolados u ovado-oblongos, de 2,5-6 x 1,5-3 cm, cortamente peciolados, con la base anchamente cuneada o redondeada, además posee numerosas flores de color blanco-crema, ligeramente olorosa, dispuestas sobre pedicelos puberulentos de 3-5 mm de largo.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
68	<i>Sorbus intermedia</i>	Popek, et al (2018) Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega Varsovia, Polonia	Árbol Caducifolio de abundante follaje que puede alcanzar una altura de 20m de altura, con las ramas jóvenes pelosas y corteza lisa y gris. Las hojas son caducas, simples, alternas (este carácter se observa mejor en la parte intermedia de las ramas, pues en los extremos a veces aparecen muy juntas), de margen serrado, con 3 a 5 pares de lóbulos profundos característicos.	
69	<i>Spiraea japonica L.</i>	Popek, et al (2018) Dzierżanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia	Arbustos semiperennes que apenas superan el 1,5 metro de altura. Las hojas son de color verde vivo, con el borde dentado y forma lanceolada terminada en punta. Las abundantes flores aparecen en corimbos terminales y suelen ser de color rosa	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
70	<i>Syringa oblata</i> Lindl.	Chen et al. (2021)	China	Especie de arbusto caducifolio pequeño que puede alcanzar los 5 metros, de la familia Oleaceae. Presenta hojas ovada, ovada-orbicular, a reniforme, ligeramente más ancha que larga o ligeramente más estrecha que larga, 2,5-10(-14) × 2,5-8(-15) cm, glabra o pubescente, vellosa a glabrescente, base subcordada o truncada a anchamente cuneadas, ápice abruptamente agudo a largo acuminado.	
		Mo et al. (2015)			
71	<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i> (Maxim.) Hara	Mo et al. (2015)	Beijin, China	Árbol caducifolio con lámina de la hoja ovada, ovada-lanceolada, elíptica-ovada, oblonga-lanceolada o suborbicular, 2.5-13 x 1-6 (-8) cm.	
		Lixin et al (2017)			

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
72	<i>Taxus baccata</i> (L.)	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	Árbol perennifolio de porte piramidal con hojas lineares, cortas (1-3 cm) y estrechas (1,5-2,5mm), de márgenes paralelos, de color verde oscuro por el haz, más claras por el envés.	
73	<i>Taxus cuspidata</i> var. <i>Nana</i>	Lixin et al (2017)	Beijing, China	Árbol de tipo perennifolio de amplia distribución con un crecimiento lento de entre 10m y 18m de alto con un tronco de alrededor de 60cm de diámetro, tienen hojas lanceoladas, planas de color verde oscuro, asimismo es resistente a temperaturas bajas.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
74	<i>Tilia cordata</i>	Saebo, et al (2012)	Polonia y Noruega	<p>Árbol caducifolio que puede alcanzar los 25-30 m de altura, de tallo recto con corteza lisa que alcanza alrededor de 18 m de altura. Sus hojas tienen forma acorazonada de 3.5-7.5 cm de longitud, con peciolo delgado, a demás son verde oscuras por el haz y verde azuladas por el envés. Las flores tienen un color amarillento, agrupadas en racimos.</p>	
		Dzierzanowski et al (2011)	Varsovia, Polonia		
		Lukowski, Popek y Karolewski (2020)	Polonia		
		Sgrigna et al (2020)	Italia		
		Jun Yang, Yamin Chang, Pengbo Yan (2015)	China		

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
75	<i>Tilia tuan</i> Szysz.	Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijing, China	Árbol de hasta 23 m de altura con hoja de forma ovada entre ancha y estrecha, muy oblicua en la base y, a menudo, con un abultamiento en el lóbulo en el lado grande.	
76	<i>Trachycarpus fortunei</i>	Bertold et al. (2019) Chen et al (2015)	Hanoi, Vietnam Wuhan, china	Palmera resistente al frío y nieve, sus hojas son palmadas de limbo redondeado de unos 60-90 cm de ancho y de 40-60 cm de largo, con pecíolos que pueden medir de medio hasta un metro, con los márgenes finamente serrados, mientras que las flores son de color amarillo, aromáticas y los frutos tienen forma de riñón y coloración azulona- negra cuando están maduros.	

N°	Planta utilizada	Autores	Lugar del estudio	Características de la planta	Panel fotográfico
77	<i>Ulmus pumila</i>	Zhang, et al (2020) Xu, et al (2018) Mo et al. (2015) Lixin et al (2017)	Beijin, China	Árbol caducifolio, que puede llegar a los 25 m de altura. La corteza es de color gris oscuro y fisurada longitudinalmente, y las ramitas son delgadas, gris-amarillento y glabra y sus hojas tienen peciolo pubescente de 4-10 mm.	