



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y GESTIÓN

**Evaluación del potencial arbóreo para la retención de polvo
atmosférico en la zona urbana de la ciudad de Cuenca**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Autores:

ERICKA ESTEFANIA CONDOY QUITO

FREDDY SANTIAGO MINGA LUCERO

Director:

M.Sc DANILO ALEJANDRO MINGA OCHOA

CUENCA-ECUADOR

2021

DEDICATORIA

A mis padres Wilson y Rosario por su amor, motivación, sacrificio, por ser ejemplo de perseverancia y constancia que me ha permitido ser una persona de bien y por su apoyo incondicional durante toda mi etapa universitaria.

A mis hermanas Yela y Arleth, por la motivación, por siempre creer en mí y apoyarme para seguir adelante.

En memoria de mi tía Bedía y abuelita Josefina, sé que, aunque no están presente de cuerpo, siempre están acompañándome.

Ericka

A mi madre Catalina, por su apoyo infinito en cada paso de mi etapa universitaria, un ejemplo de vida desde que tengo uso de razón. Igualmente, a mi padre Fredi, que estuvo siempre cuando lo necesité, un consejero único e imparcial.

A mi hermana Diana, que siempre me recuerda que los caminos son diferentes para cada uno de nosotros, pero con la misma dificultad y el valor de seguir adelante.

A mi segunda madre, Elena, por su apoyo, acompañamiento, educación y por todo su amor que me a brindado en cada uno de mis días.

Santiago

AGRADECIMIENTOS

Al Blgo. Danilo Minga por su confianza y darnos la oportunidad de realizar este trabajo de grado bajo su tutoría con su apoyo durante toda esta fase.

A nuestro tribunal: Dra. Raffaella Ansaloni y M.Sc. Omar Delgado por su ayuda brindada en cada una de sus recomendaciones y su disponibilidad de tiempo para la realización de esta tesis.

A cada uno de los encargados del equipo del Laboratorio de Análisis Químico por el espacio y asesoramiento brindado haciendo posible la elaboración de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
METODOLOGÍA.....	5
1.1 Área de estudio.....	5
1.2 Diseño de la investigación.....	7
1.2.1 Fase de campo	7
1.2.1.1 Método de Colectores pasivos.....	7
1.2.1.2 Método de Biomonitorio pasivo	9
1.2.2 Fase de laboratorio	9
1.2.2.1 Método de Colectores pasivos.....	9
1.2.2.2 Método de Biomonitorio pasivo	11
1.3 Características morfológicas y anatómicas con potencial para la retención de polvo atmosférico.	11
1.3.1 Altura	11
1.3.2 El diámetro de la copa	12
1.3.3 Área foliar.....	13
1.3.4 Rugosidad y Pubescencia	14
1.4 Análisis de datos.....	14
1.4.1 Análisis de concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de colectores pasivos	14

1.4.2	Análisis de retención de polvo atmosférico sedimentable por especie	15
1.4.3	Análisis de relación entre la retención de PAS con las características anatómicas, altura y diámetro de la copa.....	15
CAPÍTULO II	.....	16
RESULTADOS	.....	16
2.1	Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de colectores pasivos	16
2.2	Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de biomonitoreo pasivo	17
2.2.1	Análisis de Normalidad	18
2.2.2	Análisis de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) por especie vegetal	19
2.2.3	Relación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) con las características anatómicas rugosidad y pubescencia.....	20
2.2.4	Relación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) con las medidas de altura y diámetro de copa	21
CAPÍTULO III	.....	23
DISCUSIÓN	.....	23
CONCLUSIÓN	.....	26
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	27
ANEXOS	.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio de la Avenida Fray Vicente Solano de la ciudad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia	6
Figura 2. Ubicación del área de estudio de la Avenida Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia	7
Figura 3. Distribución y ubicación de los colectores pasivos de las avenidas seleccionada.	8
Figura 4. Pesado de papeles filtros con polvo sedimentable	10
Figura 5. Medición de la altura de las especies arbóreas.....	12
Figura 6. Medición del diámetro de la copa de las especies arbóreas.....	13
Figura 7. Resultado escáner de las especies arbóreas. a) Imagen fotografiada; b) Imagen procesada en escala binaria (blanco/negro) por el software de Imagej.	14
Figura 8. Gráfico de barras de la variación de concentración de polvo atmosférico sedimentable en los meses de muestreo representando cada uno de los colectores pasivos.	16
Figura 9. Gráfico de barras de la variación de concentración total de polvo atmosférico sedimentable según cada uno de los meses de muestreo.....	17
Figura 10. Histogramas por especies y de manera general de la acumulación de PAS y su frecuencia. a) Medida de la especie ubicada en la Av. Fray Vicente Solano; d) Medida de la especie ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.	19
Figura 11. Plot de la relación entre los valores de los datos técnicos con el PAS.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la acumulación total de PAS por especie y zona de muestreo. ...	18
Tabla 2. Significancia del test Shapiro-Wilk para la acumulación de PAS por especie y de manera general. Cuando se menciona a la especie <i>Schinus molle</i> 1 nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie <i>Schinus molle</i> 2 está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.....	18
Tabla 3. Comparaciones con Pairwise Wilcoxon función holm. Cuando se menciona a la especie <i>Schinus molle</i> 1 nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie <i>Schinus molle</i> 2 está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.	20
Tabla 4. Valores otorgados para el estudio de características anatómicas. Cuando se menciona a la especie <i>Schinus molle</i> 1 nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie <i>Schinus molle</i> 2 está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.	21
Tabla 5. Resultado estadístico de la regresión lineal entre PAS con características anatómicas.....	21

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las especies arbóreas	35
Anexo 2. Fase de campo y laboratorio de colectores pasivos	41
Anexo 3. Fase de campo y laboratorio de biomonitorio pasivo.....	43
Anexo 4. Ilustración de las especies arbóreas a través del microscopio	45
Anexo 5. Cálculo del área foliar de las especies arbóreas seleccionadas.....	46
Anexo 6. Tabla de valores de la escala de Beaufort	49

Evaluación del potencial arbóreo para la retención de polvo atmosférico en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

RESUMEN

El polvo sedimentable, es un contaminante atmosférico en el entorno urbano, representando graves riesgos para la salud humana y el ambiente, se evaluó el potencial de retención las especies arbóreas y estimamos los niveles de concentración aplicando dos metodologías (Colectores Pasivos y Biomonitorio Pasivo), en cuatro meses en las avenidas Solano y Remigio Crespo. Se establecieron 17 colectores pasivos, se analizó la concentración de polvo sedimentable y se compararon con los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS) de $0,5 \text{ mg/cm}^2/30 \text{ días}$ y de la Legislación Ambiental Ecuatoriana de $1 \text{ mg/cm}^2/30 \text{ días}$. En el Biomonitorio pasivo, se determinó la capacidad de acumulación de polvo en 6 especies arbóreas (*Schinus molle* L., *Tecoma stans* (L.), *Ficus benjamina* L., *Tipuana tipu* (Benth.) y *Grevillea robusta* A.) Siendo *Schinus molle* L. la mayor concentración de PAS en su superficie foliar con valores de $4276,12 \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ y $3365,65 \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ respectivamente, además, evaluamos las características morfo-anatómicas para determinar su capacidad potencial para capturar polvo atmosférico sedimentable (PAS.).

Palabras claves: contaminación, polvo atmosférico sedimentable, colectores pasivos, biomonitorio pasivo.



Danilo Alejandro Minga Ochoa

Director del trabajo de titulación



Antonio Manuel Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela



Ericka Estefania Condoy Quito



Freddy Santiago Minga Lucero

Autores

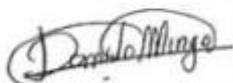
ABSTRACT

Evaluation of the arboreal potential for the retention of atmospheric dust in the urban area of the city of Cuenca

ABSTRACT

Settling dust is an atmospheric pollutant agent in the urban environment, causing serious risks to human health and the environment. Its retention potential in tree species is evaluated and concentration levels are estimated applying two methodologies (Passive Collectors and Passive Biomonitoring), in four months in the Solano and Remigio Crespo Avenues. This study established 17 passive collectors and analyzed the concentration of sedimentable dust. The study also compared the results with the maximum permissible limits authorized by the World Health Organization (WHO) of 0,5 mg/cm²/30 days and the Ecuadorian Environmental Legislation of 1 mg/cm²/30 days. In Passive Biomonitoring, the dust accumulation capacity was determined in 6 tree species (*Schinus molle* L., *Tecoma stans* (L.), *Ficus benjamina* L., *Tipuana tipu* (Benth.) y *Grevillea robusta* A.). The *Schinus molle* L. showed the highest concentration of Sedimentable Atmospheric Dust (SAD) in the leaf surface with values of 4276,12 µg/cm² and 3365,65 µg/cm² respectively. In addition, the morpho-anatomical features were evaluated to determine their potential capacity to capture Sedimentable Atmospheric Dust (SAD).

Keywords: pollution, sedimentable atmospheric dust, passive collectors, passive biomonitoring.



Danilo Alejandro Minga Ochoa

Thesis Director



Antonio Manuel Crespo Ampudia

Faculty Coordinator



Ericka Estefania Condoy Quito



Freddy Santiago Minga Lucero

Authors



Translated by

Freddy Minga

Condoy Quito Ericka Estefania
Minga Lucero Freddy Santiago
Trabajo de Graduación
Danilo Alejandro Minga Ochoa, M.Sc.
Junio, 2021

Evaluación del potencial arbóreo para la retención de polvo atmosférico en la zona urbana de la ciudad de Cuenca

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas a nivel mundial (Ochoa et al., 2015), debido al desarrollo económico, tecnológico, industrial, al crecimiento acelerado de la población, que ha generado el aumento de unidades automotoras, provocando elevados volúmenes de contaminantes (Ochoa et al., 2015; Rojas & Espinosa, 2015), que al relacionarse con las condiciones ambientales puede dañar la salud humana y de los ecosistemas (Romero & Álvarez, 2006).

Los principales contaminantes atmosféricos en las zonas urbanas son: es el polvo atmosférico sedimentable (PAS) o polvo sedimentable (PS), óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), y ozono superficial (O₃) (Puliafito et al., 1995). De todos los contaminantes considerados críticos, el más común en la atmósfera, según estudios epidemiológicos (García & Carreras, 2008; Zuluaga et al., 2009; Oyarzún, 2010) es el polvo sedimentable que afecta negativamente a la calidad del aire, provocando un aumento en la morbilidad y mortalidad del ser humano (Luzuriaga, 2019).

El polvo sedimentable se define como una mezcla de partículas sólidas y líquidas presentes en la atmósfera (Arciniegas, 2012), que se origina a partir de actividades naturales o antropogénicas, poseen diverso tamaño, propiedades, composición física y química (Grantz et al., 2003; Préndez, 1993). Así mismo, este tipo de partículas tienen un diámetro mayor o igual a 10 micras y finas que miden menos de 2,5μ (PM 2,5) (Wark & Warner, 1990). De este grupo, algunos científicos han propuesto que las partículas finas son consideradas las más peligrosas, debido a que tienen una mayor capacidad

de penetración en los sistemas respiratorios (Chipoco & Valencia, 2015; Medina, 2016; Castillo, 2017).

Los efectos adversos del polvo sedimentable sobre la salud dependen del tamaño y de la concentración de partículas, así como también del tiempo de exposición a estos (Pope & Dorckery, 2006). Exposiciones prolongadas por polvo sedimentable causa efectos negativos: provocando infecciones, enfermedades respiratorias crónicas (bronquitis, enfisema pulmonar o asma), dolencias cardiovasculares y muertes prematuras entre otras (Aldunate & Halvorsen, 2006), también se ve afectada la vida animal y vegetal, a su vez, afecta al clima, visibilidad reducida, la infraestructura, daña los recursos materiales, los procesos de producción con consecuencias económicas y sociales (Chipoco & Valencia, 2015). Alcanzando niveles que deben ser estudiados ya que alteran los sistemas de vida en las ciudades (González et al., 1999). Por ello, la calidad del aire constituye un elemento esencial para la vida (Rojas, 2010), porque permite determinar las condiciones de vida de las personas en las zonas urbanas (Rojas, 2010), así cuando la calidad del aire es favorable (pocos contaminantes) la salud de las personas no se ve afectada, en comparación a ciudades contaminadas que revelan evidencias de poco bienestar (Rojas, 2010).

La reducción de la contaminación del aire es un verdadero reto en las principales ciudades (Luzuriaga, 2019), debido a la dificultad de control en el medio de transporte y en el desarrollo industrial (Leonard et al., 2016). Una forma de reducir el polvo sedimentable, es mediante el uso de vegetación (Hirabayashi & Nowak, 2016; Nowak et al., 2014). Frente a esto es necesario que se integren en diversas ciudades el uso de árboles urbanos como parte de programas, proyectos, políticas, acciones y medidas urbanas que ayuden a gestionar y controlar la calidad del aire (Egas, 2017). Dando lugar a que se utilice a la vegetación como herramienta de remediación, debido a las capacidades potenciales como bioindicadores, que son imprescindibles para realizar un análisis ambiental y evaluar la contaminación (Alcalá et al., 2011).

Los espacios verdes urbanos tienen efectos positivos sobre la calidad del aire, debido a que filtran fijando los agentes de polución (Dalmasso et.,1997), principalmente la arbórea, que actúa como barreras reduciendo la cantidad de contaminantes atmosféricos, debido a su gran extensión y a las propiedades físicas de sus hojas (Beckett et al.,1998), especialmente los árboles de hojas perennes o siempreverdes que se caracterizan por mantener su follaje durante todo el año (Egas, 2017). La vegetación es uno de los principales proveedores de servicios ecosistémicos: ayuda a reducir los

niveles de ruido, mejora la salud de la población, regula el clima influyendo en la temperatura del aire y la velocidad del viento, y también contribuye en la reducción de contaminantes mejorando el paisaje urbano (Rivas, 2008; Alcalá et al., 2011).

Estudios recientes han demostrado el poder de retención del polvo por las hojas, que depende de la especie y de las características morfo-anatómicas (Dalmasso et al., 1997) como: la rugosidad, el tamaño de las hojas, los tricomas (pelos o relieve muy pronunciados), la presencia de pilosidad epidérmica, la densidad estomática y el área foliar (Egas, 2017), existiendo así, especies con una mayor eficacia en la reducción de la contaminación atmosférica (Zegarra, 2018). Otra característica influyente que permite una mayor retención de polvo atmosférico, son las hojas con pecíolo corto, a diferencia de los que tienen pecíolo delgado y largo, pues el viento las mueve con mayor facilidad, desprendiendo gran cantidad de polvo (Smithsonian, 1999).

En la ciudad de Cuenca, la contaminación del aire es ocasionada principalmente por el tráfico vehicular, dejando rastros de hollín negro que se impregna en las paredes y de los locales comerciales (Cevallos, 2018), y al noroccidente de la zona urbana en cambio se destaca por las emisiones industriales, por ello, la participación ciudadana es un componente fundamental en este proceso de medida para mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas de la ciudad. Sin embargo, los estudios en la ciudad de Cuenca son limitados debido a la poca información sobre la vegetación arbórea como indicadores de contaminación atmosférica en el entorno urbano.

En el presente trabajo de investigación se pretende evaluar el potencial de la vegetación, especialmente la arbórea, para la captura y retención de polvo atmosférico, cuya capacidad se encuentra relacionada con sus características morfo-anatómicas. De esta manera se podría establecer estrategias que permitan a las autoridades a que integren el uso de espacios verdes como una alternativa económica para ayudar a la restauración del medio ambiente (Luzuriaga, 2019). Además, es necesario realizar investigaciones y contribuir al conocimiento del potencial de la vegetación para minimizar impactos ambientales precautelando la salud de la población, los recursos naturales y el patrimonio cultural (MAE, 2010).

A continuación, se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Contribuir con el conocimiento de las características de los árboles como mitigadores de la contaminación en zonas urbanas.

Objetivo específico:

- Determinar y describir características morfológicas y anatómicas que influyen en la retención de polvo atmosférico.
- Establecer las especies con mayor potencial para la retención de polvo atmosférico.

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA

1.1 Área de estudio

La investigación se realizó dentro del área urbana de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay la cual está ubicada en un rango altitudinal de 2350 a 2550 m s n m (Bermeo, 2013), atravesada por los ríos: Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, posee un clima templado, cuya temperatura media anual se encuentra entre los 13 a 19° C, comprendiendo un área total de 72,32 km² (Bermeo, 2013). Según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del año 2010, el cantón Cuenca tiene una población aproximada de 505 585 habitantes, dentro de los cuales el 66% conforma el área urbana con un total de 329 928 y tan solo el 34% con 173 697 habitantes, está distribuida entre las 21 parroquias rurales que conforman el cantón Cuenca.

Sus límites son los siguientes:

Al norte con la Provincia del Cañar, al sur con los Cantones Camilo Ponce Enríquez, San Fernando, Santa Isabel y Girón, al oeste con las Provincias del Guayas y hacia el este con los Cantones Paute, Gualaceo y Sígsig (Riera, 2017).

Se seleccionaron como zonas de muestreo la Avenida Fray Vicente Solano y la Avenida Remigio Crespo Toral, debido a la alta concentración de tráfico constante y circulación peatonal, además de ser zonas de residencias.

Tomando como un solo transecto cada una de las avenidas seleccionadas, en el caso de Av. Fray Vicente Solano se tomará desde el colegio Benigno Malo hasta los Tres Puentes con una extensión aproximada de 1,5 km (**Figura 1**). Y para la Av. Remigio Crespo Toral se registraron datos desde el Estadio Alejandro Serrano Aguilar hasta el redondel de Los Totems ubicada en la calle de la Unidad Nacional, con una extensión aproximada de 1,6 km, esto debido a que el siguiente tramo de esta avenida no posee cobertura vegetal (**Figura 2**).

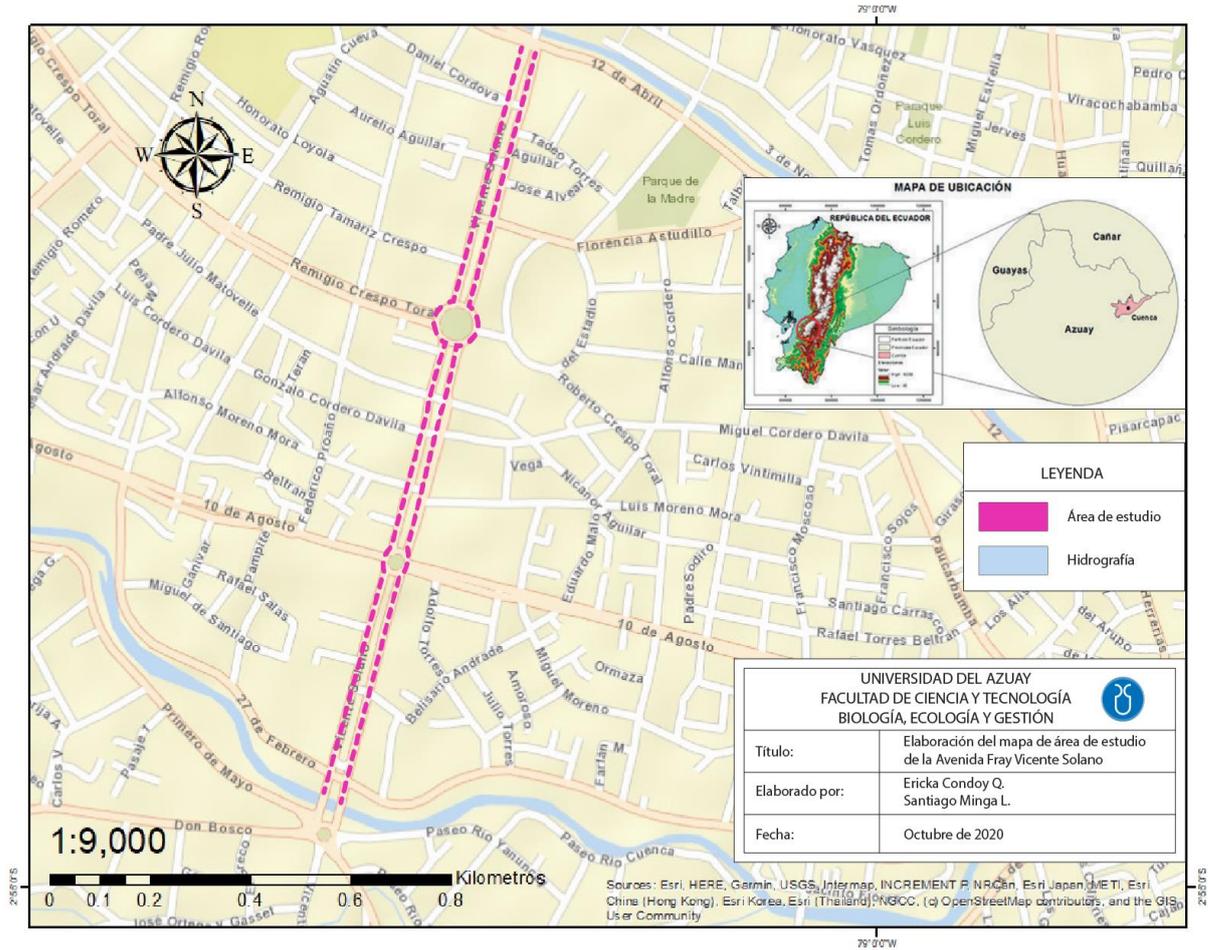


Figura 1. Ubicación del área de estudio de la Avenida Fray Vicente Solano de la ciudad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia

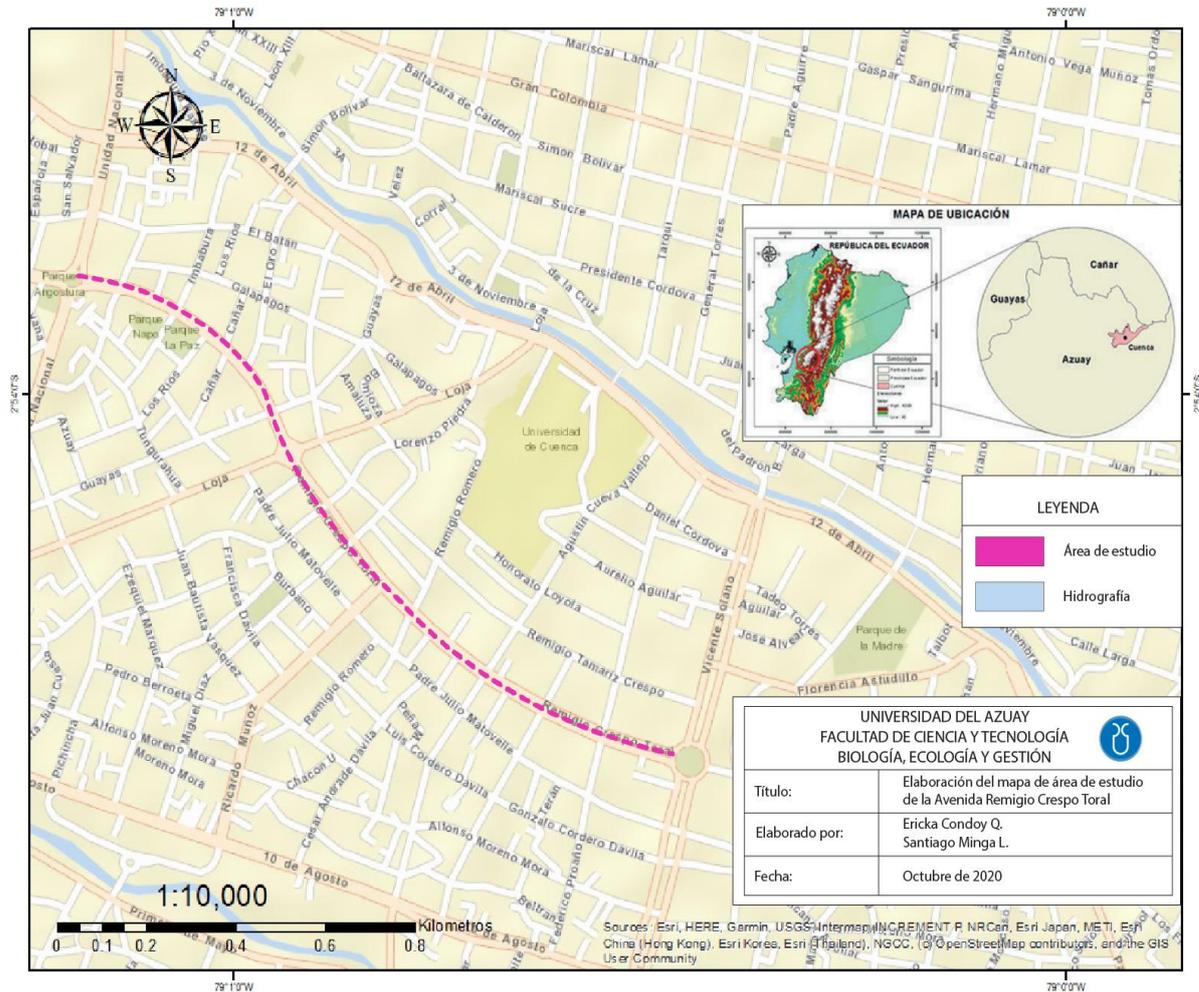


Figura 2. Ubicación del área de estudio de la Avenida Remigio Crespo Toral de la ciudad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia

1.2 Diseño de la investigación

1.2.1 Fase de campo

Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron dos metodologías (colectores pasivos y biomonitoreo pasivo), entre los meses de agosto y noviembre del 2020.

1.2.1.1 Método de Colectores pasivos

Se caracteriza por coleccionar un contaminante específico por medio de la adsorción y absorción (Huallaro, 2008). Después de su exposición durante un período de muestreo oportuno, se analiza cuantitativamente la recuperación del contaminante, permitiendo evaluar la calidad del aire (Huallaro, 2008) (**Anexo 2**).

Para este método, se utilizó un total de 17 colectores pasivos con dimensiones de 4 pulgadas de diámetro y 20 cm de alto (Luzuriaga, 2019), respectivamente lavados con detergente y secados con el fin de evitar que se contaminen (Huallaro, 2008). Así mismo, el papel filtro debe ser secado en una estufa a 70 °C por 24 horas, y pesado en una balanza analítica para su posterior exposición (Luzuriaga, 2019). Los colectores pasivos se instalaron a una altura de 1,5 m del nivel del suelo, sujeto a un poste, asegurándonos que no se encuentre al alcance de personas no autorizadas y a una distancia de 200 m y a ambos lados de la avenida de manera intercalada (**Figura 3**), esto para una mayor precisión de los datos según recomendaciones de estudios previamente realizados.

Una vez realizado todo el procedimiento con los debidos cuidados se procede a realizar el monitoreo, que inició colocando los filtros en las tapas ajustándose al tubo, asegurándonos que el contaminante caiga en la parte superior del tubo (Huallaro, 2008). Durante los cuatro meses de monitoreo, la recolección de los filtros fue semanalmente y depositados en una funda ziploc marcadas para su posterior análisis en el laboratorio.

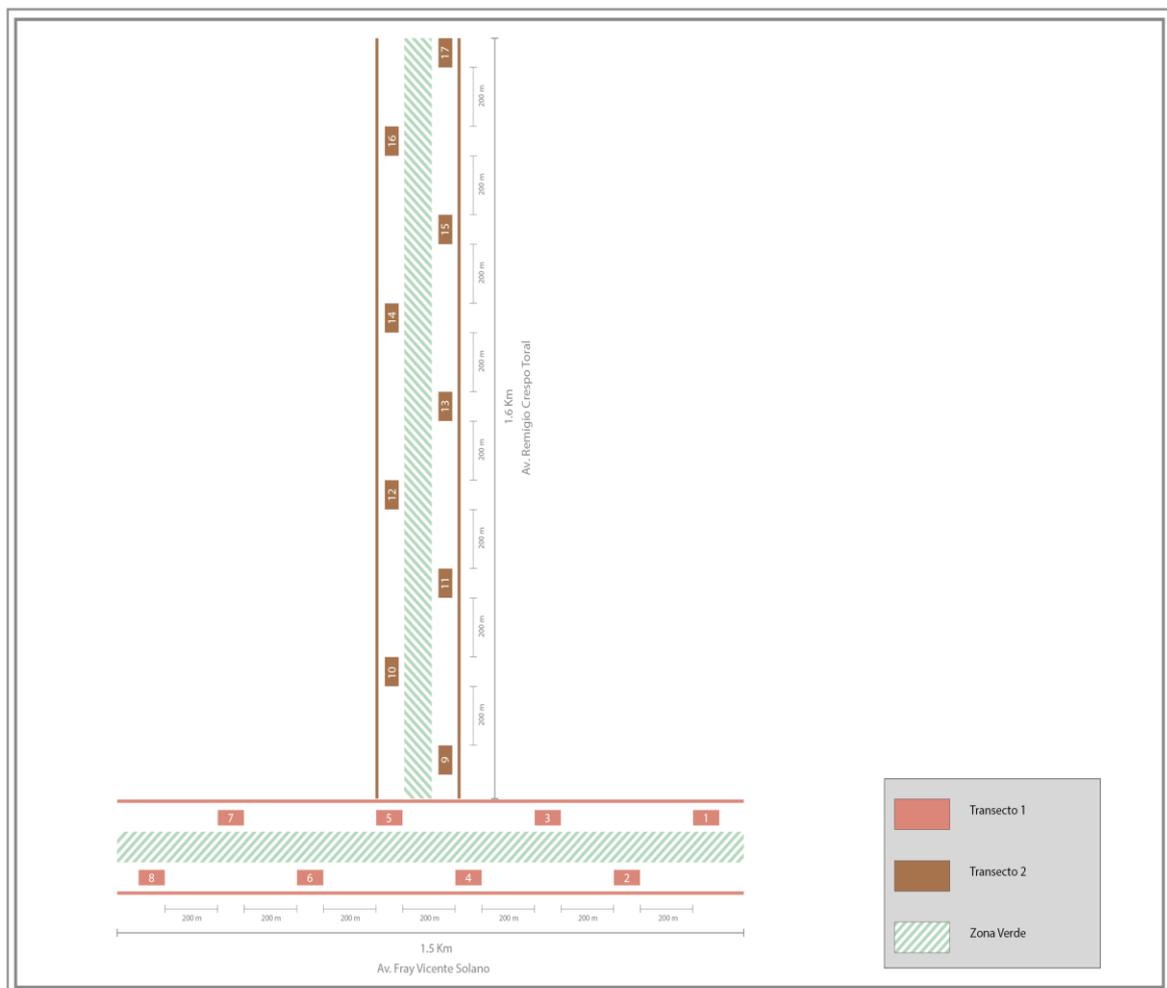


Figura 3. Distribución y ubicación de los colectores pasivos de las avenidas seleccionada.

1.2.1.2 Método de Biomonitorio pasivo

Se basa en la capacidad de algunos organismos vivos para acumular contaminantes, la cual nos permite estimar la concentración de contaminantes en un sitio determinado (Orellano, 2017).

Para esta metodología, con la ayuda de un especialista las especies arbóreas seleccionadas que se incluyeron en este análisis corresponde a las siguientes:

Avenida Fray Vicente Solano: *Schinus molle* L., *Tecoma stans* (L.), *Grevillea robusta* A. y Avenida Remigio Crespo Toral: *Ficus benjamina* L., *Schinus molle* L. y *Tipuana tipu* (Benth.), debido a estos factores: En primer lugar, por sus características morfo-anatómicas (Luzuriaga, 2019). En segundo lugar, todas estas especies son comunes en las áreas verdes, como en la ciudad de Loja (Idrovo Murillo, 2001; Ochoa et al., 2015).

Cada especie seleccionada se encontraba expuesta al tráfico vehicular y con una podadora forestal se extrajo de la base de la copa del árbol una cantidad de 20 gr de muestra vegetal y posteriormente se depositó en una funda ziploc previamente marcada (especie y zona), manteniendo a una temperatura adecuada para trasladarlos al laboratorio (Zegarra, 2018). Este muestreo se realizó cada 15 días en un periodo de cuatro meses.

1.2.2 Fase de laboratorio

1.2.2.1 Método de Colectores pasivos

Las muestras recolectadas en el campo, fueron trasladadas semanalmente al laboratorio de Análisis Químico de la Universidad del Azuay, posteriormente se procedió a pesar en una balanza analítica y a registrar la concentración de polvo en microgramos (μg) (**Figura 4**).



Figura 4. Pesado de papeles filtros con polvo sedimentable

Para determinar los niveles de concentración de polvo atmosférico sedimentable, aplicamos la ecuación del método de Bergerhoff (Oliva et al., 2001).

$$PAS \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 * \text{días}} \right) = \frac{(\text{P final} - \text{P inicial})}{\text{Área} * \text{Tiempo}}$$

Donde:

PAS: Polvo atmosférico sedimentable expresado en microgramos (μg)

Pf: Peso final del filtro (polvo)

Pi: Peso inicial del filtro (vacío)

A: Área del filtro

T: Tiempo de muestreo (días/ mes).

1.2.2.2 Método de Biomonitorio pasivo

Para obtener la cantidad de polvo sedimentable retenido por las superficies foliares, se utilizaron vasos de precipitación de 250 ml (Aponte, 2017). Para eliminar cualquier tipo de contaminante este material fue sometido a un proceso de secado en la estufa durante 15 minutos; luego fue retirado con una pinza usando guantes para evitar el contacto directo, seguidamente fueron pesados y etiquetados respectivamente (especie y zona). Se registró el peso inicial, posteriormente se procedió a pesar de 20 a 30 g de materia foliar. Cada muestra fue lavada con agua destilada, frotando suavemente con los dedos, para favorecer el desprendimiento del polvo (Aponte, 2017). El lavado de las muestras se colocó en el vaso de precipitación de 250 ml, para secar en la estufa a 70 °C por 72 horas. Una vez transcurrido el tiempo se retiraron los vasos de la estufa, y se dejaron en reposo hasta alcanzar la temperatura del ambiente (Aponte, 2017), se procedió a pesar en una balanza analítica y el polvo sedimentable retenido se calculó por diferencia de peso ($P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}$), dividiendo para el área foliar (cm^2), para esta medida se fotografiaron la misma cantidad de hojas lavadas, las cuales se analizaron en el software libre ImageJ, este cálculo se realizó en el software Microsoft Excel obteniendo su peso en ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

1.3 Características morfológicas y anatómicas con potencial para la retención de polvo atmosférico.

1.3.1 Altura

Para la medición de la altura se utilizó el clinómetro Suunto, el cual consiste en colocarse en una distancia de 15 m del árbol, tomando la medida desde la base del árbol hasta el ápice de la copa (Melgarejo, 2015) (**Figura 5**).

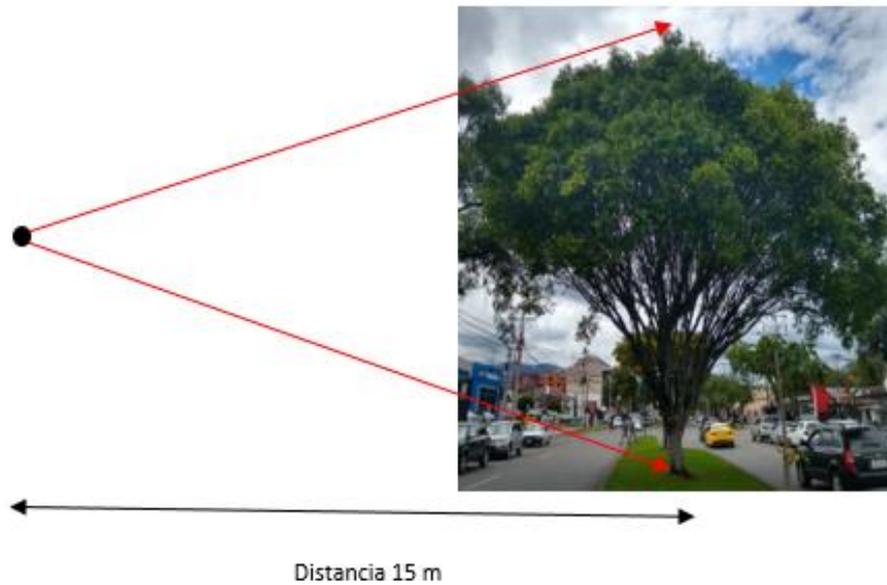


Figura 5. Medición de la altura de las especies arbóreas

El cálculo correspondiente para encontrar la altura total es la siguiente:

$$h = \frac{(h_2 + h_1)}{100} \times 15$$

Donde:

h= Altura total (m)

h₂= Ápice de la copa

h₁= Base del árbol

D= Distancia del observador hasta la base del árbol (m)

1.3.2 El diámetro de la copa

Se midió en dos direcciones: Norte-Sur y Este-Oeste, tomando como referencia la proyección de la sombra del árbol sobre el suelo, posteriormente con la ayuda de un flexómetro se registró la distancia entre ambos extremos para obtener un promedio de las dos medidas tomadas (Rodríguez et al., 2008) (**Figura 6**).



Figura 6. Medición del diámetro de la copa de las especies arbóreas

Y el cálculo correspondiente es la siguiente:

$$dc = \frac{dc_1 + dc_2}{2}$$

Donde:

dc = Diámetro total de la copa del árbol

dc1 y dc2= Diámetro de los extremos de la copa (Norte- Sur y Este-Oeste)

1.3.3 Área foliar

Se determinó el área foliar de cada especie arbórea mediante un programa de procesamiento de imagen digital (Imagej versión 1.45). Colocamos cada especie sobre papel milimetrado y se fotografió cada una de ellas, evitando el solapamiento de las hojas (Zegarra, 2018), usando como referencia una regla a una escala de 4 cm (Aponte, 2010), obtuvimos el cálculo del peso del polvo atmosférico sedimentable por cm² de área foliar por especie (Dzierżanowski et al., 2011) mediante una escala binaria (blanco/negro) (Aponte, 2010) (**Figura 7**).



Figura 7. Resultado escáner de las especies arbóreas. a) Imagen fotografiada; b) Imagen procesada en escala binaria (blanco/negro) por el software de Imagej.

1.3.4 Rugosidad y Pubescencia

Para las características anatómicas se evaluó la rugosidad y pubescencia de cada muestra, la cual se realizó mediante una escala cualitativa. Se asignó una escala de valores para rugosidad en donde; 1 (ausencia), 2 (aumento máximo), 3 (aumento mínimo), 4 (aumento mínimo y sensible al tacto), 5 (visible al ojo humano). Para la escala de pubescencia tenemos; 1 (ausencia), 2 (aislado, con aumento máximo), 3 (aislado por toda la superficie foliar), 4 (con aumento mínimo y sensible al tacto) y 5 (visible al ojo humano). (Zegarra, 2018), esto con ayuda del microscopio óptico Olympus (Sæbø et al., 2012), y también a través de información secundaria (libros, artículos científicos, tesis que interpretan otros trabajos o investigaciones).

1.4 Análisis de datos

1.4.1 Análisis de concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de colectores pasivos

Los datos obtenidos de los cuatro meses de muestreo fueron sintetizados en tablas en una hoja de cálculo, los colectores pasivos se analizaron en el software Excel mediante gráficos de barras, mostrando la variación de concentración de polvo sedimentable.

1.4.2 Análisis de retención de polvo atmosférico sedimentable por especie

Los datos de acumulación de PAS por especie, se analizaron mediante un test de normalidad Shapiro - Wilk ($p < 0.05$). Al no presentar normalidad en nuestros datos no se puede aplicar un test estadístico paramétrico, por lo que aplicamos un test de varianza no paramétrico Kruskal - Wallis, la cual nos permite indicar que al menos dos grupos de entre los comparados son significativamente diferentes, pero no indica cuales, por lo que para conocer donde se encuentra las diferencias realizamos comparaciones entre todos, aplicando un método de corrección del nivel de significancia, un equivalente no paramétrico en este caso se aplicó Pairwise Wilcoxon con su función holm, el cual realiza su comparación entre pares, todos los datos fueron analizados en el programa estadístico R Studio.

1.4.3 Análisis de relación entre la retención de PAS con las características anatómicas, altura y diámetro de la copa.

Se realizaron modelos de regresión lineal en los cuales se utilizó como variable dependiente el PAS con relación a la rugosidad, pubescencia. Los modelos fueron creados por separado, en los cuales se aplicaron a cada uno de ellos una corrección de valores, siendo estas de escala y logaritmo, para la altura y diámetro de la copa se realizaron representaciones para visualizar la relación de los datos de altura con la concentración de PAS

CAPÍTULO II

RESULTADOS

2.1 Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de colectores pasivos

Durante el muestreo realizado, el cual comprende un periodo de cuatro meses situados entre agosto a noviembre del 2020, se recolectaron datos de 17 puntos distribuidos a lo largo de las dos avenidas seleccionadas (**Figura 1, Figura 2**). El gráfico de barras (**Figura 8**) nos permite visualizar la diferencia en la concentración con referencia a los meses de muestreo, obteniendo así valores mayores en cada uno de ellos, en el mes de Agosto el colector 12 presentó una cantidad de $2585,35 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$, para el mes de Septiembre el colector 15 registra $2494,00 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$, de la misma forma el mes de Octubre el colector 7 marca un valor de $1710,99 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$ y en el mes de Noviembre tenemos un valor de $1339,81 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$ correspondiente al colector 12, sobrepasando los límites permisibles de la OMS y TULSMA, establecidos por un lapso de 30 días.

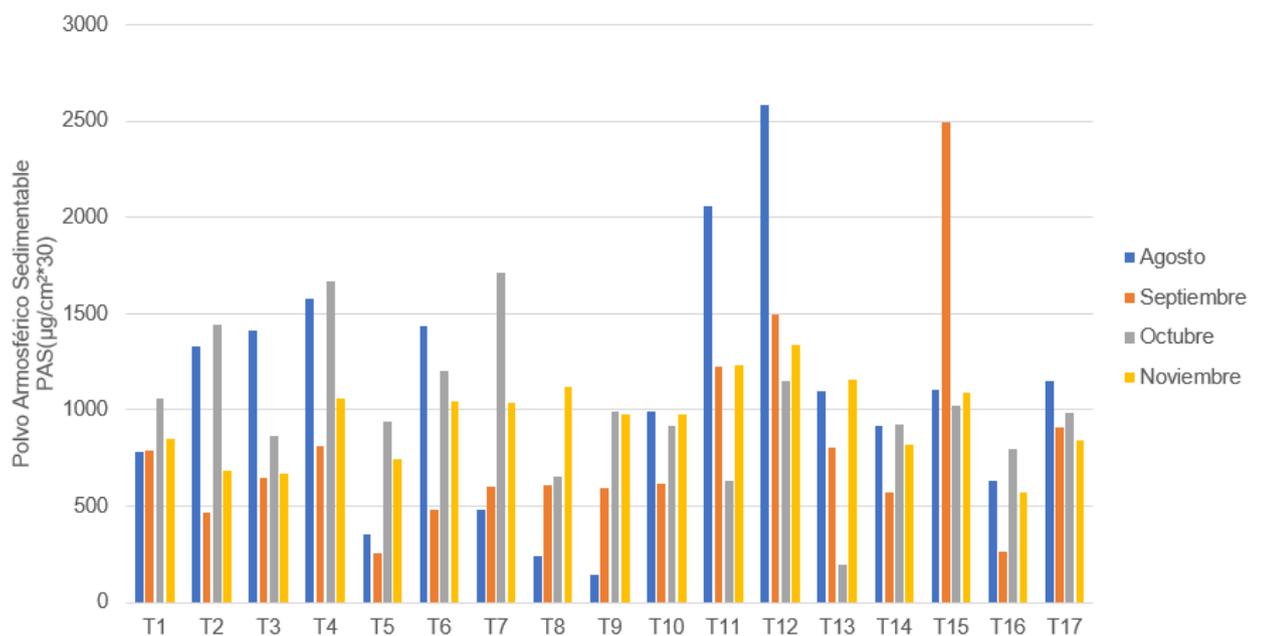


Figura 8. Gráfico de barras de la variación de concentración de polvo atmosférico sedimentable en los meses de muestreo representando cada uno de los colectores pasivos.

De la misma manera como muestra el gráfico de barras (**Figura 9**) se pudo evidenciar el total de PAS, es decir, sin tomar en consideración cada uno de los colectores, en el tiempo de muestreo ya mencionado, dando como resultado al mes de agosto como el de mayor concentración con un valor de $18271,505 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$, por el contrario, el valor mínimo que se obtuvo fue de $13649,454 \mu\text{g}/\text{cm}^2 * 30$ el cual corresponde al mes de septiembre.

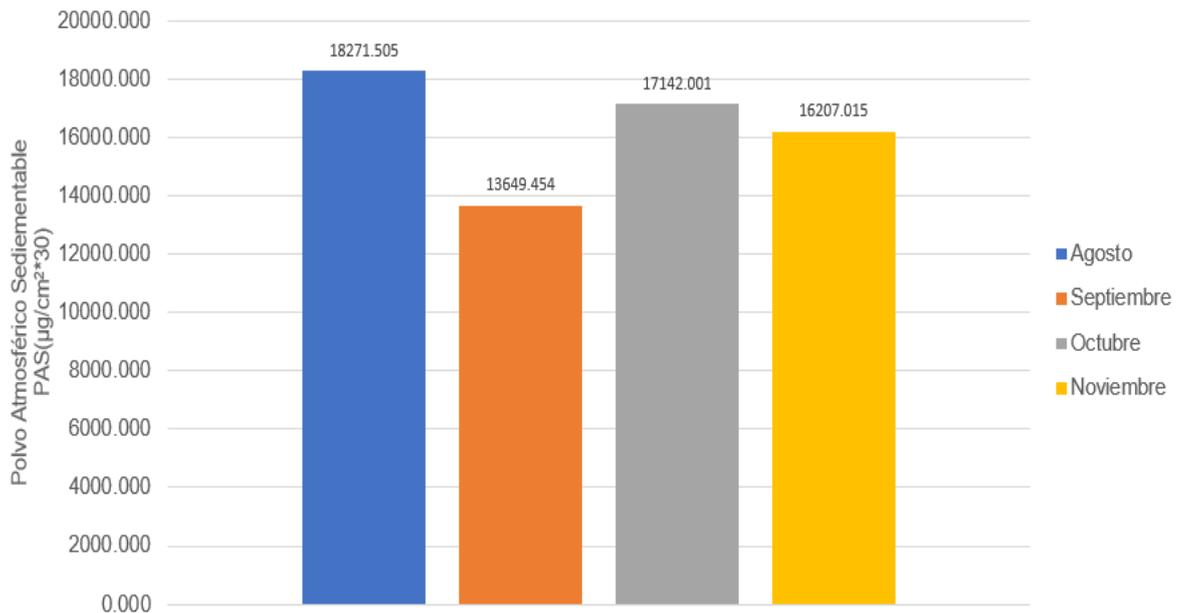


Figura 9. Gráfico de barras de la variación de concentración total de polvo atmosférico sedimentable según cada uno de los meses de muestreo.

2.2 Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) a través del método de biomonitorio pasivo

A continuación, presentamos un resumen de las variables de PAS con respecto a la zona de muestreo y clasificadas por especie (**Tabla 1**), esto para un mejor entendimiento de los valores obtenidos.

Tabla 1. Valores de la acumulación total de PAS por especie y zona de muestreo.

Especie	Zona de Muestreo	Concentración PAS ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
<i>S. molle 1</i>	Av. Fray Vicente Solano	4276,12
<i>T. stans</i>	Av. Fray Vicente Solano	1096,48
<i>G. robusta</i>	Av. Fray Vicente Solano	954,69
<i>S. molle 2</i>	Av. Remigio Crespo Toral	3365,65
<i>F. benjamina</i>	Av. Remigio Crespo Toral	1102,06
<i>T. tipu</i>	Av. Remigio Crespo Toral	637,24

2.2.1 Análisis de Normalidad

Se revisó la normalidad de los datos de acumulación de PAS, la cual fue realizada por especie y de manera general, siendo representado a través de gráficos (**Figura 10**) como analítico (**Tabla 2**). Observando así que las especies que muestran una normalidad esto de forma individual son *Grevillea robusta* (**Figura 10.c**), *Ficus benjamina* (**Figura 10.e**) y *Tipuana tipu* (**Figura 10.f**). Además, podemos evidenciar que los datos no son aptos para la aplicación de un test estadístico paramétrico, es decir, no presentan normalidad como lo muestra en el apartado general (**Figura 10.g**).

Tabla 2. Significancia del test Shapiro-Wilk para la acumulación de PAS por especie y de manera general. Cuando se menciona a la especie *Schinus molle 1* nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie *Schinus molle 2* está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.

<i>S. mole 1</i>	<i>T. stans</i>	<i>G. robusta</i>	<i>S. molle 2</i>	<i>F. benjamina</i>	<i>T. tipu</i>	General
P = 0,002201	P = 0,0001796	P = 0,796	P = 0,02262	P = 0,07266	P = 0,4021	P = 4,04e-09

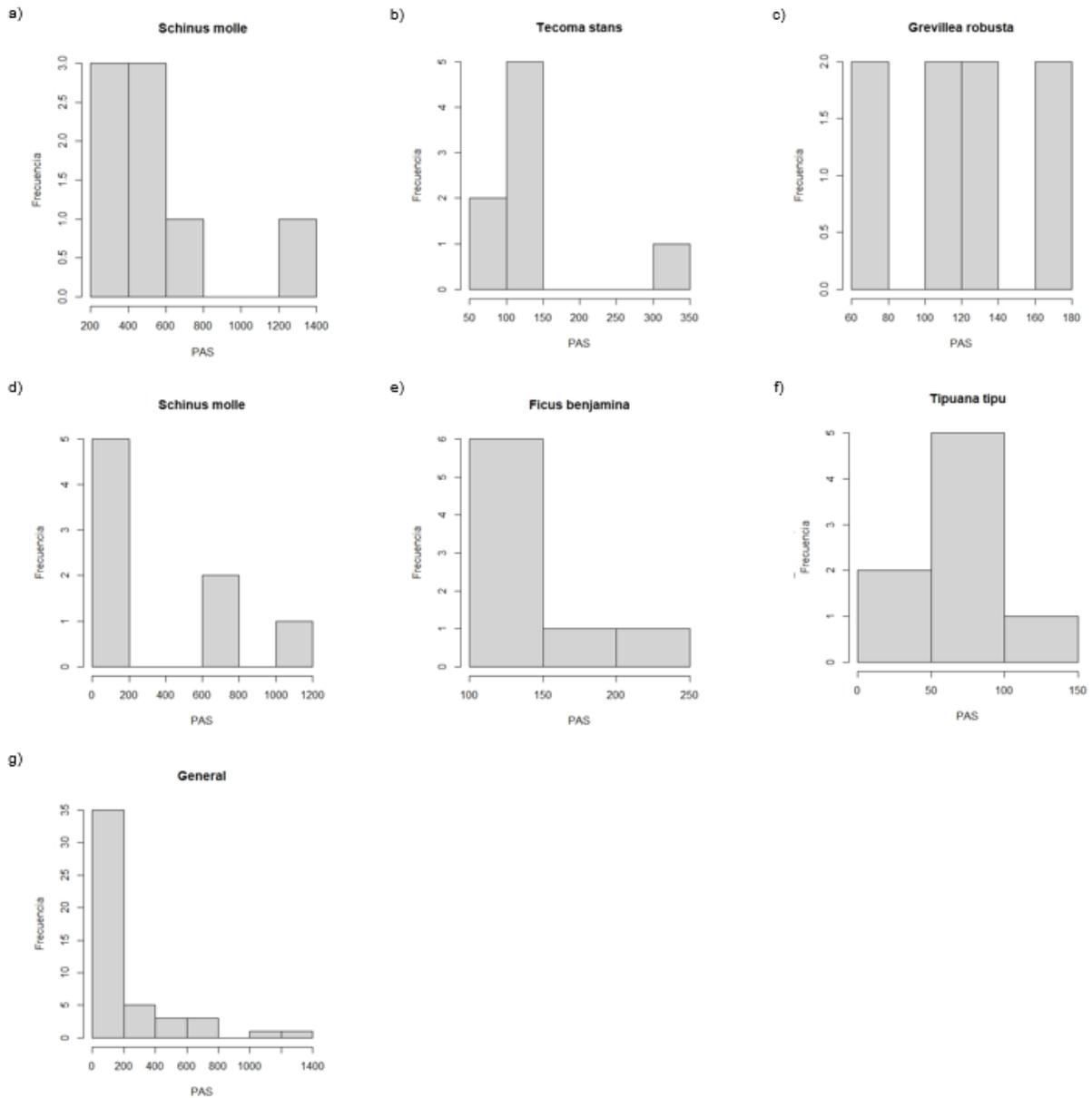


Figura 10. Histogramas por especies y de manera general de la acumulación de PAS y su frecuencia. a) Medida de la especie ubicada en la Av. Fray Vicente Solano; d) Medida de la especie ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.

2.2.2 Análisis de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) por especie vegetal

Para demostrar posibles diferencias en la retención de polvo atmosférico sedimentable entre cada una de las especies se realizó el test de varianza no paramétrico Kruskal-Wallis el cual dio un valor ($p = 0,0009977$), nos indica que encuentra significancia de al menos dos grupos. Para conocer donde se encuentran las diferencias debemos aplicar un método de corrección del nivel de significancia, es decir, un equivalente no paramétrico en este caso se aplicó Pairwise Wilcoxon con su función holm (**Tabla 3**), el cual realiza su comparación entre pares.

El resultado fue que existe diferencia significativa de la concentración de PAS de la especie de *Schinus molle 1*, en comparación con *Tecoma stans* ($p = 0,0037$), *Grevillea robusta* ($p = 0,0023$), *Ficus benjamina* ($p = 0,0023$) y *Tipuana tipu* ($p = 0,0023$).

Tabla 3. Comparaciones con Pairwise Wilcoxon función holm. Cuando se menciona a la especie *Schinus molle 1* nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie *Schinus molle 2* está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.

	<i>S. molle 1</i>	<i>T. stans</i>	<i>G. robusta</i>	<i>S. molle 2</i>	<i>F. benjamina</i>
<i>T. stans</i>	0,0037	-	-	-	-
<i>G. robusta</i>	0,0023	1,0000	-	-	-
<i>S. molle 2</i>	1,0000	1,0000	1,0000	-	-
<i>F. benjamina</i>	0,0023	1,0000	1,0000	1,0000	-
<i>T. tipu</i>	0,0023	0,2813	0,7469	1,0000	0,0513

2.2.3 Relación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) con las características anatómicas rugosidad y pubescencia

Se realizaron dos modelos en los cuales se utilizó como variable dependiente el PAS con relación a la rugosidad y pubescencia, cuyos valores establecidos se los presenta en la Tabla 4. Los modelos fueron creados por separado, en los cuales se aplicaron a cada uno de ellos una corrección de valores, siendo estas de escala y logaritmo. Posteriormente, se obtuvieron los resultados de los mismos, los cuales demostraron que no existe una correlación entre la variable dependiente y su variable independiente, para la característica de rugosidad tuvo un valor ($p = 0,000006255$) y para la pubescencia ($p = 0,00005029$) (**Tabla 5**).

Tabla 4. Valores otorgados para el estudio de características anatómicas. Cuando se menciona a la especie *Schinus molle* 1 nos referimos a la que está ubicada en el Av. Fray Vicente Solano, de la misma forma, la especie *Schinus molle* 2 está ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral.

	Rugosidad	Pubescencia
<i>Schinus molle 1</i>	1	1
<i>Tecoma stans</i>	4	3
<i>Grevillea robusta</i>	2	2
<i>Schinus molle 2</i>	1	1
<i>Ficus benjamina</i>	2	1
<i>Tipuana tipu</i>	2	2

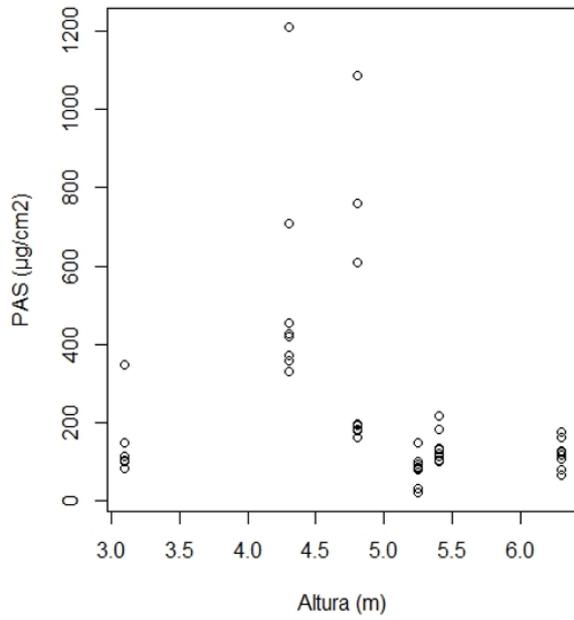
Tabla 5. Resultado estadístico de la regresión lineal entre PAS con características anatómicas.

Modelo de Regresión	Coef, Estimado	Error std.	Valor P	Error std. Residuales	R ² Múltiple	R ² Ajustado
Rugosidad	-0,6011	0,1178	0,000006255	0,8078	0,3613	0,3474
Pubescencia	-0,5505	0,1231	0,00005029	0,8438	0,3031	0,2879

2.2.4 Relación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) con las medidas de altura y diámetro de copa

Se llevó a cabo la realización de los plot con el objetivo de visualizar la relación de los datos de altura con la concentración de PAS (**Figura 11.a**), en el cual podemos distinguir que no existe una relación conforme a la distribución de los valores de altura. De la misma manera, se observa que no existe una relación con los datos del diámetro de la copa (**Figura 11.b**).

a)



b)

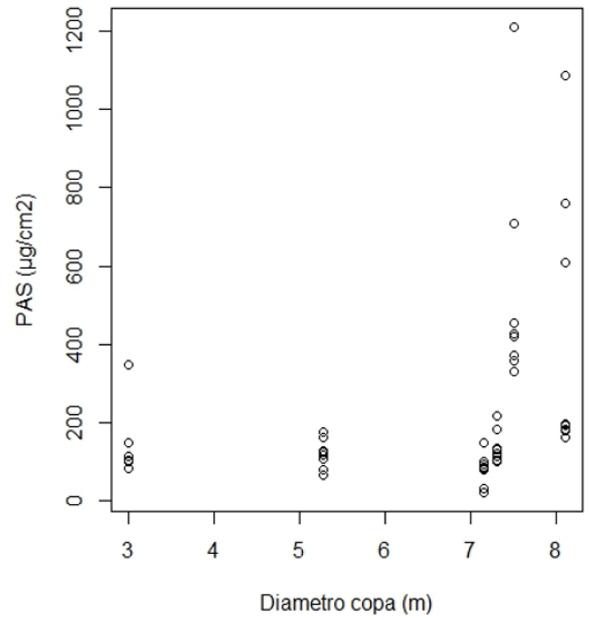


Figura 11. Plot de la relación entre los valores de los datos técnicos con el PAS.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio reflejan la variación de concentración de los colectores pasivos en las avenidas Fray Vicente Solano y Remigio Crespo Toral, mostrando diferencias en relación a la retención de polvo sedimentable (Luzuriaga, 2019), donde la mayoría de los colectores monitoreados, sobre todo en el mes de Agosto el colector 12 presentó una mayor acumulación de polvo sedimentable de $2585,35 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot 30$, siendo el mismo mes con mayor concentración, y no cumpliendo con los límites máximos de la normativa ecuatoriana y superando los valores referenciales para la salud de la población según la Organización Mundial de la Salud (OMS) de $0,5 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot 30$ días y los límites máximos permisibles de $1 \text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot 30$ días de la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULSMA, 2015).

La concentración de polvo sedimentable en las avenidas Fray Vicente Solano y Remigio Crespo Toral, se origina debido a la densidad urbana, a la ubicación de las fuentes puntuales de emisión (gasolineras e industrias) (Jerves & Armijos, 2016), por ser zonas de residencia, comercial y por el alto índice del transporte vehicular, con buses urbanos, automóviles particulares, entre otros (Cevallos, 2018), siendo la principal fuente de emisión, según datos de la Empresa de Movilidad y Obras Viales (EMOV) (Aguirre & Machado, 2015). Ambas avenidas son consideradas vías arteriales de la ciudad (Mejia & Morocho, 2016), como un eje preferido en el tránsito urbano, debido a la facilidad para conectarse con otros viarios (Mejia & Morocho, 2016). En la ciudad de Cuenca el parque automotor supera los 150000 vehículos (Mejia & Morocho, 2016), provocando gran congestión en las horas pico, generando miles de toneladas de gases y partículas que se incorporan en la atmósfera (Gómez et al., 2004).

Para el apartado de biomonitoreo pasivo los resultados obtenidos en este presente estudio referente a la capacidad de acumulación de polvo atmosférico sedimentable por parte de las especies introducidas *S. molle*, *T. stans*, *G. robusta*, *T. tipu* y *F. benjamina*; dada esta clasificación debido a que a pesar de que su distribución es amplia, no son originarios, además de que no se encuentran en estado silvestres, convirtiendo a estas especies en invasoras (Minga & Verdugo, 2016).

La captura de PAS fue registrada en todas las especies como se observa en la Tabla 1 del capítulo de resultados, la misma que variaron de una manera significativa en sus resultados entre especies, las cuales se atribuyen primeramente a los indicadores de la

habilidad para retener las partículas (Xie *et al.*, 2018), es decir, las características anatómicas de cada especie, la principal diferencia significativa se le atribuye para este estudio a *S. molle* ubicada en la Av. Fray Vicente Solano, la cual junto con su similar ubicada en la Av. Remigio Crespo Toral, fueron las que presentaron mayor concentración de PAS en su superficie foliar con valores de 4276,12 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 3365,65 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ respectivamente.

Pese a que no encontramos una correlación en los modelos aplicados para las características anatómicas de rugosidad y pubescencia (**Tabla 5**), referente a la acumulación de PAS, existen valores extremos, los cuales pueden haber sido influenciados por el bajo número de muestreos alterando los resultados. Sin embargo, varios estudios establecen una relación de acumulación mayor, entre la textura de las hojas, señalando que las arrugadas y con pubescencia tienen mayor oportunidad de captura de PAS, que a diferencia de las que poseen una textura lisa (Sæbø *et al.*, 2012), de la misma manera, se establece una relación con la forma de las hojas, siendo las lanceoladas, como es el caso de *S. molle*, la que posee la mayor capacidad de captura (Leonard *et al.*, 2016), lo cual respalda los valores de mayor concentración de PAS obtenidos en este estudio, con referencia a la formas que poseen *T. stans*, *G. robusta*, *F. benjamina* y *T. tipu*. Además, debemos considerar que el tipo de forma de hoja que posee *S. molle* otorga una ventaja de mayor resistencia específica provocando que revoloteen de forma más errática evitando así el desprendimiento del PAS (Voguel, 1989) con relación a corrientes de aire, teniendo en cuenta que el lugar donde se realizó el muestreo varía desde una brisa ligera a una moderada según la escala de Beaufort (**Anexo 6**), lo suficiente como para agitar las hojas de las especies mencionadas. De la misma manera, podemos relacionar que a mayor área foliar se esperaría una carga de deposición de PAS igual (Liu *et al.*, 2015), pero debemos tomar en cuenta que existe la posibilidad de que, al aumentar el área de superficie foliar, de igual manera sea el movimiento de las hojas, lo cual daría como resultado el desplazamiento de PAS, lo que se evidenciaría con los valores de las especies como *T. stans* o *G. Robusta*. Aunque no debemos olvidar que las hojas con mayor pubescencia dificultan el desplazamiento del PAS cuando estas se ven sometidas a movimiento (Neinhuis & Barthlott, 1998; Qiu *et al.*, 2009; Prusty *et al.*, 2005). Referente a este tema, algunos autores establecen que la distancia de la zona de emisión y la dirección del viento dominante, son los que determinan la cantidad de PAS suspendido y depositado en la vegetación (Calvo, 1996; Núñez *et al.*, 2005; Aragon *et al.*, 2006; Girard y Girard, 2014), lo cual explicaría el bajo valor obtenido por *T. stans*, teniendo en cuenta que esta fue la única especie del estudio que se situó a una distancia mayor de la avenida y estuvo rodeada por muros (**Anexo 1**), a comparación de las demás especies que se situaron en las aceras de las avenidas.

Por lo tanto, debemos considerar a la vegetación como filtros vivos o sumideros los cuales atrapan y filtran mediante las hojas estas partículas dañinas, como lo demuestran varios estudios, el PAS ejerce un impacto en el desarrollo vegetativo, dañan el follaje y deterioran el proceso de fotosíntesis (Seanez, 1971), lo cual genera que sean aptas a plagas y enfermedades. En este proceso debemos tener en cuenta a la precipitación, debido a que esta lava los contaminantes almacenados y situados en la superficie de las hojas y ramas; para depositarlo en el suelo, lo cual lleva el nombre de retención temporal (Nowak, 2006), este procedimiento se da con la fracción de partículas más gruesas (Przybysz *et al.*, 2014). Cuando las partículas de menor tamaño llegan a la superficie foliar, es decir, en la cera de la hoja su eliminación es más complicada (Dzierzanowski *et al.*, 2011), lo cual daría a entender el porqué de la alta capacidad de concentración de *S. molle* y *F. benjamina*, que, al no poseer características anatómicas de pubescencia o rugosidad, permite la fijación de las partículas directamente sobre la superficie. Este resultado no se evidenciará en *T. tipu*, a pesar de poseer similitud con las otras dos especies mencionadas, debido a que es un árbol caducifolio, siendo esta la única del estudio con tal característica, lo cual disminuyó su capacidad de concentración debido a que coincidió los meses de muestreo, sin embargo, según Alegre *et al.* (2007) esta especie sería apta en la relación de adsorción y recambio de follaje, el cual es más acelerado que las especies perennes.

Bajo el criterio de mayor follaje o diámetro de la copa, se debe considerar que no existió una correlación evidente en el estudio (Figura 12.b) y en el cual las especies *S. molle*, *T. tipu* y *F. benjamina* poseen valores similares con variaciones menores (Anexo 1), registrando la mayor concentración para *S. molle* y la segunda para *F. benjamina*, en el caso de *T. tipu*, la influencia de factores ya mencionados también se ve reflejada en este apartado.

Por último para relación de altura (Figura 12.a) obtuvimos el mismo resultado, al no existir una correlación entre las variables, concluyendo que este estudio se vería influenciado por otras variables como lo mencionamos, además, de estudios realizados en donde se encuentra mayor cantidad de PAS a distancias promedios de dos a tres metros (Chipaco *et al.*, 2015; Maher *et al.*, 2008) con referencia del arbolado urbano y la carretera, para nuestro estudio la especie con menor altura fue *T. stans*, la cual presenta la cuarta mayor concentración, suponemos que este resultado se vio influenciado por las razones ya mencionadas anteriormente, además de los reportes por Hagler *et al.*, (2012) quien en su estudio menciona que la mayor cantidad de PAS en las hojas se vio afectada por la distancia existente entre el arbolado y la carretera, es decir, que mientras menor distancia entre estos dos factores, hay una mayor retención de

polvo atmosférico sedimentable PAS, la especie que posee el segundo valor de menor altura es *S. molle*, en el cual podemos evidenciar esta relación de altura y mayor retención.

Cabe mencionar que la recolección de las muestras vegetales de cada especie varió dependiendo de la altura de las mismas, sin embargo, estas fueron siempre de la base de la copa del árbol.

CONCLUSIÓN

Considerando los resultados obtenidos hasta el final de nuestro estudio podemos decir que la especie con mayor concentración de polvo es *Schinus molle* L., pese a no encontrar correlaciones entre las características anatómicas de pubescencia o rugosidad, son capaces de capturar, pero no eliminar el polvo acumulándose y adhiriéndose a las hojas, lo que puede causar problemas a futuro en la salud de las plantas provocando obturación de estomas, en el crecimiento y modificaciones en la estructura de la hoja (Luzuriaga, 2019), la acumulación de PAS también puede verse influenciado por la dirección del viento, la dinámica poblacional, factores antropogénicos y la distancia de las zonas de emisión, a excepción de *Tecoma stans* L. que presentan características como rugosidad, presencia de pilosidad epidérmica, aunque en nuestros resultados fue menor la concentración de polvo, esto se debe a su capacidad de capturar y eliminar fácilmente los contaminantes, también debido a que era la única especie presente en el lugar. Realizada nuestra investigación podemos recomendar que la especie *Schinus molle* L., es una de las más eficaces para la captura de polvo atmosférico debido a sus características morfo-anatómicas, al igual que la altura y como interactúa la forma de su copa con los factores climáticos, así mismo, la especie *Tecoma stans* L. reúne todas las características morfo-anatómicas apropiadas según este y otros estudios siendo los más óptimos para la captura de polvo atmosférico.

El análisis realizado nos indica que la vegetación juega un papel importante para mejorar la calidad del aire, considerando su tolerancia en ambientes urbanos (Zegarra, 2018) debido al desempeño de la filtración y canalización del aire urbano contaminado (Zegarra, 2018), además modifica el flujo de viento y turbulencia generando una zona con menor concentración de PAS, esto sumado a los beneficios de captura y remoción del PAS (Zegarra, 2018). Debido a esta característica importante, se recomienda que para las zonas urbanas donde exista mayor concentración de PAS, se realicen planes que tenga como objetivo el uso de especies arbóreas, de rápido crecimiento, de fácil adaptación, una estrategia relativamente económica, fácil de introducir y ambientalmente amigable (Zegarra, 2018).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcalá, J., Rodríguez, A., Hernández, J., & Tapia, J. (2010). Potencial de retención de polvo atmosférico en tres especies vegetativas del ecosistema semiárido, San Luis Potosí, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(2), 93–99.

Alcalá, J., Rodríguez, J.C., Tiscareño, M.Á., Hernández, A., Tapia, J., Loredó, C., & Villaseñor, E. (2011). Mitigación del impacto ambiental del polvo atmosférico a través de *Prosopis laevigata* y *Schinus molle*, San Luis Potosí, México. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 83-96.

Alegre, Mejía, Vásquez & Espinoza (2007). Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire de 3 especies arbóreas en 2 avenidas principales en el distrito de Cercado de Lima (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Aldunate, P., Paz, O., & Halvorsen, K. (2006). Los efectos de la contaminación atmosférica por MP10 sobre la salud de la ciudad de La Paz – Bolivia. *Acta Nova*, 3(2), 422–442.

Aguirre, J., & Machado, J. (2015). Elaboración de un inventario de fuentes fijas de combustión establecidas en el parque industrial de la ciudad de Cuenca para la estimación de sus emisiones atmosféricas (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Aponte, C. (2017). Evaluación de la retención de material atmosférico en suspensión por el arbolado de un corredor vial de la localidad de Kennedy (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.

Aragón, A., Campos, A. A., Leyva, R.; Hernández, M., Miranda, N., & Lszczewski, A. (2006). Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de San Luis Potosí. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22(1):5-19.

Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable MP10. Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia. *Luna Azul*, (34), 195–213.

Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., & Taylor, G. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 9:347–360.

Bermeo, H. V. (2013). Análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal - CUENCA. Retrieved from [http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/842/1/Perfil territorial CUENCA.pdf](http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/842/1/Perfil_territorial_CUENCA.pdf)

Bravo, L. (2017). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón portovelo (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Cabezas, M. G. (2009). Un modelo para la estimación del Área Foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 12 (1): 121-130.

Calvo, M. (1996). Ingeniería del medio ambiente. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Mundiprensa (Ed.). Madrid, España. 701 p.

Castillo, G. (2017). Partículas sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la Ciudad De Tayabamba. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

Cevallos, J. (2018). Concentración de material particulado sedimentable para determinar el grado de contaminación del aire en la ciudad de Ambato (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Chipaco, J., & Valencia, F. (2015). Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire en una especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y una rastrea *Aptenia cordifolia* en el condominio La Quebrada- Cieneguilla. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Dalmaso, A., Candia, R., & Llera, J.(1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina* 6:91-97. Mendoza

Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A., & Gawroński, S. W. (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, L.(2017). Características biológicas del arbolado urbano para contribuir con nuevos criterios de selección de especies arbóreas. Facultad de ciencias forestales y de la conservación de la naturaleza programa interfacultades. Universidad de Chile.

Espinoza A, J. L. (2008). Cuenca: una ciudad para vivir. Retrieved from <http://uazuay.edu.ec/cultura/coloquio/coloquio36.pdf>

García, M., & Carreras, H. (2008). Genotoxicity analysis of particle formed material collected in two cities in the province of Cordoba, Argentina, by means of a micronuclei assay. *Theoria*, 17(1), 33.40.

Gentry, A. H. (1992). Bignoniaceae II (Tribe Tecomeae). *Flora Neotropica*.25(2): 1-370

Girard, J. E. and Girard, J. (2014). Principles of environmental chemistry. Tercera edicion Jones & Bartlett Publishers. Massachusetts. EUA. 676 p.

Gómez, M., Tinoco, O., & Vásquez, J. (2004). Determinación de los factores de emisión de los vehículos a gasolina del parque automotor, en la ciudad de Cuenca (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.Ecuador.

González, L.M.C., Cerezo, M.A., González, M.M.C., & Salazar, C.L. (1999). Comportamiento de las partículas suspendidas y polen en la atmósfera de la Región Norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Journal of the Mexican Chemical*

Grantz, D.A., Garner, J.H., & Johnson, D.W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International* 29(2):213-239.

Hagler, G., Lin, M., Khystov, A., Baldauf, R., Isakov, V., Faircloth, J., y otros. (2012). Field investigation of roadside vegetative and structural barrier impact on near-road ultrafine particle concentrations under a variety of wind conditions.

Hirabayashi, S., & Nowak, D.J. (2016).Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States . *Environ. Pollut.*215,48-57.

Hoyos, F. (1992). Árboles tropicales ornamentales. Caracas, VE, Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. p 56 - 57.

Huallaro, J., Laos, H., Gutarra, F., Cabrera, M., & Valderrama, A. (2008). Validación del método de tubos pasivos con filtros colectores para determinar la concentración de material sólido sedimentable en la ciudad universitaria de San Marcos.

Idrovo, E. (2001). Árboles y Arbustos de Cuenca. Cuenca. Retrieved from http://biblioteca.uazuay.edu.ec/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=51925

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INEC (2010). Censo de Población y Vivienda. Ecuador.

Jerves, R., & Armijos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca, Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 23(1): 25–34. ISSN impreso: 1390-3799. ISSN electrónico: 1390-8596

Juss, L. (1819). *Tecoma stans* (Bignoniaceae) 55–57.

Leonard, R. J., McArthur, C., & Hochuli, D. F. (2016). Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 249–253

Luzuriaga, D. (2019). Evaluación del potencial de la vegetación para retención de polvo sedimentable en la zona urbana de la ciudad de Loja (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

MAE (2010). Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población, Retrieved from <https://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>

Marcos, R., Cabrera M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2007). Comparative study for the determination of the atmospheric dust sedimentable employing the methodologies of Passive pipe and Plates receptoras in the University Campus of San Marcos-Lima. *Centro de Desarrollo E Investigación En Termofluidos*, 1, 10.

Medina, C. (2016). Cocinas sin chimenea y mejoradas sobre la concentración de polvo atmosférico sedimentable, en el sector 01 del centro poblado Maypuco, Río Marañón, Loreto. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Jirón Nauta, Perú

Mejia, D., & Morocho, J. (2016). Obtención de la disposición a pagar para disminuir la congestión vehicular en las Avenidas: Huayna Cápac, 12 de Abril, Remigio Crespo Toral, Fray Vicente Solano y Américas, de la ciudad de Cuenca periodo 2015 (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Melgarejo, C., Corro, V., Ruíz, Maria del Carmen., Sánchez de Stapf, M., & Asdrúbal, C. A. (2015). Inventario Nacional Forestal y de Carbono. Manual de campo para control de calidad. Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo ONU-REDD Programa nacional Panamá.

Mena, J.(2019). Determinación de la calidad del aire con la inclusión de vegetación en ambientes interiores de espacios educativos, y su inclusión arquitectónica. Cuenca-Ecuador

Minga, D., & Verdugo, A. (2016). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco. Cuenca.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3), 115-123.

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution* 193:119–129.

Neinhuis, C., Barthlott, W. (1998). Seasonal changes of leaf surface contamination in beech oak, and ginkgo in relation to leaf micromorphology and wettability. *New Phytol.* 138 (1), 91–98, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00882.x>.

Núñez, L.; Reguera, E.; Corvo, F.; González, E. and Vázquez, C. (2005). Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island. *Corrosion Science*. 47(2):461-484. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.05.015.

Ochoa, D., Cueva, A., Prieto, M., Aragón, G., & Benítez, A. (2015). Changes in the epiphytic lichen composition related with air quality in the city of Loja (Ecuador). *Caldasia*, 37(2), 333–343.

Oliva, P., García, K., Cortez, R., Dávila, R., Alfaro, M., & Duke, V. (2001). *Manual de Laboratorio: Monitoreo del Aire*. Universidad de San Carlos. San Carlos, Guatemala.

Orellano, P., Quaranta, N., Varoli, R., Pellegrini, M., & Landoni, H. (2017). *Uso de árboles como biomonitores para la caracterización del material particulado ambiental de origen vehicular*. Facultad Regional San Nicolás - Universidad Tecnológica Nacional. San Nicolás, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Oyarzún, M. (2010). Air pollution and its effects on health. *Chilean Journal of Respiratory Diseases*, 26, 16–25. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.

Pece, M. G., Gaillard de Benítez, C., Acosta, M., Bruno, C., Saavedra, S., & Buvenas, O. (2010). Germinación de *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze (tipa blanca) en condiciones de laboratorio. Argentina. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho* Vol.18(1,2):5-15

Pope, C., & Dockery, D. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709–742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>

Préndez, M.(1993). Características de los Contaminantes Atmosféricos, in *Contaminación Atmosférica de Santiago: Estado Actual y Soluciones* by H. Sandoval, Universidad de Chile y Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana, Santiago, Chile.

Prusty, B.A.K., Mishra, P.C., Azeez, P.A. (2005). Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60 (2), 228–235, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2003.12.013>.

Przybysz, A., A. Sæbø., H.M. Hanslin, S.W. Gawroński. (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.

Puliafito, S.E., Puliafito, J.L., Behler, J.C., & Alonso, P. (1995). La calidad del aire en Mendoza. En *Mendoza Ambiental*, pag. 207- 242

Qiu, Y., Guan, D., Song, W., Huang, K. (2009). Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China. *Chemosphere* 75 (4), 447–452, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.061>.

Riera, S. (2017). Gobierno local y participación ciudadana en el cantón Cuenca en la última década ¿INTERÉS SOCIAL O ESTRATEGIA DE LEGITIMIDAD? Cuenca-Ecuador

Rincón, N., & Olarte, M. A. (2012). Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. Medellín.

Rivas, D. (2008). Beneficios de los árboles urbanos. *International Society of Arboriculture (ISA)*. México.

Rodríguez, R., Valencia, S., Meza, J., Capo, M., & Reynoso, A. (2008). Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. En Galeana, Nuevo León. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 19–26.

Rojas, M., & Espinosa, C. (2015). Contaminantes químicos en agua y aire en Venezuela (2006-2013). *Salus*, 19(2), 46–54.

Rojas, N. (2010). Aire y Problemas Ambientales de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 15 pp. Colombia, Bogotá.

Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene Epidemiológica*, 44(2), 15. Cuba

Rzedowski, J., & Calderon de Rzedowsk, G. (1993). Datos sobre la dinámica de la flora fanerogámica del Valle de México, con énfasis en especies nativas raras, en peligro de extinción y aparentemente extintas. Instituto de Ecología. *Acta Botánica*. México

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces.

Science of the Total Environment, The, 427–428, 347–354.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>

Seanez, M. (1971). Introducción a un estudio sobre la contaminación atmosférica y su relación con la vegetación. CIHEAM. Options Mediterraneennes. Oct. 57-62

Smithsonian Institution. (1999). Manual of Leaf Architecture morphological description of dicotyledonous end net veined monocotyledonous angiosperms.

Tavera, J.(2018). Un bosque de protección al servicio de una ciudad. Universidad Nacional Agraria la molina. Lima-Perú

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, (TULSMA). Norma ecuatoriana de calidad del aire (2015). Quito, Ecuador.

Vázquez, C., Batis, A. I., Alcocer, M. I., Gual, M., & Sánchez, C. (2007). Schinus molle. Árboles Y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos Para La Restauración Ecológica Y La Reforestación, (1753), 24–27. Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/reforestacion/pdf/3_anaca4m.pdf

Vogel, S. (1989). Drag and reconfiguration of broad leaves in high winds. J. Exp. Bot. 40 (217), 941–948, <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/40.8.941>.

Wark, K., & Warner, C. (1990). Contaminación del aire: origen y control (9 ed.). México: Limusa.

Xie, C., Kan, L., Guo, J., Jin, S., Li, Z., Chen, D., Che, S. (2018). A dynamic processes study of PM retention by trees under different wind conditions. Environmental Pollution, 233, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.073>

Zegarra, R. (2018). Determinación de especies vegetales para la captura y retención de material particulado en la zona urbana de la ciudad de Cuenca (tesis de pregrado). Cuenca, Ecuador.

Zuluaga, M., Valencia, A., & Ortiz, I. (2009). Efecto genotóxico y mutagénico de contaminantes atmosféricos. Medicina UPB, 28(1), 33–41. Consultado de: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/Medicina/article/view/130/105>

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las especies arbóreas

***Schinus molle* L.**

Familia: Anacardiaceae

Descripción: árbol originario de Sudamérica, principalmente en Perú, aunque se extiende de Ecuador a Chile y Bolivia (Zegarra, 2018). Vive en los Andes Peruanos, desde entonces se puede encontrar en varias provincias de los Andes desde los 0 hasta los 3000 m de altura (Minga & Verdugo, 2016).

Tiene una altura promedio de 4 a 8 m y puede llegar hasta 15 m, posee un tronco nudoso, de corteza rugosa con ramas flexibles y colgantes, con hojas perennes y alternas (Zegarra, 2018). Presenta numerosas flores de color amarillo (Zegarra, 2018). Tolerancia a texturas pesadas, suelos muy compactados y pedregosos (Tavera, 2018), también es frecuente en bosques secos que se desarrollan en altitudes que van de los 200 hasta los 3700 m s n m (Tavera, 2018).

En nuestra región se utiliza como árbol ornamental en parterres de avenidas y en los parques lineales de la ciudad (Minga & Verdugo, 2016)

Tiene grandes efectos restauradores: Permite la conservación del suelo, controla la erosión, mejora la fertilidad del suelo permitiendo la recuperación de terrenos degradados (Vázquez et., 2007).



***Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth**

Familia: (Bignoniaceae)

Descripción: se distribuye ampliamente en América Tropical (Rzedowski & Calderon de Rzedowski, 1993). En nuestro país se ha registrado en las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua, sin embargo no se encuentran en estado silvestre (Minga & Verdugo, 2016).

Árbol pequeño tipo arbusto común en las avenidas y en los parques, es de copa irregular y dispersa, perennifolio de 10 m hasta puede llegar a 20 de altura, con un diámetro a la altura del pecho de 25 cm (Gentry, 1992)

Es una especie de rápido crecimiento, permite la conservación del suelo, controla la erosión, además es usado como cerca viva, proporcionando sombra, refugio y es empleado como ornamental (Juss, 1819).



***Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze**

Familia: (Fabaceae)

Descripción: originaria en Argentina y se extiende hasta Bolivia, es una especie introducida en el Ecuador (Minga & Verdugo, 2016). Árbol semicaducifolia que puede alcanzar hasta 40 m de altura y su diámetro de 1.50 puede crecer en climas secos y húmedos (Pece et al., 2010).

En la ciudad de Cuenca es un elemento importante en las áreas verdes de la ciudad, se encuentra en parterres de las avenidas, en las riberas de los ríos y en los centros (Minga & Verdugo, 2016).

Puede resistir a la sequía sin perder sus hojas y se desarrolla en suelos profundos adaptándose a un amplio rango de condiciones edáficas y a su vez se adapta de manera adecuada a las condiciones climáticas (Pece et., 2010)



***Ficus benjamina* L.**

Familia: Moraceae

Descripción: originario en el sur y sureste de Asia, así como del norte y sur de Australia (Tavera, 2018). Y se distribuye a lo largo y ancho de la zona tropical y subtropical (Tavera,2018). Árbol siempre verde de copa ancha y frondosa alcanzando una altura de hasta 20 m (Tavera, 2018). Sus hojas son pequeñas de color verde brillante de forman ovadas a anchamente elípticas (Tavera, 2018).

Se adapta con facilidad en diferentes tipos de suelo, es de crecimiento rápido puede tolerar exposiciones soleadas y a media sombra soportando bastante el frío (Tavera,2018).



***Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br**

Familia: Proteaceae

Descripción: originario en el este de Australia, ampliamente introducida y se encuentra varias regiones tropicales, subtropicales y semiáridas del mundo (Tavera, 2018), en el Ecuador se ha registrado en Imbabura, Pichincha y Azuay (Minga & Verdugo, 2016). Es un árbol siempre verde que puede llegar hasta alcanzar los 25 m de altura es de rápido crecimiento (Minga & Verdugo, 2016).

Es una especie intolerante a la sombra, pues al estar bajo un follaje denso o sin luz, produce una sustancia tóxica que impide su crecimiento (Minga & Verdugo, 2016). También es utilizado como árbol para establecer cortinas de protección y para fines ornamentales (Tavera, 2018).



Anexo 2. Fase de campo y laboratorio de colectores pasivos



Elaboración y dimensiones de los colectores pasivos



Colocación de colectores pasivos



Pesado del papel filtro con polvo sedimentable

Anexo 3. Fase de campo y laboratorio de biomonitorio pasivo



Recolección de hojas de especies arbóreas en las avenidas



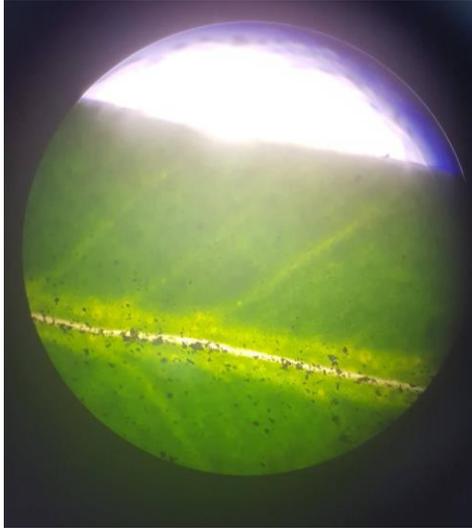
Etiquetado y pesado de las muestras foliares



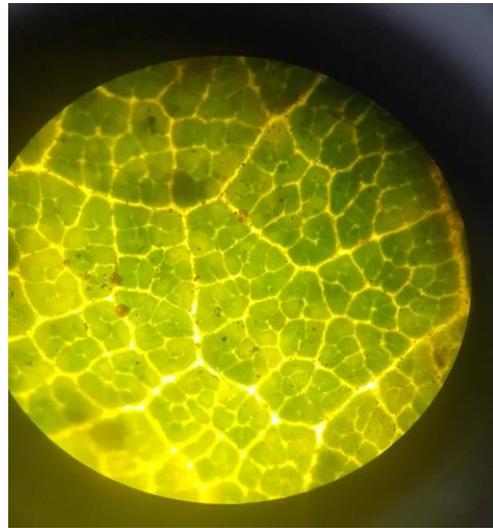
Observación con el microscopio óptico Olympus, con campo visual 4x para datos anatómicos

Anexo 4. Ilustración de las especies arbóreas a través del microscopio

***Schinus molle* L.**



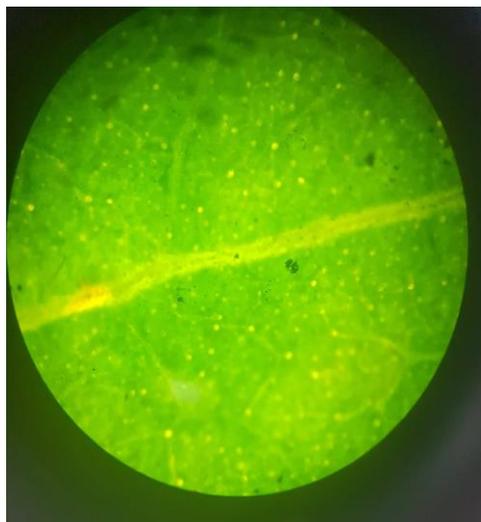
***Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth**



***Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze**



***Ficus benjamina* L.**



***Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br**



Anexo 5. Cálculo del área foliar de las especies arbóreas seleccionadas

***Schinus molle* L.**



***Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth**



***Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze**



***Ficus benamina* L.**



***Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br**



Anexo 6. Tabla de valores de la escala de Beaufort

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto del mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítrea, sin romper	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa Ligera)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy difícil, los vehículos se mueven por sí mismos.
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible caminar con normalidad. Se empiezan a dañar las construcciones. Arrastre de vehículos.
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones. Daños mayores en objetos a la intemperie.
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas. Voladura de personas y de otros muchos objetos.
12	+ 118	+64	Temporal huracanado (Huracán)	Olas excepcionalmente grandes, mar blanca, visibilidad nula	Voladura de vehículos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o tifón