



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Variación estacional de la deposición del material particulado, capturado en la flora urbana de la zona poniente de Morelia Michoacán

Tesis

que como requisito parcial para obtener el título profesional de

**MAESTRA EN GEOCIENCIAS Y
PLANIFICACION DE TERRITORIO**

Presenta

**Cynthia Guadalupe Huerta
Magaña**

Director (a) de tesis: Dra. Gabriela Domínguez Vázquez

Co-Director de tesis: Dr. Otoniel Buenrostro Delgado

Morelia Mich Agosto de 2020

Dedicada a mis padres y



abuelos

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer principalmente a las personas que me guiaron durante este largo proceso de aprendizaje y que han estado siempre en mi camino formativo de Bióloga y lo que hoy concluye como Maestra en Geociencias. A la Doctora Gabriela Domínguez Vázquez y a Dulce María Bocanegra Ramírez, dos mentoras y amigas, gracias por todo. Las amé!

A CONACYT y al Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra por otorgarme una beca la cual me sustentó los dos años que curse la maestría.

A mis maestros que estuvieron siempre en cada momento de risa, histeria, logro, regaño, pero sobre todo mucho aprendizaje. Al Dr. Otoniel, Dr. Arnulfo (chinito, Dra. Isabel, muchas gracias. Y sin duda a quien dejó una marca muy positiva en mi vida al Dr. Garduño, un abrazo hasta el cielo.

Quiero dar infinitas gracias a mis padres y a mi hermano que día a día son mi motor y los pilares de mi vida, y a mi persona especial que llegó desde el momento en que inicié este camino. Los amo demasiado.

A mis amigos, Geramael tu sabes lo que significas para mí, nunca te vayas porfa.

A Karina y Erandi que de lejos o muy cerca siempre están para mí, gracias amigas. Y a todas las personas que conocí en este proceso gracias por los momentos.

Y por último doy gracias a Dios por hacerme la mujer tan fuerte y decidida que soy, me agradezco a mí por confiar, por no rendirme por ser tan perseverante y por la esencia que me hace ser quien soy.

INDICE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
1.- INTRODUCCION.....	3
2.- MARCO TEORICO.....	5
2.1 Contaminación atmosférica.	5
2.2 Material particulado.....	5
2.3 Mecánica atmosférica y deposición del material particulado.	7
2.4 Efectos del material particulado en la salud y el ambiente.	9
2.5 Importancia de la flora urbana dentro de las ciudades.	11
2.6 Captura de material particulado y vegetación.....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
4. HIPOTESIS.	17
5. OBJETIVOS.	18
5.1 Objetivo general.....	18
5.2 Objetivos específicos.....	18
6. CARACTERIZACION DEL AREA.....	19
6.1 Localización.	19
6.2 Flora.....	21
7. MATERIALES Y METODOS.....	22
7.1 Selección de puntos de muestreo y especies a muestrear.	22
7.2 Muestreo.....	24
7.3 Análisis de laboratorio.....	25
7.4 Análisis estadísticos.....	27
8. RESULTADOS.	28
8.1 Composición de material particulado.	29
8.2 Distribución del material particulado a lo largo del año.....	31
8.3 Tamaño aerodinámico del material particulado.....	33
8.4 Acumulación de material particulado en las hojas de los árboles respecto a los sitios en los 4 muestreos.....	34
8.5 Análisis estadísticos.....	36
9. DISCUSION.....	41

10. CONCLUSIONES.....	46
11. RECOMENDACIONES.....	46
12. LITERATURA CITADA.....	47
Anexo 1.....	54
Anexo 2.....	55

1. RESUMEN.

La calidad del aire y los niveles de contaminación a los que se encuentra expuesta la ciudad de Morelia, Michoacán México, derivan de factores como: el cambio de uso de suelo, pérdida de áreas verdes urbanas e incremento de tráfico vehicular. El crecimiento poblacional y la urbanización acelerada tienen un énfasis en la zona poniente de la ciudad.

En este sentido se ha determinado que la vegetación es bioindicador de la calidad del aire en donde se encuentran y por ellos resultan eficaces para el biomonitoreo dentro de las zonas urbanas.

En este trabajo se realizó un análisis de la variación anual de la acumulación y composición del material particulado capturado en el follaje de la flora urbana de la zona poniente de Morelia.

La zona de estudio incluyó 11 sitios, en cada sitio se eligieron tres especies de plantas arbóreas y arbustivas, y en cada una se colectaron 10 gr de material foliar (hojas), a cada muestra se realizó un lavado para determinar la cantidad de polvo retenido así como la composición de material particulado.

Los resultados mostraron una deposición de hasta 24.30 gr/kg^{-1} en el mes de marzo y valores indetectables en el mes de agosto. El análisis de variación fue significativo ($F_{3,40} = 24.92 \text{ } P < 0.01$) en las estaciones de muestreo; entre sitios resultó no significativo ($F_{1-130} = 2.97 \text{ } P > 0.05$). La variación entre los muestreos se asocia principalmente a las condiciones de precipitación, humedad, temperatura y viento de cada estación. La composición de las muestras está constituida por materiales de origen litológico y de combustión (polvo y hollín) y se encuentra con mayor proporción las de tamaño menor a 20 micras.

Las especies que mostraron mayor capacidad de retención fueron *Pinus sp.* (0.05 gr), *Acacia sp.* (0.03 gr) y *Eucalipto globulus* (0.02 gr).

Palabras clave: Hojas, Material particulado, biomonitoreo.

2. ABSTRACT

Air quality and pollution levels to which the Morelia city exposed derived of factors like: land-use change, loss of green areas and increase in vehicular traffic. The western part the city has an accelerated growth and urbanization.

In the sense, the plants are witnesses or bioindicators of the quality of environment where they are. The plants are very effective for the biomonitoring inside of urban areas.

In this paper was performed an analysis of annual variation and composition of the particulate matter accumulated on the tree leaves in the western zone of Morelia. The study area are composed for eleven sites, three species was chosen in all sites, ten grams of leaves from arboreal and shrubs were collected and wash for determine the amount and composition of particulate matter.

The results show an accumulation of 24.30 gr/kg^{-1} in March, meanwhile in August the values were very low. The ANOVA show significant variation ($F_{3,40} = 24.92$ $P < 0.01$) when compared between samplings not between sites ($F_{1-130} = 2.97$ $P > 0.05$). The variation is associated mainly to environmental conditions in every sampling. The composition of the samples was made from lithological materials and combustion (dust and soot). The largest proportion of size is less than $20 \mu\text{m}$.

The species with most retention capacity were *Pinus* (0.05 gr), *Acacia* (0.03 gr) and *Eucalipto* (0.02 gr).

Keywords: Leaves, particulate matter, biomotoring.

1.- INTRODUCCION.

La contaminación atmosférica que altera las propiedades físicas y químicas del aire ha cobrado un papel importante por la afectación a la salud pública y el impacto a los ecosistemas, debido a la adición de sustancias a la atmosfera ya sean naturales o antrópicas

Uno de los principales factores de la contaminación atmosférica es el material particulado, el cual es una mezcla compuesta de suelo local y partículas provenientes de la combustión de vehículos, chimeneas y demás desechos tales como el hollín de diesel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos, también está compuesto de materiales biológicos como polen y esporas (Grantz *et al.* 2003; Jahall, 2015). La mayoría del material particulado se encuentra en un rango menor a 10 micras, aunque se puede encontrar con dimensiones mayores a 120 micras (Pérez *et al.*, 2010). El tamaño de las partículas se relaciona directamente con las afectaciones que ocasiona en el ser humano, esto debido a que las partículas menores a 10 micras son susceptibles a ingresar al sistema circulatorio y albergarse en órganos y tejidos ocasionando diversos padecimientos, las consecuencias y afectaciones dependerán de la cantidad, exposición, origen y tamaño, al cual la población se encuentre expuesta. (Aguilar-Reyes *et al.*, 2011). El material particulado puede contener en su estructura metales como cadmio, plomo, vanadio, hierro, litio, zinc o manganeso (Delgado *et al.*, 2018; Palacios-Ramírez *et al.*, 2018). Los cuales han sido asociados a neoplasias.

Se estima que para el año 2050 el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a partículas contaminantes suspendidas, aumentara más del doble y alcanzará 3.6 millones cada año en el mundo (OCDE, 2012). La Organización Mundial de la Salud ha declarado que la mala calidad del aire, es una de las principales causas de muertes en todo el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2008).

Las zonas urbanas son altamente vulnerables ya que la demanda de servicios es mayor y da como resultado diversas fuentes emisoras de material particulado.

Dentro de las ciudades el origen de material particulado principalmente es de origen antropogénico, derivado de procesos industriales y transporte (Martínez-Hernández, 2017).

Morelia Michoacán experimenta un crecimiento poblacional y urbanización acelerada, con un énfasis importante en la zona poniente de la ciudad. El cambio de uso de suelo y la pérdida de áreas verdes urbanas incrementa el deterioro ambiental al que está sometida la población. Es por ello que el monitoreo de la calidad del aire cobra un sentido importante dentro de las zonas urbanas.

Dentro del monitoreo ha surgido una herramienta para caracterizar la calidad del aire llamado biomonitoreo, en donde los organismos son testigos presenciales de la calidad del ambiente en el que se encuentran. En este caso las hojas de las plantas tendrán la función de trampas captadoras de material particulado, y así poder hacer una caracterización del material aerobiológico presente en la zona de estudio. Todo esto con la finalidad de conocer la composición y tamaño de partículas presentes en los sitios y poder observar si existe una variación a lo largo del año.

Las áreas cubiertas de vegetación, son un importante amortiguador para la contaminación, al retener en sus estructuras gases o polvos dispersos en el ambiente. Las hojas de los árboles son un importante captador de polvo atmosférico. Asimismo representa un potencial para determinar elementos técnicos que contribuyan en la restauración del medio ambiente dentro de las zonas urbanas (Alcalá *et al*, 2008).

2.- MARCO TEORICO.

2.1 Contaminación atmosférica.

Los niveles de contaminación dentro de las ciudades reflejan el desarrollo e incremento desmedido de las acciones antrópicas como el cambio de uso de suelo el incremento de la mancha urbana, incremento de industria y tráfico vehicular son algunas de las acciones que repercuten directa o indirectamente en el entorno y causan daños irreversibles en sus habitantes.

La contaminación puede afectar al suelo, al agua o al aire, constituyendo un riesgo ambiental para la salud. Definimos como contaminación atmosférica a la adición de cualquier sustancia que altere las propiedades físicas y químicas del aire por causas naturales o antrópicas (Arrieta-Fuentes, 2016). Se estima que la contaminación atmosférica causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo. La principal causa de la mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas (<2.5 micras), las cuales causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (Organización Mundial de la Salud, 2013).

2.2 Material particulado.

El material particulado se considera un aspecto importante para definir la calidad del aire en un sitio determinado. Dentro de la contaminación atmosférica, ha sido objeto de investigación en temas de calidad de aire en Estados Unidos, con el fin de establecer los niveles que sean perjudiciales para la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población (INECC, 2013).

El material particulado está constituido por partículas de diferente tamaño, composición y origen (Martínez-Hernández, 2017). El diámetro aerodinámico se utiliza para clasificar al material particulado y se define como “Una esfera de

densidad unitaria con las mismas propiedades aerodinámicas” lo que significa que cualquier forma o densidad tendrán el mismo diámetro aerodinámico si su velocidad de sedimentación es la misma (Sinchi-Chaca, 2019).

La NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014; EPA-2018). Clasifica el tamaño de las partículas de acuerdo al diámetro aerodinámico y las clasifica en, menores o iguales a 10 micras (PM10), en menores o iguales a 2.5 micras (PM25) y menores o iguales a 0.1 micras (fracción ultrafina), a las partículas mayores a 10 micras se les denomina partículas suspendidas totales

La composición del material particulado está compuesta por fragmentos de minerales, cenizas, hollín, residuos de combustión de carbón, desechos orgánicos, granos de polen, esporas, microplásticos, aerosoles de aceite, materiales sintéticos etc., y su composición va a depender de la fuente emisora (Grantz *et al.*, 2003; Arrieta-fuentes, 2016).

El origen del material particulado puede ser natural o antropogénico. Las partículas de origen natural provienen de fuentes litogénicas ó biológicas, por ejemplo: erosión de suelo, erupciones volcánicas, cenizas de incendios, polen y esporas. Las de origen antropogénico provienen de procesos industriales, transporte, construcción y residuos domiciliarios (Canales-Rodríguez, 2014). Estudios realizados por el servicio Geológico de Denver Colorado, reconocen que la mayoría de las partículas que se encuentran dispersas en el ambiente son de origen antropogénico, los resultados mostraron que en el 90% de las muestras de agua de lluvia, contenían microfibras de plástico (Wetherbee *et al.*, 2019). En ambientes urbanos las emisiones de vehículos son la fuente principal de partículas finas y ultrafinas (Sinchi-Chaca, 2019).

2.3 Mecánica atmosférica y deposición del material particulado.

Después de la emisión a la atmosfera, las partículas son removidas a la superficie de la tierra por un proceso llamado deposición atmosférica que se define como “La masa total de contaminante transferida desde la atmosfera a la superficie en un área y periodo determinado” (Jomolca-Parra *et al*, 2013; Arrieta-Fuentes 2016). La deposición va a depender del tamaño, peso y forma de la partícula, así como de las condiciones meteorológicas por ejemplo, la velocidad del viento, humedad y precipitación (Martínez-Hernández, 2017). La deposición también va a depender de factores como la adhesividad y rugosidad de la superficie de contacto en este caso el de las hojas o follaje de las plantas (Janhall, 2015). Las dos principales vías de deposición son: la deposición seca y la deposición húmeda, cada una con características diferentes.

La deposición húmeda o también llamada deposición oculta, las partículas son capturadas por la lluvia, nieve o neblina y arrastradas al suelo o interceptadas por otras superficies como las plantas (Grantz *et a.*, 2003; Tiwary & Colls, 2010; Martinez-Hernandez 2017). Las concentraciones de estas partículas serán mayores al inicio del fenómeno y menores al término de este (Sinchi-Chaca, 2019). Asimismo la humedad relativa también afecta la velocidad de deposición, debido a que incrementa el crecimiento higroscópico y por consecuente encontramos partículas de mayor tamaño, que debido a su peso se depositan a una velocidad mayor que las partículas pequeñas (Martínez-Hernández, 2017).

La deposición seca está influenciada por el movimiento de las partículas y la capacidad de las superficies de contacto para retenerlas. Las superficies más comunes son las plantas, los cuerpos de agua, edificios, suelo y seres humanos. Aunque la velocidad de deposición es más lenta que la deposición húmeda afecta continuamente a todas las superficies expuestas (Martínez-Hernández, 2017; Sinchi-Chaca, 2014; Grantz *et al*, 2003; Tiwary & Colls, 2010).

Existen diferentes mecanismos de deposición seca como la sedimentación en la que las partículas caen por fuerza de gravedad (principalmente partículas $>10 \mu$). La impactación inercial cuando el flujo de partículas es retenido por un obstáculo. La intercepción cuando la partícula es retenida en el borde del obstáculo y la difusión browniana en la cual existe un gradiente de concentración que induce un flujo de masa a alguna superficie (Martínez-Hernández, 2017). Las partículas sedimentables mayores a 10 micras, tienen una vida media en la atmosfera de minutos y un transporte muy corto (varios metros), a diferencia de las partículas finas las cuales tienen una vida media de meses y alcanzan distancias largas (varios kilómetros) (Palacios, 2014).

Los factores meteorológicos también influyen en la dinámica de las partículas, entre los que podemos destacar: la temperatura, velocidad del viento, precipitación y la temporada del año.

Las temperaturas bajas ayudan a la mejora de la calidad del aire, debido a que los contaminantes pueden disminuir, esto principalmente ocurre en los gases y en partículas de fracción respirable. La relación de la temperatura con la contaminación se deriva de la termoforesis, la cual está relacionada con el movimiento de las partículas en un gradiente térmico desde una temperatura alta hacia una temperatura baja. En una inversión térmica ocurre lo contrario las partículas son desplazadas de una temperatura baja hacia una alta este proceso solo ocurre en una parte del gradiente, por lo cual las partículas quedan atrapadas en dos densas masas de aire frío, debido a esto las partículas aumentan su tiempo de residencia y por lo tanto la posibilidad de ser depositadas. (Tiwary & Colls, 2010; Ruiz, 2014; Janhall, 2015; Martínez-Hernández, 2017).

En cuanto al viento, la dirección podría explicar el origen del material particulado o la fuente de emisión y de igual manera el territorio que podría estar expuesto. La velocidad del viento influye de manera directa en el tiempo de residencia en la atmósfera (Martínez-Hernández, 2017).

Respecto a la temporada, cada estación del año tiene características climatológicas particulares esto depende del lugar y región pero en el climas

cálidos templados las variaciones climatológicas son muy perceptibles, la precipitación, la temperatura, la velocidad del viento son algunas de ellas.

2.4 Efectos del material particulado en la salud y el ambiente.

Las infecciones respiratorias agudas están asociadas principalmente a la exposición de partículas contaminantes menores a 10μ (Barrios *et al*, 2004). Estas partículas de fracción respirable tienen un tamaño menor a 10 micras, las cuales traspasan los tejidos de nariz y garganta y pueden penetrar hasta los bronquiolos y alveolos pulmonares. Además existe una reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma y bronquitis crónica; muerte prematura, catarro y exacerbación de asma, entre otros (Riojas & Zúñiga-Vello, 2017). Además, algunos estudios apoyan la hipótesis de una relación entre la exposición a material particulado y la aterosclerosis sistémica debido a que existe un daño directo al endotelio como se muestra en la figura 1 (Sandoval *et al*, 2019).

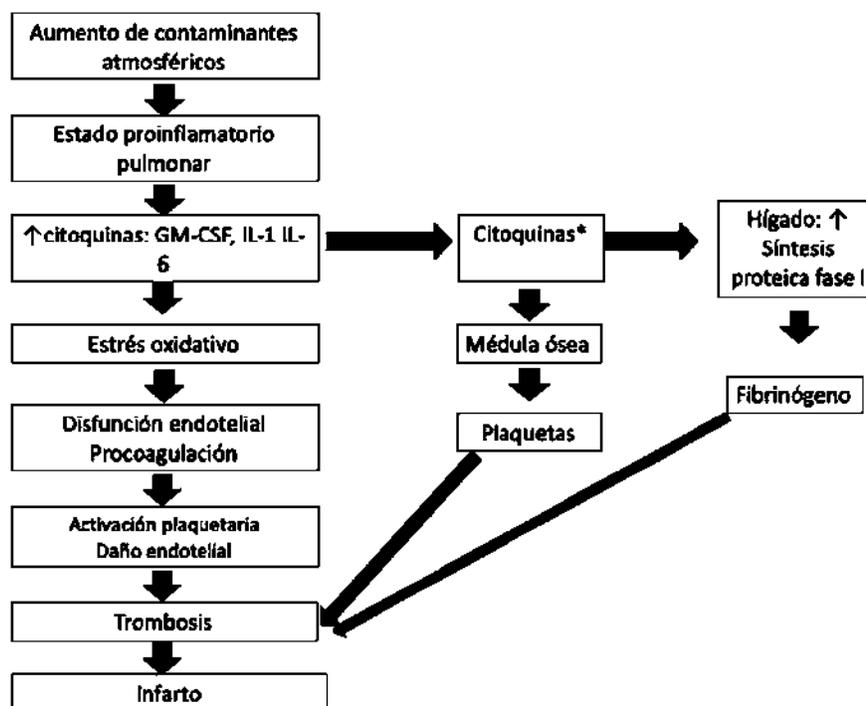


Figura 1. Mecanismos de alteraciones de los sistemas respiratorio y cardiovascular por material particulado (Fuente: Sandoval *et al*, 2019).

Las partículas de tamaño superior a 10 micras, son generalmente atrapadas por vellos nasales, sin embargo estas pueden causar cuadros alérgicos o bien pueden acceder por vía ocular y causar conjuntivitis e irritación (Tiwarly & Colls, 2010).

La contaminación por material particulado es uno de los factores de riesgo importantes en México, causando alrededor de 20,500 muertes al año (figura 1) la agencia internacional para el cáncer destaca que el material particulado puede contener en su estructura materiales pesados como plomo y cadmio, los cuales son clasificados como cancerígenos (Palacios-Ramírez *et al*, 2018).

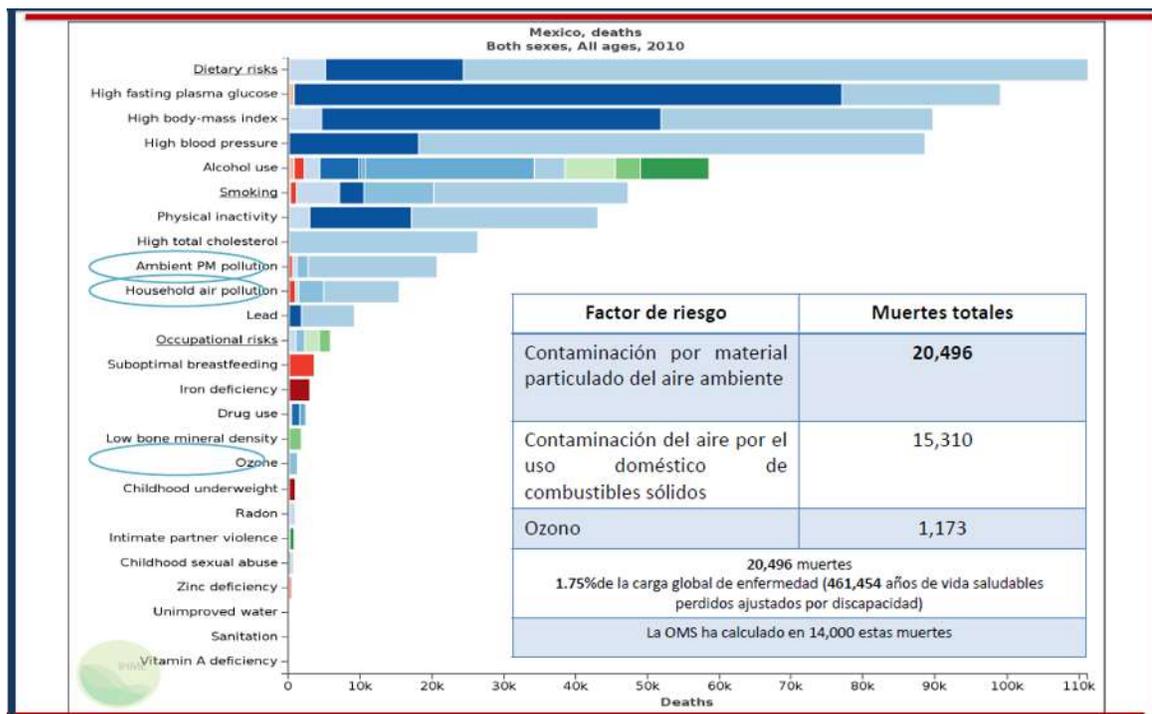


Figura 2. Factores de riesgo de muerte en México (Imagen tomada de Palacios-Ramírez *et al*, 2018).

El material particulado del aire, se puede encontrar en un rango de 1 a 100 micras (Pérez *et al*, 2010), el cual puede generar también efectos ambientales, sobre todo en las plantas, ya que debido a la acumulación de material particulado en la hojas, éstas no son expuestas a radiación solar lo que puede afectar de manera directa en la fotosíntesis, afectando el intercambio gaseoso por la obstrucción de los

estomas y lenticelas (Grantz *et al.*, 2003). Aunque algunas plantas poseen la capacidad de adaptarse a altos niveles de contaminación, algunas suelen reaccionar cuando la exposición a estas partículas sobrepasa sus límites de tolerancia.

2.5 Importancia de la flora urbana dentro de las ciudades.

Para saber la importancia de la flora urbana primero se debe definir que es un área verde. Existen diferentes definiciones de área verde y básicamente se define como “toda superficie cubierta de vegetación natural o inducida” (Ley Ambiental Del Distrito Federal, 2004). Dentro de las ciudades o zonas urbanas, se definen como “Espacio abierto jardinado de carácter público, en donde se realizan actividades recreativas y culturales cuyo objetivo es elevar la calidad de vida de los habitantes del asentamiento humano en que se ubica” (Ley de Salvaguarda del Patrimonio Urbanístico Arquitectónico del Distrito Federal, 2000).

La flora urbana no solamente tiene un valor ornamental, además tiene la función de reducir el deterioro ambiental, captar y almacenar agua, estabilizar el suelo y es un excelente regulador del intercambio de calor, humedad y aire con el entorno urbano (Sorensen *et al.*, 1998; Lopera, 2005;). Aunado a esto las áreas verdes tiene efectos terapéuticos como la disminución de la fatiga entre muchas otras afecciones (Organización Mundial de la salud).

2.6 Captura de material particulado y vegetación.

La vegetación es un potencial bioindicador y un elemento viable para evaluar la contaminación ambiental dentro de las zonas urbanas (Alcalá *et al.*, 2011). La vegetación nos brinda un servicio ecosistémico de regulación, debido a que influye directamente en la mejora de la calidad de aire dentro de una ciudad (Martínez-Hernández, 2017).

Actualmente ha surgido el uso de bioindicadores, los cuales son organismos o comunidades ecológicas que responden a la contaminación ambiental, ya sea

mediante alteraciones en su fisiología o en su capacidad para almacenar contaminantes (Pignata, 2003). El comportamiento de los bioindicadores muestra la relación lineal en términos dosis-respuesta ya sea con la concentración de un contaminante en el aire, con la combinación de ellos o con el tipo de exposición (Pignata, 2003).

Las plantas pueden funcionar como barreras naturales de retención de material aerobiológico particulado, la retención ocurre en todas las estructuras de la planta, como tallos, ramas, corteza. Sin embargo las hojas al ser una estructura mayormente expuesta y la cual ocupa un área de mayor extensión, son un fuerte biorremediador dentro de las ciudades (Martínez-Hernández, 2017). Las hojas actúan como filtros de retención de partículas, gases y aerosoles (Sinch-Chaca, 2019). La captura ocurre mediante procesos de deposición en donde el follaje forma una superficie de contacto importante.

La capacidad de retención de partículas por los árboles, se encuentra en función de factores como: la filotaxia, características epidérmicas y cuticulares, altura de dosel y la estacionalidad del follaje (caducifolias-perennifolias). En este sentido la vegetación puede modificar la dirección, velocidad y carga con las cuales son transportados los contaminantes (Martínez-Hernández, 2017).

Las partículas de mayor tamaño ($>10 \mu$) suelen depositarse en la superficie de las hojas, mientras que las partículas pequeñas pueden entrar al interior de la hoja. Sin embargo en condiciones de precipitación y viento, puede ocurrir la resuspensión de las partículas debido a una acción de rebote (Petroff *et al*, 2008).

Uno de los métodos más utilizados para cuantificar la deposición de material particulado en las hojas, es el método gravimétrico, el cual consiste en lavar las hojas con un solvente, el líquido procedente es filtrado y su residuo pesado. Este método generalmente es usado para saber la capacidad de retención entre distintas especies (Yan *et al*, 2016).

Existen antecedentes de trabajos donde se ha realizado biomonitoreo con diferentes especies de plantas, en este caso los frutos o las hojas fungen la labor de trampas para polvo disperso en la atmosfera.

Algunos ejemplos de trabajos donde se han utilizado a las plantas como elementos de captura del material particulado pueden observarse en Pinto (2000), donde realiza un biomonitoreo pasivo para evaluar la emisión de material particulado, a través de la deposición de polvo en hojas de *Acacia melanoxylon* como árbol ornamental y *Hedera hélix* y posteriormente en el 2004, Garret realizó un estudio para determinar la acumulación de metales pesados en hojas de *Populus balsamifera*. En ambos estudios se observó una carencia de áreas verdes dentro de las ciudades que ocasionaban la existencia de una distribución heterogénea de especies arbóreas. Aunque la mayor parte de los estudios enfocados a la flora urbana han sido realizados para determinar metales pesados (Alcalá et al, 2008; Moreno et al., 2008), algunos estudios como el de Duran-Rivera et al. (2009), reportaron que la especie *Syzygium malaccense* y *Lagerstroemia speciosa* son muy eficientes para retener partículas suspendidas en el aire, con una intercepción de 658 kg/año.

Alcalá y colaboradores en el 2011 realizan el trabajo titulado “Mitigación y efectos de polvo atmosférico a través de *Prosopis laevigata* (mezquite) y *Schinus molle* (pirul), en San Luis Potosí, México” en el cual se observó que el sitio con mayor efecto fue la zona de comercio y servicio con una media de $0,1196 \pm 0,016$ (g/kg de materia seca). La temporada con más captura fue la primavera 2010 con una media de $0,138 \pm 0,014$ (g/kg) de materia seca. Respecto a la especie con mejores resultados fue *Prosopis laevigata* (mezquite) con una media de $0,097 \pm 0,010$ (g/ kg de materia seca).

Martínez-Hernández (2017), cuantificó de material particulado depositado en hojas de seis especies arbóreas en el Municipio de Toluca. Las especies seleccionadas fueron *Fraxinus uhdei* (fresno), *Ligustrum lucidum* (trueno), *Liquidambar styraciflua* (liquidámbar) y de la familia *Cupressaceae* (ciprés, enebro y tulia). Se obtuvo un

deposito superior a los 10 g kg^{-1} en arboles de la familia *Cupressaceae* e inferior a los 5 g kg^{-1} en el *liquidámbar styraciflua*. Para el caso de fresno y trueno, en la mayoría de los ejemplares se encontraron valores inferiores a los 10 g kg^{-1} .

Posteriormente en el 2016, en la ciudad de Santiago de Chile, investigadores han demostrado que el material particulado contiene óxidos metálicos y partículas magnéticas las cuales se emiten principalmente de tubos de escape de vehículos. La presencia de minerales ferromagnéticos y de determinada concentración en el suelo está relacionada con procesos de contaminación (Bautista *et al.*, 2014).

En la ciudad de Morelia en el 2018, Delgado y colaboradores evaluaron la presencia de elementos potencialmente tóxicos en el polvo de suelo urbano por medio de espectrometría de plasma acoplado inductivamente. El polvo se colectó del suelo superficial que se encontraba bajo arboles maduros, los resultados mostraron que el Fe, Mn, Li, Zn y KO tienen valores de $R2 > 0.8$ y las zonas con mayor probabilidad de rebasar las normas ambientales son el centro y el este de la ciudad, principalmente por Fe, Pb, y V siendo estos los sitios de la ciudad con mayor contaminación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La zona Poniente del municipio de Morelia Michoacán presenta una urbanización acelerada que ha generado una problemática en la funcionalidad urbana y ambiental.

Esta zona ha pasado de ser una zona completamente rural con actividades principalmente agropecuarias, a ser una zona semiurbana, en la cual las tierras de tipo agrícola, ejidales, bosques y acuíferos han sido sustituidas por grandes asentamientos humanos, lo que ha generado impacto vial, en donde el tráfico de vehículos es cada vez mayor. En esta zona, se localiza el sitio de disposición final de residuos sólidos, el cual enfrenta problemáticas de incumplimiento de la norma 083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) de regulación y manejo, que ocasiona el escape de humos, gases, partículas y lixiviados. Por consiguiente la población está constantemente expuesta a contaminantes dispersos en el aire.

Existen dos fuentes principales de contaminación en el área: las móviles que incluyen todo el tráfico vehicular, que generan tanto gases de efecto invernadero, como partículas de hollín. Y las fuentes fijas, que incluyen emisiones de procesos industriales, emisiones de partículas producidas por la cobertura inadecuada de las celdas de los residuos sólidos confinados en el sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos (relleno sanitario) y bancos de arenas y gravas. Como es el caso del antiguo tiradero de Morelia y actual relleno sanitario que se encuentra a menos de un centenar de metros uno de otro (Israde, comunicación personal, agosto 2020.)

Además de que dentro de esta zona se encuentra la papelera antes CEPAMISA que si bien no existen evidencias de que rebase los niveles permisibles de contaminantes atmosféricos, la descarga continua de desechos contaminantes a cuerpos de agua es una problemática que ha venido afectando a esta zona de Morelia.

La zona poniente de la ciudad de Morelia, no cuenta con una estación de monitoreo del aire, es por ello que no existe ninguna información sobre la calidad del aire, ni sobre el número de partículas suspendidas en el área.

Ante la carencia de estaciones de monitoreo, la estrategia de utilizar a la vegetación como un bioindicador de la calidad del aire dentro de zonas urbanas, resulta una opción factible. Porque, considera a la flora urbana como una barrera de contención y retención de contaminantes, polvo y material aerobiológico. La capacidad de la vegetación de capturar partículas y contaminantes aumenta la importancia de priorizar el arbolado urbano con especies adecuadas dentro de las áreas verdes que ayuden a mitigar los efectos de la contaminación ambiental y los alérgicos aéreos.

4. HIPOTESIS.

El material particulado que se encuentra disperso en el ambiente de la ciudad de Morelia, cambia en su composición, cantidad y tamaño a lo largo del año en este caso las hojas de los arboles fungen como captadoras de material particulado disperso en el aire.

5. OBJETIVOS.

5.1 Objetivo general.

Realizar un análisis de la variación anual en la acumulación y composición del material particulado capturado en el follaje de la flora urbana de la zona poniente de Morelia Michoacán.

5.2 Objetivos específicos.

- Cuantificar la cantidad de material particulado retenido en las hojas de diferentes especies de árboles presentes en la zona poniente de Morelia Michoacán.
- Determinar la dominancia del tamaño de las partículas presentes en el follaje de la flora urbana de la zona Poniente de Morelia Michoacán.
- Realizar una caracterización del material particulado de la zona Poniente de Morelia Michoacán.

6. CARACTERIZACION DEL AREA.

6.1 Localización.

La zona Poniente de Morelia Michoacán está integrada por un polígono delimitado de la siguiente forma, al norte las faldas del cerro del Quinceo, al oriente el libramiento oriente de Morelia, al sur el manantial de la Mintzita y el ejido de San Nicolás Obispo y al poniente la carretera a Quiroga, el camino hacia la tenencia de Teremendo y Cuto de la Esperanza (PPDUZPM, 2012).

Se localiza en una provincia llamada de la Faja Volcánica Transmexicana (98.40%) y Sierra Madre del Sur (1.60%), dentro de la antiguamente denominada subprovincia Neovolcánica Tarasca o Meseta Tarasca (50.68%) (INEGI, 2009). Principalmente se conforma de rocas ígneas extrusivas conformadas por basaltos (50.04%), andesitas y brechas volcánicas también de composición intermedia (14.61%), tobas de composición ácida (10.55%), dacitas y brechas volcánicas de afinidad ácida (6.06%), dacitas (1.14%), brechas volcánicas de composición básica (0.77%), riolitas (0.38%), andesitas (0.24%), tobas básicas (0.18%) así como tobas y brechas volcánicas de composición intermedia (0.13%). Y un pequeño porcentaje de rocas sedimentarias formadas por conglomerados (0.29%) así como de suelos aluviales (5.16%) y depósitos lacustres (0.22%). El suelo está conformado principalmente por: Luvisoles (50.59%), Andosoles (13.22%), Vertisoles (9.57%), Leptosoles (9.27%), Phaeozems (6.24%), Planosoles (0.75%) y Regosoles (0.14%).

Se ubica en la región hidrográfica número 12, conocida como Lerma-Santiago, particularmente en el Distrito de Riego Morelia-Queréndaro, su presa más importante es la de Cointzio, aunque cuenta con otras menores como las de Umécuaro, Laja Caliente y La Mintzita (INAFED).

El clima de Morelia se clasifica como cálido y templado. Con un régimen de lluvias en verano (Junio, Julio, agosto) el mes de marzo es el mes con menor precipitación y la mayor cantidad de lluvia ocurre durante los meses de julio y agosto. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Cwb (Templado de montaña con invierno seco). La temperatura media anual es 17.7 ° C en Morelia y la precipitación es de 786 mm promedio al año.

CLIMOGRAMA DE MORELIA

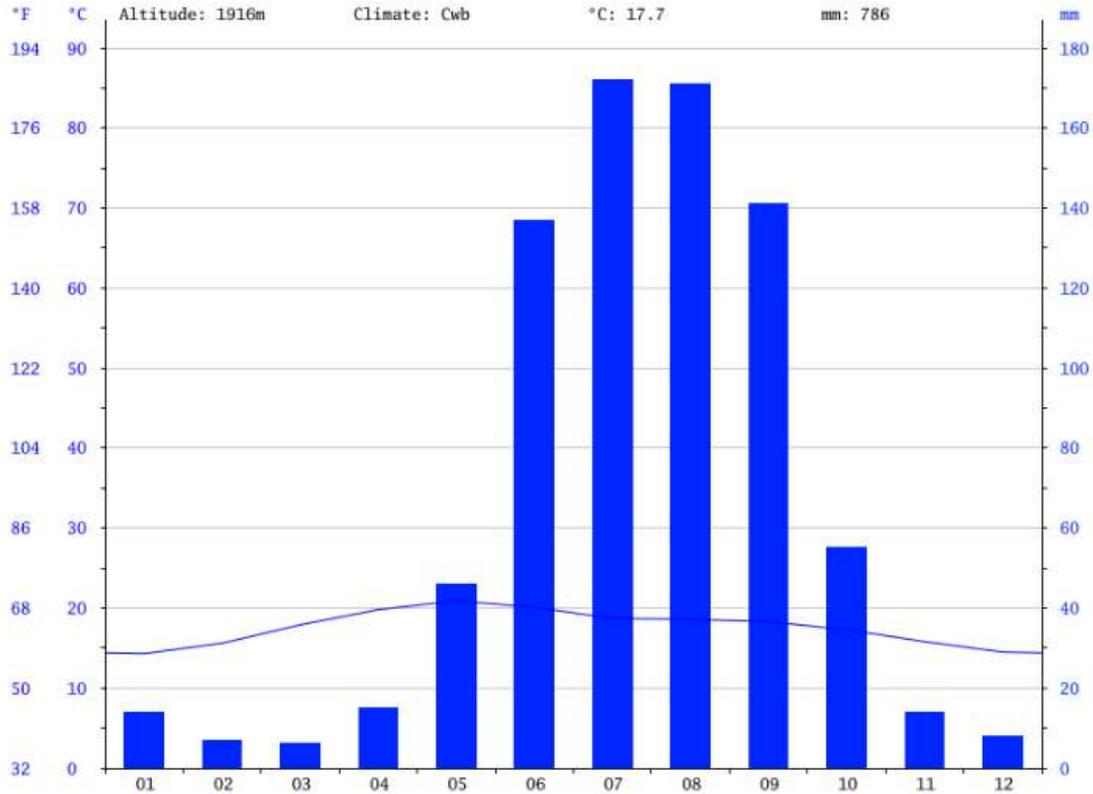


Figura 3. (Fuente: Climate-data.org)

Los vientos dominantes provienen del suroeste y del noroeste, con variables en julio, agosto y octubre, con intensidad de 2 a 14.5 Km/h.

La velocidad media y la ráfaga de vientos máxima se muestran en la siguiente tabla 1, así como la temperatura media durante los meses de muestreo (Meteored.com).

Tabla 1. Meses de muestreo y algunas características climáticas.

Meses de muestreo	T° media	V. media viento	Rachas máximas de viento
Agosto 2018	18°C	4.2 km/h	37 km/h
Diciembre 2018	12°C	4.2 km/h	-----
Marzo 2019	19°C	6.2 km/h	37 km/h
Junio 2019	20°C	6.9 km/h	64.8 km/h

6.2 Flora.

La distribución de la vegetación se encuentra claramente diferenciada, de acuerdo con la altitud y a los tipos de clima y de suelo. Se registran en total 67 especies, de las cuales 35 son introducidas y 32 corresponden a especies nativas de México, la mayoría corresponden al grupo de las Angiospermas. (Madrigal-Sánchez & Gómez-Peralta, 2007).

Las especies nativas para la zona de Morelia son las siguientes: *Acacia farnesiana*, *Acacia schaffneri*, *Acnistus arborescens*, *Albizia plurijuga*, *Bursera fagaroides*, *Celtis caudata*, *Casimiroa edulis*, *Condalia velutina*, *Ehretia latifolia*, *Erythrinacoralloides*, *Ipomoea murucoides*, *Yucca filifera* del Matorral subtropical; *Pithecellobium dulce*, *Prosopis laevigata* del Mezquital; *Bocconia arborea*, *Prunus capuli*, *Psidium guajava* del Bosque de Pino-encino; *Cupressus lindleyi* del Bosque de cedro; *Fraxinus uhdei* del Bosque mesófilo de montaña; *Salix bonplandiana* y *Taxodium mucronatum* del Bosque de galería. Dentro de la zona Poniente de Michoacán se registra el mayor número de especies nativas. (Madrigal-Sánchez & Gómez-Peralta, 2007).

7. MATERIALES Y METODOS.

7.1 Selección de puntos de muestreo y especies a muestrear.

Previo al inicio del muestreo, se realizó una salida de reconocimiento para identificar las especies disponibles y de esta manera poder definir las especies a utilizar. Los sitios de muestreo se eligieron tomando en cuenta el grado de urbanización de los lugares por lo que se eligieron divididas en zonas altamente urbanas, semiurbanas y rurales.

Zonas urbanas: Son zonas altamente pobladas al margen de grandes vialidades como son: Lomas del Mayoral, Villa Magna, La Maestranza y un sitio ubicado sobre la carretera Morelia-Quiroga (INEGI).

Zona semiurbana: Comunidades rurales dentro de Morelia que aunque cuentan con urbanización no se encuentran al margen de vialidades densamente transitadas, como son: Tacicuaro, San Nicolás Obispo y Cuto de la Esperanza (INEGI)

Zonas rurales: son zonas con escasa densidad poblacional (menos de 2500 habitantes) sobre caminos secundarios como son: La comunidad de Joyitas, Cerritos, El relleno sanitario y un sitio ubicado en la carretera Morelia-Teremendo cerca de la compañía global gas (INEGI)

Así mismo se tomaron en cuenta los criterios de accesibilidad de cada uno, además de que permitiera su monitoreo a lo largo del año. .

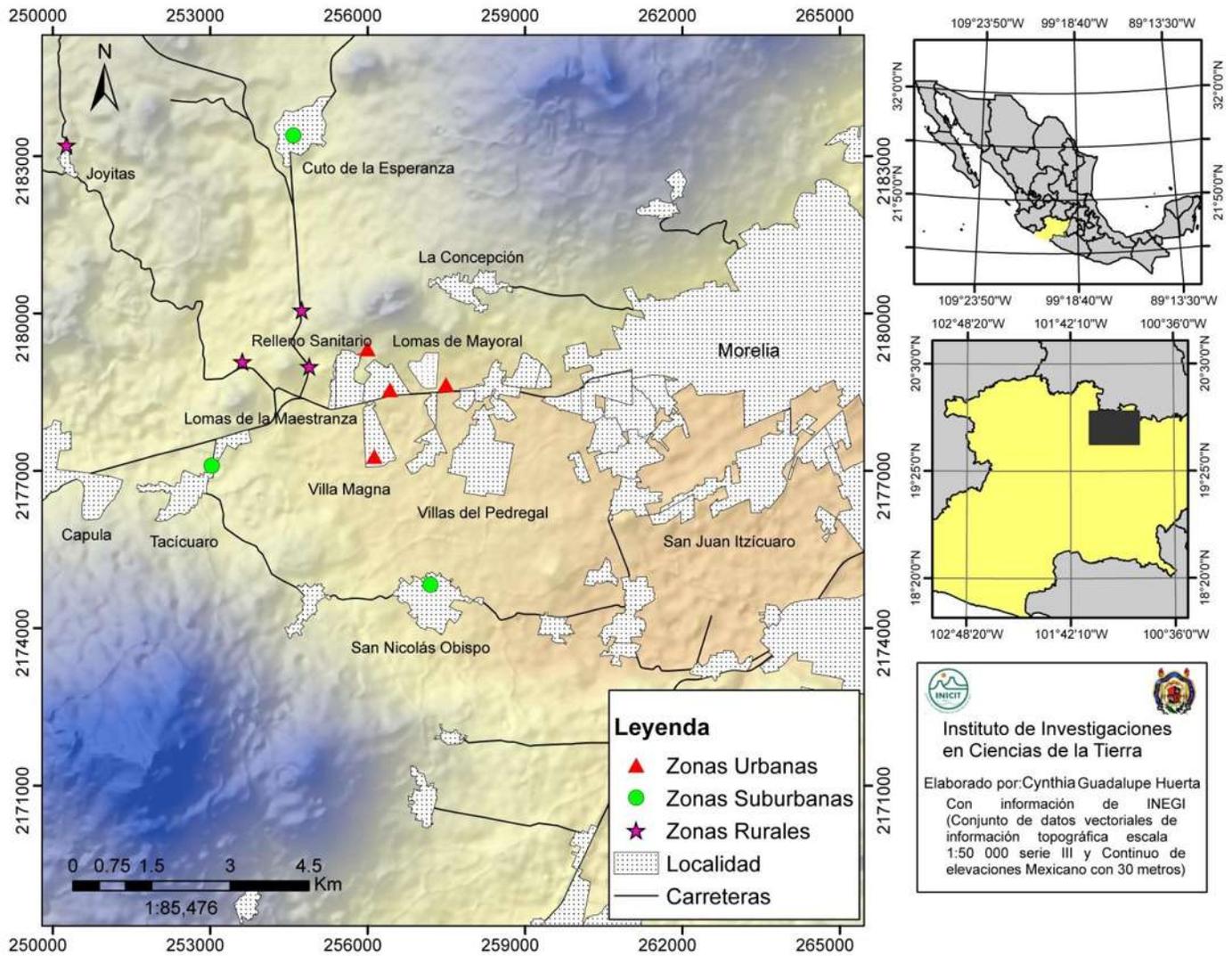


Figura 4. Mapa de localización de los puntos donde se colectaron las muestras foliares

7.2 Muestreo.

Se realizaron salidas a campo cada tres meses durante un año. En cada sitio se colectaron 10 g. de material foliar (hojas) de tres especies de árboles diferentes. Para minimizar es sesgo de error ya que son especies diferentes, se tomó la misma cantidad (10 gr).

Cada muestra se colectó manualmente o con la ayuda de una garrocha podadora a una altura de 1 a 2 m de alto, tratando de reconocer y colectar las hojas que estaban más expuestas al exterior. Las hojas se colocaron en bolsas herméticas, cuidando de no soltar el polvo impregnado, para posteriormente ser transportadas al laboratorio.



Figura 5. Colecta de muestras y transporte en bolsas herméticas.

7.3 Análisis de laboratorio.

Se utilizó la técnica propuesta por Dzierzanowski *et al* (2011) la cual consiste en un método estándar para el lavado de las hojas con algún solvente en este caso el agua destilada cumple esa función. Los 10 gr. de hojas se colocaron en vasos de precipitados para su lavado.

El lavado se realizó con 20 ml de agua destilada, tratando de desprender por medio de agitación manual todo el material impregnado a la hoja.



Figura 6. Peso de muestra (10 gr. Material foliar



Figura 7. Lavado de muestras con agua destilada.

El agua de lavado se colocó en tubos de plástico de 50 ml, para centrifugar a 3000 r.p.m. durante 5 min. Posteriormente se decantó, para tratar de dejar una muestra pequeña, en la cual se concentró el sedimento obtenido en el lavado.



Figura 8. Agua de lavado.

Con la ayuda de un microscopio, se analizó una gota (0.1 ml) en la cual se realizó un conteo de partículas en rangos de diámetro aerodinámico de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 80-100, >120 micras, para obtener el porcentaje de cada rango. De la misma manera se hizo una identificación de la composición y contenido de cada gota, para diferenciar los posibles elementos que constituyen el material particulado capturado en las hojas.

De la muestra restante de agua se traspasó del tubo hacia una caja de Petri de plástico la cual estaba previamente pesada en una balanza analítica. Las cajas de Petri parcialmente cerradas, se colocaron en una secadora de cristal la cual se dejó expuesta a la luz solar el tiempo necesario para que por efecto de evaporación se redujera toda la humedad de la muestra. De esta manera que al finalizar el proceso se volvió a pesar la caja de Petri para sacar el peso seco de cada muestra, por medio de una diferencia de pesos.

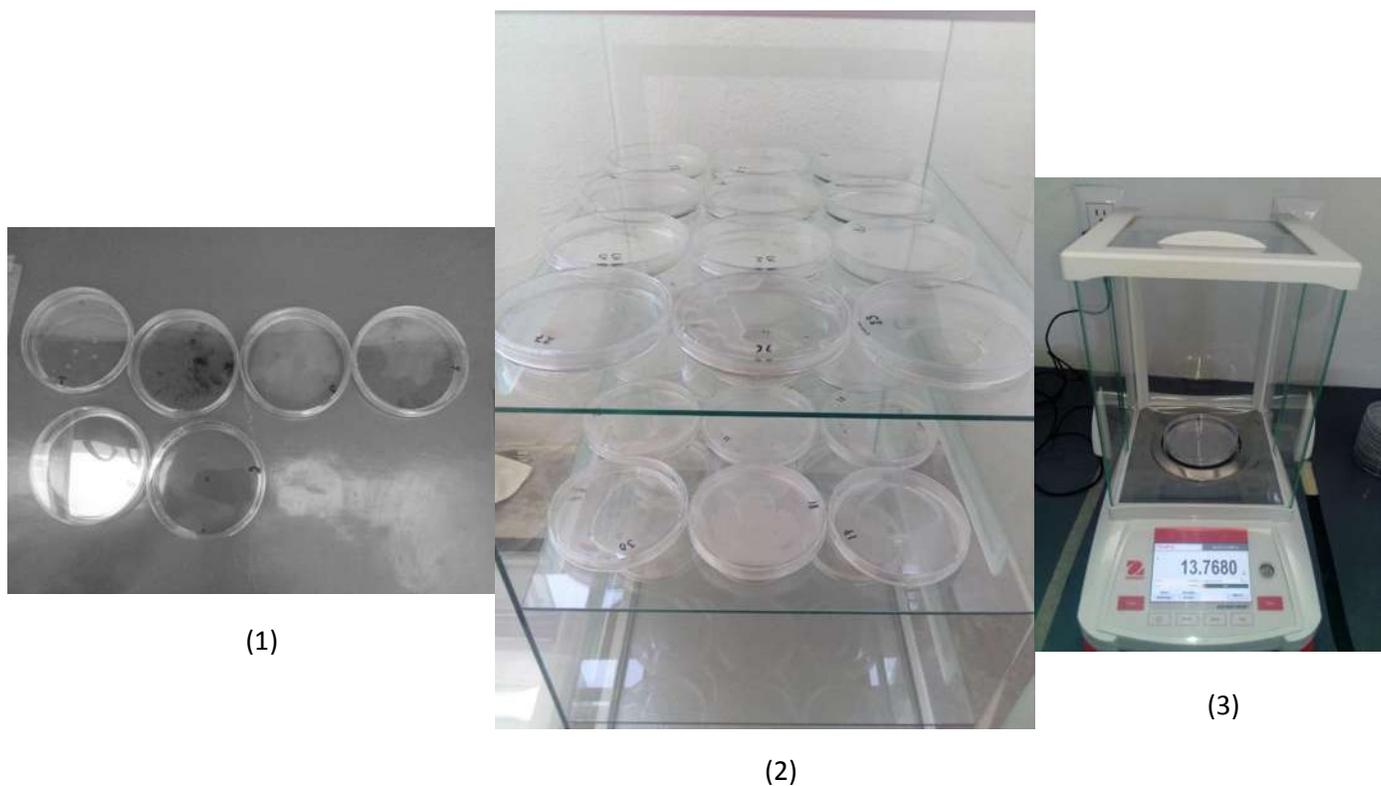


Figura 9. (1) Agua de lavado en cajas de Petri; (2) cajas de Petri en desecadora para el proceso de evaporación de agua; (3) balanza analítica para medir el peso seco de MP en cada muestra.

7.4 Análisis estadísticos.

Los datos se analizaron con los softwares, RStatistics 3.6.1 y Past. Se realizó la estadística descriptiva para la exploración de datos y posteriormente algunas pruebas de normalidad como Shapiro-Wilk.

Para demostrar la significancia de los datos se realizaron pruebas de varianza como ANOVA y la prueba pareada de Tukey.

Los datos de composición y tamaño de partículas de cada sitio a lo largo de los cuatro muestreos, se graficaron en el programa Tilia.

8. RESULTADOS.

Se eligieron 11 sitios en zonas altamente urbanas, semiurbanas y rurales (Figura 9, Tabla 2)

Tabla 2. Sitios diferenciados por tipo de urbanización.

ZONAS URBANAS	ZONAS SUBURBANAS	ZONAS RURALES
Lomas del Mayoral	Tacicuario	Joyitas
Carretera Morelia-Quiroga	San Nicolás Obispo	Relleno Sanitario
La Maestranza	Cuto de la Esperanza	Carretera Morelia-Cuto (Global gas)
Villa Magna		Cerritos

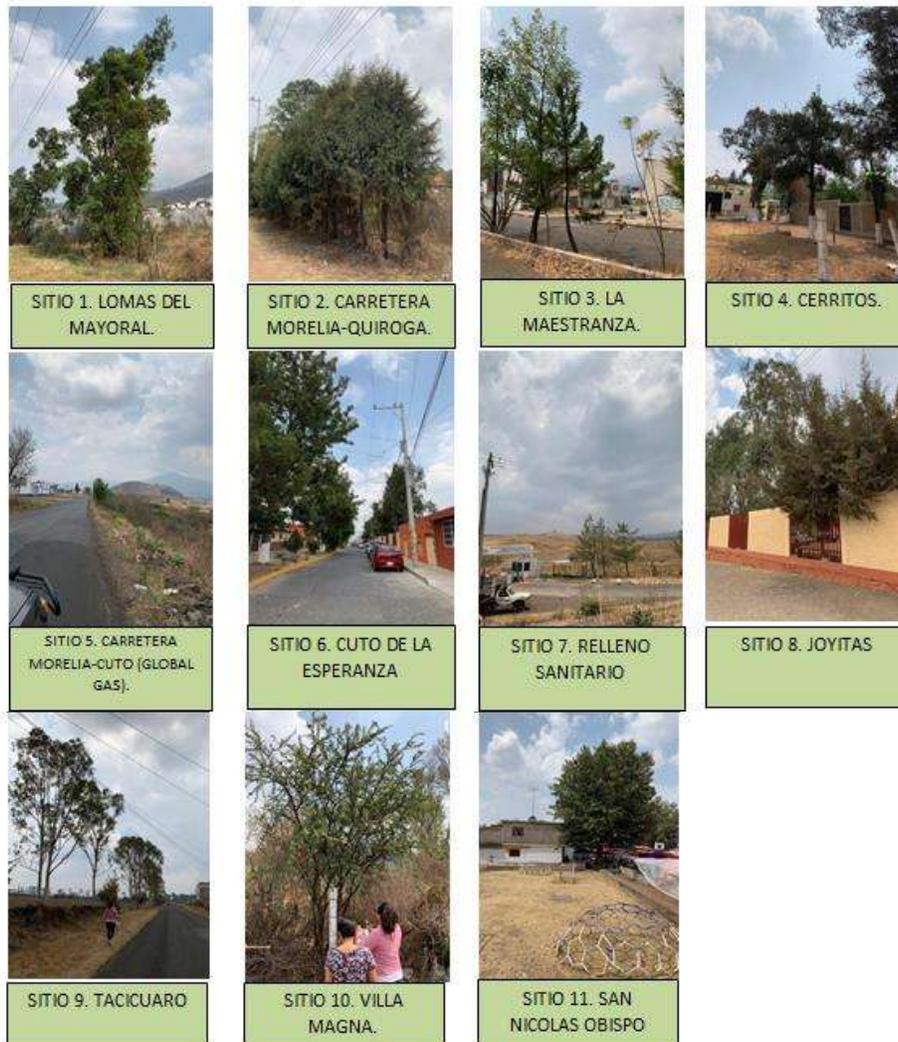


Figura 9. Sitios muestreados (Imágenes propios)

Debido a la heterogeneidad en los sitios, 12 especies arbóreas y arbustivas de la flora urbana, fueron analizadas: *Eucalipto globulus* Labill., *Nicotiana glauca* Graham., *Eysenhardtia adenostilis* Baill., *Cupressus sp.*, *Casuarina equisetifolia* L., *Prunus serótina* McVaugh., *Ipomea murocoides* Roem. & Schult., *Grevillea robusta* A. *Pinus sp.*, *Jacaranda mimosifolia* D. Dom., *Ricinus communis* L. y *Acacia pennatula* Schltld. & Cham (Anexo 1).

Sobre las hojas, se encontró material particulado de origen orgánico e inorgánico. Los principales componentes del material particulado fueron polen, esporas de *Sporomiella*, hollín, polvo, papel, plástico y restos vegetales. Al ser importantes las partículas menores a 10 micras por su relevancia en la salud y el ambiente, en esta análisis se hizo una diferenciación de este tamaño.

8.1 Composición de material particulado.

La composición se conforma de partículas provenientes de materiales biológicos como lo son el polen, *Sporomiella*, papel y restos vegetales y de otras partículas como hollín, plástico y polvo.

POLEN: El polen se define como una célula que contiene los gametos masculinos de las plantas con semilla, son producidas en las flores de las angiospermas y en los estróbilos masculinos de las gimnospermas (Faegri & Iversen, 1989).

SPOROMIELLA: *Sporomiella* es una espora de los hongos de la familia *Sporormiaceae*, son obligatoriamente coprófitas y se encuentran en el estiércol del ganado doméstico y en los herbívoros salvajes.

PAPEL: Según la R.A.E se define como papel a una hoja delgada fabricada con fibras vegetales obtenidas de madera, trapos, paja etc. las cuales se blanquean y se desleían en agua que se hace secar y endurecer por procedimientos especiales.

RESTOS VEGETALES: Los restos vegetales son tejidos desprendidos de la planta que se diferencian por las por ser un conglomerado con una misma condición. Son células unidas unas con otras formando grupos o laminas.

El material inorgánico tiene un origen industrial como: el hollín y plástico, mientras que el polvo y las partículas menores a 10 micras pueden ser de origen orgánico o inorgánico.

HOLLIN: El hollín es una partícula que proviene de la combustión incompleta de materiales orgánicos, como madera, aceite, combustible, plásticos y desechos de los hogares. Esta partícula es de color negro o café la cual puede contener una cantidad de carcinógenos como arsénico, cadmio y cromo (Instituto Nacional de Cáncer).

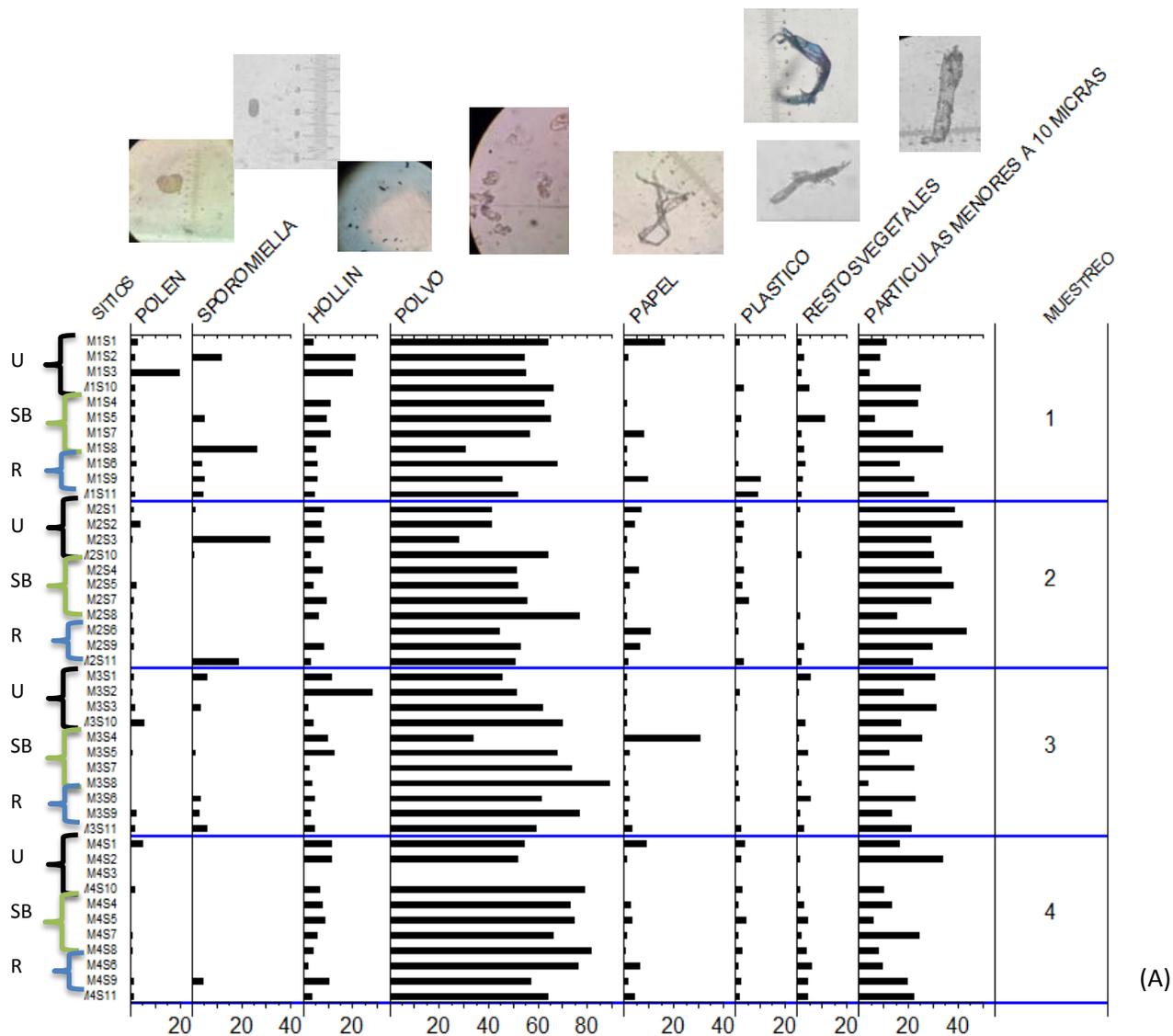
PLASTICO: Son materiales compuestos por resinas proteínas y otras sustancias. Son polímeros que se moldean por presión y calor. En este caso las fibras o fragmentos de plástico se reconocen por ser de tamaño relativamente grande y de colores rojos o azules.

El polvo y las partículas menores a 10 micras presentan características intermedias, ya que el polvo puede provenir de fuentes naturales como erosión de la roca madre. Mientras que, las partículas menores a 10 micras pueden provenir tanto de fuentes naturales como de fuentes inorgánicas.

POLVO: El polvo se define como una partícula sólida de tamaño pequeño. También se define a la porción o fragmentos de un elemento que fue desmenuzado, triturado o molido.

PARTICULAS MENORES A 1-0 MICRAS: Son las partículas de fracción respirable en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen, etc.).

8.2 Distribución del material particulado a lo largo del año.



URBANAS= U		SUBURBANAS= SB		RURAL=R	
S1	LOMAS DEL MAYORAL	S4	CERRITOS	S6	CUTO DE LA ESPERANZA
S2	CARRETERA MORELIA-QUIROGA	S5	GLOBAL GAS	S9	TACICUARO
S3	LA MAESTRANZA	S7	RELLENO SANITARIO	S11	SAN NICOLAS OBISPO
S10	VILLA MAGNA	S8	JOYITAS		

Figura 10. (A) Porcentajes de la composición de partículas de los sitios durante los cuatro muestreos. (B) Tabla 3. Zonificación de sitios por nivel de urbanización.

Muestreo 1.

El sitio 3 presenta los porcentajes más altos de polen y está dominado por polen de *Pinus*, *Acacia* y *Asteraceae*. *Sporomiella* presenta el mayor porcentaje en el sitio 8. El hollín alcanza 30% en los sitios 2 y 3. El papel, plástico y los restos vegetales, son más representativos en los sitios 1, 9 y 5 respectivamente. El polvo es el material más abundante dentro de las muestras, siendo el sitio 8 quien tiene las menores proporciones. Dentro de las partículas menores a 10 micras, podemos encontrar todos los tipos de partículas pero fragmentadas a tamaños muy pequeños, el sitio 8 presenta mayor proporción de este tamaño de partículas, compuestas principalmente por *Sporomiella*, polvo y hollín.

Muestreo 2.

El polen, papel, plástico y restos vegetales, tuvieron proporciones menores a 10%. *Sporomiella* se presentó en el sitio 3 y 11 siendo nulos en los demás sitios. El hollín permanece con valores bajos pero constantes en todos los sitios, siendo nulo para el sitio 6. Como en el muestreo anterior, el polvo es el principal componente de las muestras alcanzado 80% en el sitio 8. El material particulado más pequeño (<10 micras) alcanza valores altos en el sitio 1, 2, 5, y 6.

Muestreo 3.

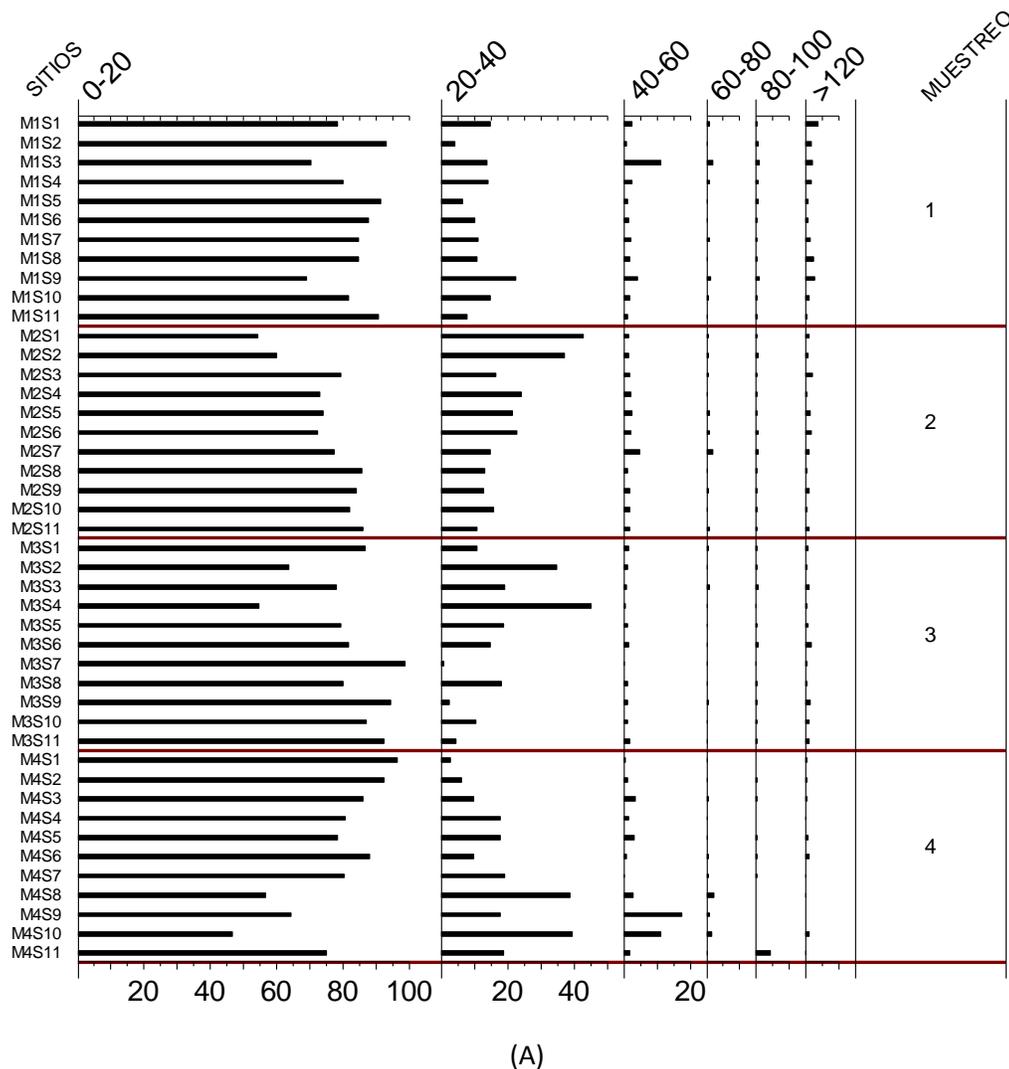
El polen, *Sporomiella*, plástico y restos vegetales presentan valores menores a 10% siendo nulos para algunos sitios. El hollín alcanza el porcentaje máximo anual en el sitio 2. Para este muestreo los valores de polvo, son los más altos del año alcanzando el pico máximo en el sitio 8. El sitio 4 presenta el mayor porcentaje a nivel anual de papel. Las partículas pequeñas (<10 micras) las encontramos en porcentajes mayores a 30% en los sitios 1 y 3 conformadas principalmente por polvo y hollín.

Muestreo 4.

El polen, *Sporomiella*, papel, plástico y restos vegetales presentan valores que no rebasan el 10%. El hollín tiene mayor presencia en los sitios 1, 2 y 9. Como en los anteriores muestreos el polvo es el mayor componente de las muestras, alcanzando valores máximos de 80%. Las partículas menores a 10 micras presentan el pico máximo en el sitio 2, y estuvieron compuestas principalmente de polvo y hollín.

8.3 Tamaño aerodinámico del material particulado.

El tamaño de las partículas se dividió en rangos de tamaño de 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 y mayores a 120 los cuales están expresados en micras (milésima parte de un milímetro) (grafica 11).



URBANAS= U		SUBURBANAS= SB		RURAL=R	
S1	LOMAS DEL MAYORAL	S4	CERRITOS	S6	CUTO DE LA ESPERANZA
S2	CARRETERA MORELIA-QUIROGA	S5	GLOBAL GAS	S9	TACICUARO
S3	LA MAESTRANZA	S7	RELLENO SANITARIO	S11	SAN NICOLAS OBISPO
S10	VILLA MAGNA	S8	JOYITAS		

(B)
tabla 4

Figura 11. (A) Porcentajes de los rangos de tamaño de las partículas encontradas en los sitios durante los cuatro muestreos (B) Tabla 4 zonificación de sitios por nivel de población.

Las partículas de menor fracción que se encuentran en un rango de 0 a 20 micras están mayormente representadas a lo largo del año, teniendo cerca del 80% de representación dentro de las muestras.

El sitio 7 (Relleno sanitario) tiene el 95% de composición de partículas pequeñas (0-20 micras) durante el muestreo 3 (Marzo), los sitios 1 y 2 pertenecientes a zonas urbanas de igual manera presenta una fuerte acumulación de este tamaño de partículas alcanzando alrededor del 80 % en los muestreos 1, 3 y 4 pero disminuyendo a menos del 60% durante el muestreo 2 (Diciembre). Las partículas de 20 a 40 micras alcanzan los porcentajes más altos en el sitio 4 (45%) y 2 (35%) dentro del muestreo 3 (Marzo). Posteriormente los sitios 1 y 2 del segundo muestreo (Diciembre) y los sitios 8 y 10 del muestreo 4 (Junio), de igual manera tienen porcentajes de alrededor del 40 %. El siguiente rango que se compone de partículas de 40 a 60 micras únicamente son sobresalientes el sitio 3 del primer muestreo (Agosto) con un porcentaje de 10% y los sitios 9 y 10 del muestreo 4 (Junio) con porcentajes del 17 y 10 % respectivamente.

El material particulado de fracción mayor a 60 micras se presenta en menos del 5% dentro de los muestreos a lo largo del año.

8.4 Acumulación de material particulado en las hojas de los árboles respecto a los sitios en los 4 muestreos.

M1 (Agosto 2018)			M2 (Diciembre 2018)			M3 (Marzo 2019)			M4 (Junio 2019)		
Sitios	Gr.	gr/kg ⁻¹	Sitios	Gr.	gr/kg ⁻¹	Sitios	Gr.	gr/kg ⁻¹	Sitios	Gr.	gr/kg ⁻¹
1	0.005	0.50	1	0.0389	3.89	1	0.153	15.30	1	0.17	17.00
2	0.031	3.10	2	0.0483	4.83	2	0.178	17.80	2	0.046	4.60
3	0.006	0.60	3	0.0097	0.97	3	0.057	5.70	3	0.068	6.80
4	0.007	0.70	4	0.0562	5.62	4	0.243	24.30	4	0.089	8.90
5	0.004	0.40	5	0.0449	4.49	5	0.072	7.20	5	0.076	7.60
6	0	0.00	6	0.1249	12.49	6	0.056	5.60	6	0.08	8.00
7	0.009	0.90	7	0.0827	8.27	7	0.146	14.60	7	0.164	16.40
8	0.006	0.60	8	0.0151	1.51	8	0.085	8.50	8	0.088	8.80
9	0.013	1.30	9	0.053	5.30	9	0.047	4.70	9	0.077	7.70
10	0.005	0.50	10	0.0217	2.17	10	0.083	8.30	10	0.081	8.10
11	0	0.00	11	0.0081	0.81	11	0.044	4.40	11	0.079	7.90

Tabla 3. Tabla de acumulación de material particulado en las superficie foliar.

La acumulación a lo largo del año es variable dentro de los sitios. El muestreo 3 del mes de Marzo, presenta los valores más altos de acumulación, siendo el sitio 4 (0.024 gr) y sitio 2 (0.178 gr) los más altos a nivel a anual. Posteriormente durante el muestreo realizado en el mes de junio, el sitio 1 (0.17 gr) de igual manera presenta uno de los valores más altos a nivel anual. El muestreo 1 presenta los valores más bajos de acumulación con valores de 0 gr.



Figura 12. Peso del material particulado extrapolado a 1 kilogramo de material foliar.

Extrapolando los valores a un kilogramo dimensionamos la capacidad de retención de polvo de las especies, llegando a acumularse hasta 25 gr. en un kilogramo de hojas.

M	<i>Eucalipto globulus</i>	<i>Nicotiana glauca</i>	<i>Eysenhardtia sp.</i>	<i>Cupressus sp.</i>	<i>Acacia sp.</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Prunus serótina</i>	<i>Ricinus comunnis</i>	<i>Ipomea murucoides</i>	<i>Gravillea robusta</i>	<i>Pinus sp.</i>	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
1	0.005	0	0.002	0.003	0.002	0	0.001	0.003	0	0	0.001	0.001
2	0.023	0.015	0.016	0.011	0.016	0.003	0.019	0.024	0.006	0.020	0.0028	0.003
3	0.030	0.028	0.020	0.030	0.063	0.029	0.016	0.030	0	0.024	0.083	0.0155
4	0.028	0.013	0.005	0.031	0.040	0.037	0.042	0.015	0.014	0.015	0.14	0.013
	0.0218	0.014	0.011	0.019	0.030	0.017	0.019	0.018	0.005	0.014	0.0567	0.008

Tabla 4. Promedios de la acumulación de material particulado respecto a las especies.

Respecto a la media, las especies la mayor acumulación se presentan en el muestreo 3, siendo *Pinus sp.* El más alto a nivel anual con promedio de 0.083 gr. Los promedios más pequeños se presentan en el muestreo 1 con valores de 0 gr. En general las especies con mayor acumulación respecto al promedio son: *Pinus sp.*, *Acacia sp* y *Eucalipto globulus*.

8.5 Análisis estadísticos.

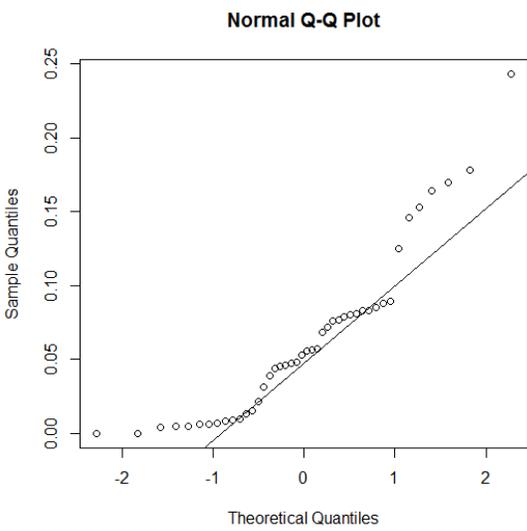
Para los análisis estadísticos se tomaron en cuenta los valores reales (g /10g) de acumulación de material particulado.

Se realizó un análisis descriptivo para determinar el comportamiento de los datos (Tabla 5). Tomando en cuenta las medias de cada temporada, las cuatro presentan variación en la acumulación de material particulado. Siendo el muestreo 1 (agosto) el menor (0.002) y el muestreo 3 el mayor (0.035) a nivel anual.

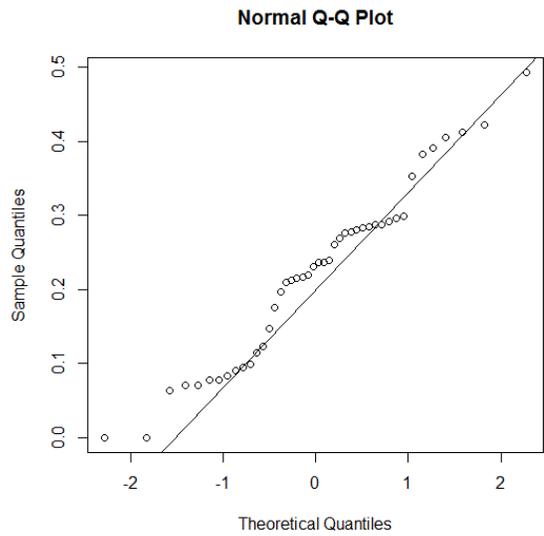
Tabla 5. Análisis descriptivo del peso seco del material particulado depositado en las hojas de diferentes especies en cada sitio y temporada. M1 (Agosto); M2 (Diciembre); M3 (Marzo); M4 (Junio).

	M1	M2	M3	M4
N	33	33	33	33
Min	0	0	0.011	0.002
Max	0.016	0.0804	0.16	0.14
Sum	0.086	0.5035	1.164	1.018
Mean	0.002606061	0.01525758	0.03527273	0.03084848
Std. error	0.0006613511	0.003168614	0.005241384	0.004982948
Variance	1.443371E-05	0.0003313238	0.0009065795	0.0008193826
Stand. dev	0.003799173	0.0182023	0.03010946	0.02862486
Median	0.001	0.0076	0.026	0.021
25 prntil	0	0.00295	0.017	0.011
75 prntil	0.0035	0.02355	0.0445	0.0425
Skewness	1.987902	2.111572	2.598475	2.027875
Kurtosis	4.089659	4.989767	8.550128	5.610887
Geom. mean	0	0	0.02779479	0.02053352
Coeff. var	145.7822	119.3001	85.36187	92.79178

Se realizó un test de Shapiro para saber la normalidad de los datos la cual resulto no ser normal. Para normalizar un poco los datos de peso seco, se aplicó la función raíz cuadrada. Para mostrar la normalidad se realizaron graficas QQ plot



Sin normalizar



Normalizada

ANALISIS DE ANOVA DE PESO SECO RESPECTO A LA TEMPORADA.

Con los datos previamente normalizados realizamos una prueba de análisis de varianza (ANOVA).

$F_{3,40} = 24.92$ $P < 0.01$ → Si existen diferencias significativas.

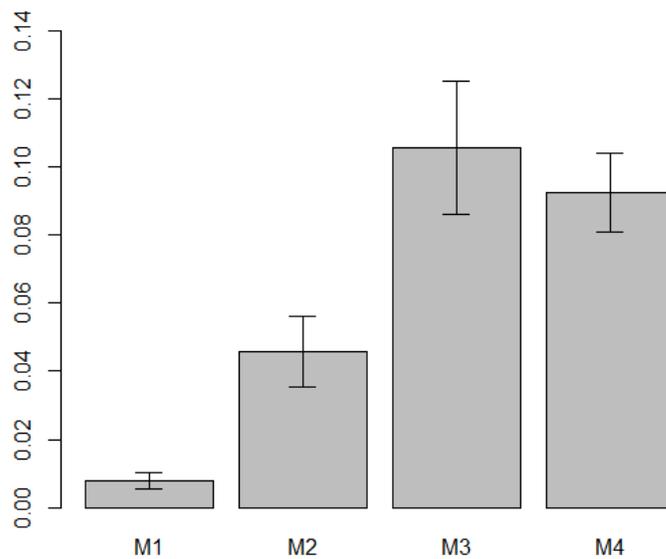


Figura 13. Grafica del promedio de material particulado acumulado en cada temporada (muestreo) del año, con error estándar.

PRUEBA DE TUKEY

Tabla 6. Prueba de Tukey

	P
M2-M1	0.0014697
M3-M1	0.0000000
M4-M1	0.0000001
M3-M2	0.0042379
M4-M2	0.0138878
M4-M3	0.9720538

Gráficamente se observan diferencias entre cada muestreo (figura 9). Se realizó una prueba de ANOVA para saber si estadísticamente las temporadas se diferenciaban, los resultados demostraron que sí existen diferencias significativas para lo cual se aplicó una prueba de Tukey (tabla 6) para mostrar que sitios son estadísticamente diferentes.

Los muestreos 1 y 3 con un valor de P menor a 0.001 son los muestreos que son estadísticamente diferentes.

DEPOSITO SECO RESPECTO AL SITIO

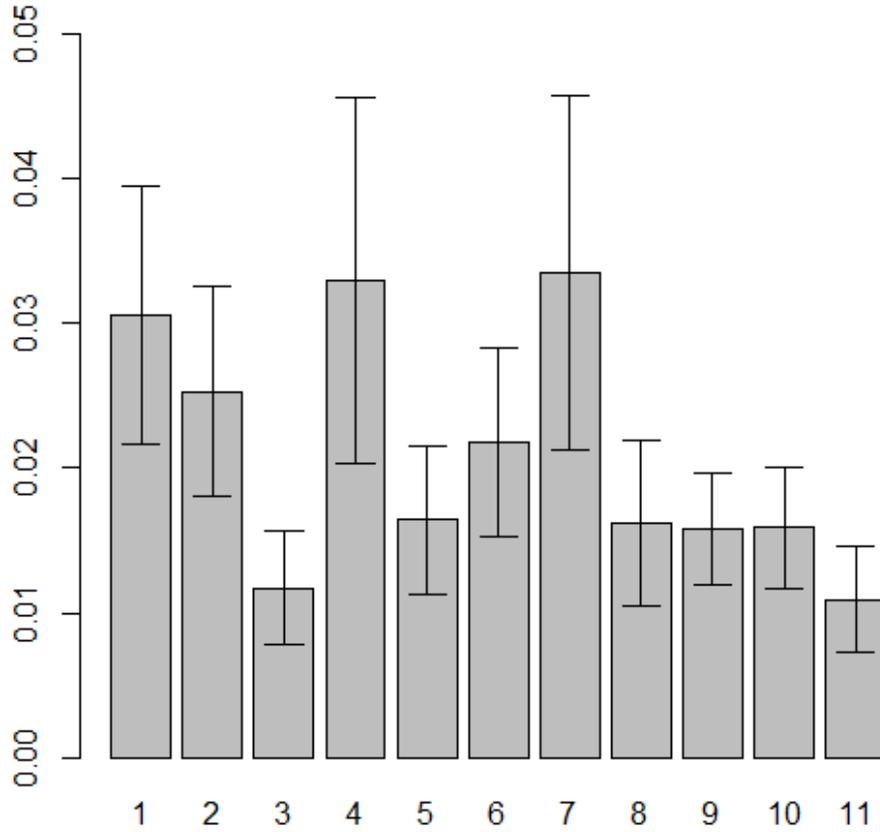


Figura 14. Grafica del promedio de material particulado acumulado en cada sitio con error estándar.

ANALISIS DE ANOVA DEL PESO SECO DE MATERIAL PARTICULADO RESPECTO AL SITIO

$$F_{1-130} = 2.97 \quad P > 0.05$$

NO existen diferencias significativas

ANÁLISIS DE ACUMULACION DE POLVO (MATERIAL PARTICULADO) RESPECTO AL TIPO DE URBANIZACION.

Tabla 6. Análisis descriptivo por zonas de urbanización

	URBANAS	SUBURBANAS	RURAL
N	16	16	16
Min	0.005	0	0.004
Max	0.178	0.1249	0.243
Sum	1.0016	0.582	1.1879
Mean	0.0626	0.036375	0.07424375
Std. error	0.01446114	0.009858239	0.01650008
Variance	0.003345995	0.001554958	0.00435604
Stand. dev	0.05784457	0.03943296	0.0660003
Median	0.04715	0.0285	0.074
25 prcnil	0.0127	0	0.010525
75 prcnil	0.0825	0.07175	0.08875
Skewness	1.061582	0.7590917	1.171862
Kurtosis	0.04501207	-0.2992137	1.543209
Geom. mean	0.03656393	0	0.0421955
Coeff. var	92.40347	108.4068	88.89678

Se realizó un análisis descriptivo para determinar el comportamiento de los datos (Tabla 5). Los análisis estadísticos de varianza (ANOVA) no muestran significancia para los datos ($F_{2,45}=2.65$ $P>0.05$) pero respecto a las medias de cada zona, la zona rural presenta mayor acumulación de material particulado.

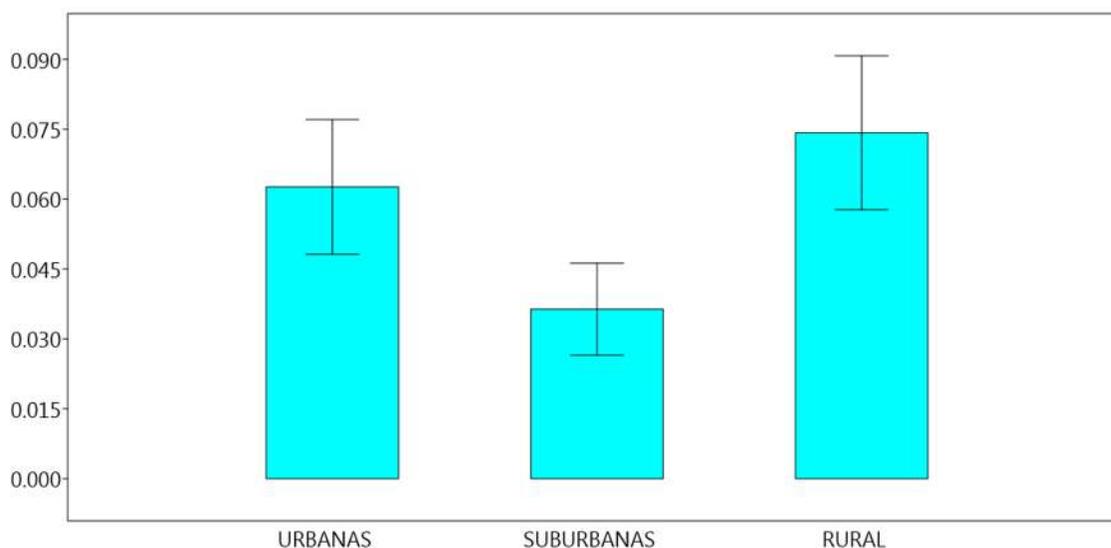


Figura 15. Acumulación de material particulado por zonas de urbanización.

9. DISCUSION.

Este trabajo constituye una de las primeras aportaciones a estudios relacionados con las áreas verdes urbanas y la retención de material particulado en la ciudad de Morelia, en donde ya existe un antecedente de la asociación de algunos parámetros magnéticos y el nivel de contaminación en polvo urbano acumulado sobre el asfalto (Aguilar-Reyes *et al*, 2011) donde se demuestra que las partículas magnéticas también alojan en su estructura metales pesados como Pb, Zn, Ba, Cd y Cr (Delgado *et al*, 2018). Aunque la obtención de metales traza no fue uno de los objetivos de este trabajo, nos da la pauta para mencionar la importancia de complementar los análisis y dar un énfasis importante en la consideración del polvo urbano como un indicador de contaminación.

No se logró comparar la acumulación y composición de material particulado entre especies ya que los sitios son muy heterogéneos en la composición de la vegetación, lo mismo que ha ocurrido en otros estudios en donde la carencia de las áreas verdes no permite homogeneidad dentro de las muestras (Pinto, 2000).

Tomando en cuenta los promedios obtenidos, podemos mencionar que las especies como *Eucalipto*, *Pinus* y *Acacia* (Tabla 4) son efectivas para la retención de polvo respecto a las demás especies. A diferencia de otros estudios donde los resultados son más favorables para especies del género *Cupressus*, (Alcalá *et al*, 2008; Martínez-Hernández, 2017) el *Pinus* que también pertenece a las coníferas presenta la mayor acumulación a nivel anual, esto se debe a diversos factores como condiciones climáticas y efecto de sitio, ya que la mayor acumulación se observó en el muestreo 3, que en general es el muestreo con mayor acumulación de polvo, además de estar ubicado en el sitio que se encuentra a borde de carretera entre dos sitios de contaminación pasiva (El rellenos sanitario y bancos de arenas) sin embargo Freer-Smith, *et al* (2005) menciona que debido a la disposición de las hojas en diferentes ángulos, las coníferas son efectivas en la retención de polvo. El *Eucalipto* por su parte es una especie introducida que debido a su éxito en la adaptación a condiciones ambientales se ha vuelto una

especie ampliamente distribuida (Martínez-Ruiz, 2006) dentro de la ciudad de Morelia, aunque la introducción se ha vuelto problemática debido a la alelopatía (influencia química de toxicidad para algunas plantas) erosión y compactación que ocasiona en los suelos (Poree & Fries, 1987) es una especie de hojas anchas que por lo regular se encuentra en las grandes vialidades de la zona de estudio, la cual resulta efectiva en la retención de material particulado derivados del tráfico vehicular. Por último *Acacia* al ser de hojas pequeñas el lavado se realizó utilizando tallos jóvenes debido a que los tallos también tienen adherencia de polvo, a pesar de ser una especie caducifolia, *Acacia* tiene la ventaja de ser una especie nativa y de fácil crecimiento en terrenos pocos favorables (Grether, 1996).

La acumulación que se comparó estadísticamente es resultante de la suma de las especies muestreadas en cada sitio.

La acumulación de polvo en las hojas es variable a lo largo del año. Sin embargo la variación significativa la encontramos entre los distintos muestreos y no entre sitios. Estadísticamente entre los sitios no existen diferencias significativas, la zona poniente de Morelia a pesar de estar conformada por asentamientos urbanos, semiurbanos y rurales en general es una de las zonas con mayor densidad de población, la cual comparte diversas fuentes de contaminación tanto activa como pasiva. Los megaproyectos de desarrollos urbanos, el cambio de uso de suelo, el impacto ambiental generado por la inadecuada disposición de residuos sólidos o la explotación de bancos de arena, son algunas de las problemáticas a las que se encuentra expuesta la zona (Plan Municipal de Desarrollo Morelia 2018-2021). Este proceso de urbanización acelerada ha ocasionado deforestación y disminución de las zonas arboladas y un incremento en el flujo vehicular.

Sin embargo si existe una diferencia significativa ($p < 0.001$) al comparar los muestreos. La media de la temporada de agosto (0.002 gr.) así como la varianza es menor a las demás, esto se debe a que fue nula para algunos sitios, pero no significa que no existiera acumulación si no que fue muy baja para poder registrarse. Las medias más altas se encuentran en el muestreo de marzo y junio.

Las condiciones ambientales juegan un papel importante en la acumulación de polvo urbano en las hojas. Durante el mes de agosto la acumulación presenta valores bajos, esto se asocia al factor de precipitación (Martinez-Hernandez 2017; Sinchi-Chaca, 2019) el mes de agosto del 2018 fue uno de los meses con mayor precipitación en Morelia rebasando los 180 mm, la lluvia puede transferir las partículas que ya se encontraban depositadas en la superficie foliar al suelo, es decir que se lavan de forma natural (Grantz *et a.*, 2003; Tiwary & Colls, 2010; Martinez-Hernandez 2017). El muestreo se realizó a finales del mes de agosto cuando la temporada de lluvias ya está finalizando, y como ocurre en otros trabajos donde se menciona que las concentraciones de las partículas serán mayores al inicio del fenómeno y menores al término de este (Sinchi-Chaca, 2019).

Respecto a la acumulación más alta, ocurrida en el mes de marzo, también está asociada a factores climáticos (Sinchi-Chaca, 2019) La insolación por altas temperaturas y la poca humedad en el ambiente generan un contexto favorable, en donde el material particulado tiene mayor probabilidad de ser suspendido y transportado por acción del viento desde su sitio de origen hacia una superficie de contacto (Sinchi-Chaca, 2019).

En cuanto a la composición de las muestras principalmente consisten de polvo y hollín, estos materiales al ser de una fracción pequeña son más volátiles susceptibles a ser depositados en mayor cantidad. Los altos porcentajes de este tipo de partículas se deben a la fuente emisora (Grantz *et al.*, 2003; Arrieta-fuentes, 2016). Los porcentajes altos de hollín se encuentran en sitios cercanos a grandes vialidades, donde por acción de la combustión los vehículos liberan a la atmosfera grandes cantidades de hollín. Para el municipio de Morelia durante el año de 1990 se registró que por cada 1000 habitantes existían 70 vehículos motorizados, la tasa de crecimiento ha aumentado de manera desmedida que actualmente tenemos 427 vehículos por cada 1000 habitantes debido a este incremento en la zona poniente del municipio se han ampliado y acondicionado hasta 7 carriles para el tráfico vehicular (Plan Municipal de Desarrollo Morelia 2018-2021). El polvo que es otro de los componentes principales de las muestras,

lo encontramos en mayor cantidad en las zonas denominadas como rurales o semiurbanas, pese a que en estas zonas también hay un constante cambio de uso de suelo, la principal fuente emisora es litogénica derivada de la erosión de suelo, debido a que en estas zonas los suelos aún están desprovistos de pavimento, a unido a esto las altas temperaturas y el viento hace susceptibles a las partículas de ser transportadas. Los porcentajes mayores se encuentran en marzo y como mencionábamos anteriormente la insolación y el viento son factores favorables para la dispersión de material particulado.

Los demás componentes como el polen y la *Sporomiella* no están representados en todos los sitios. Por su parte el polen el porcentaje más alto lo encontramos dentro de un sitio urbano (Frac. La Maestranza). El polen representa un riesgo significativo para salud, por su alto potencial alergénico y no solo a exposiciones de alta concentración ya que se ha demostrado que incluso la exposición baja muestra síntomas de alergias, que puede ser desde una rinoconjuntivitis hasta asma bronquial (Vaverková et al, 2019). Por otro lado la *Sporomiella* al ser un hongo coprofita (Roman, 2010) esta obligatoriamente en heces fecales de animales, principalmente mamíferos de ganado doméstico o herbívoros salvajes (Roman, 2010) no se encontró un patrón de distribución de este tipo de material aerobiológico, ya que se encuentra presente a lo largo del año en sitios pertenecientes a las tres zonas (rurales, suburbanos y urbanos). Se infiere que la presencia de esta espora se debe a que la actividad agrícola ganadera es una de las actividades primarias de la zona. El papel y el plástico a pesar de no tener valores altos dentro de la composición de las muestras, si se encontró presencia en todos los sitios a lo largo del año, este resultado nos brinda la pauta para comenzar a inferir que una proporción del aire que respiramos tiene presencia de microplástico o filamentos de papel. Las alteraciones o daños en la salud que genera la inhalación de microplásticos son bastantes, los plásticos pueden atravesar tejidos y órganos desencadenando estrés oxidativo, daño celular e inflamación e incluso si las partículas son muy finas pueden atravesar membranas celulares, la barrera hematoencefálica y la placenta (Delgado, 2019). El incremento desmedido de la generación de plásticos, no tener una cultura de

reciclaje y sobre todo la inadecuada e ineficiente disposición de residuos son algunos de los factores por lo cual la presencia de microplásticos en el aire será cada vez mayor. Por último los restos vegetales solamente incluyen partes el mismo tejido de la planta, el cual principalmente fue desprendido al momento de realizar el método de lavado.

La proporción mas importante dentro del tamaño de partículas se encuentran en un rango de 0-20 micras, esto sin distinción de sitio o temporada del año, es un patrón constante dentro de las muestras. Las partículas finas tienen una vida media de meses y alcanzan distancias largas (varios kilómetros) (Palacios, 2014) por ende se pueden depositar en la superficie de contacto a lo largo del año y en cualquier sitio de nuestra área e estudio. Además estas partículas de fracción pequeña están compuestas principalmente de hollín o polvo los cuales son los principales componentes del material particulado dentro de las muestras. Debemos recordar la importancia de este tamaño de partículas ya que la relación entre los niveles de partículas <10 micras en la atmosfera y las muertes y hospitalizaciones por enfermedades pulmonares es muy alta (Barrios *et al*, 2004; Palacios-Ramírez *et al*, 2018)

10. CONCLUSIONES.

- Se observó una variación significativa en la acumulación de material particulado entre temporadas. Debido a que las condiciones ambientales juegan un papel importante en la deposición de polvo atmosférico.
- El mes de agosto presentó los valores mínimos de acumulación de material particulado y el mes de marzo presentó los valores más altos, asociados principalmente a condiciones climáticas.
- La composición de las muestras estuvo constituida principalmente por polvo derivado de rocas o material asfáltico y hollín. A pesar de no tener valores altos el papel y el plástico se encuentran presente en todos los sitios a lo largo del año.
- Las partículas menores a 20 micras fueron las más abundantes en todas las muestras.
- Las especies como *Pinus*, *Eucalipto* y *Acacia* resultaron ser óptimas en la retención y contención de polvo atmosférico.

11. RECOMENDACIONES.

Se sugiere la comparación de sitios más alejados y una mayor homogeneidad en las especies utilizadas. Así mismo, se propone un diseño de muestreo en donde se monitoreen de manera sistematizada las variables climatológicas.

Se recomienda investigar la capacidad de retención de especies nativas para evitar la introducción de especies exóticas que pueden resultar altamente alergénicas.

12. LITERATURA CITADA.

Aguirre Mendoza, z. H., & Aguirre, c. (2010). Las plantas vasculares como indicadores de la calidad y problemas de los ecosistemas.

Aguilar, B., Bautista, F., Rosas-Elguera, J., Gogichaishvilli, A., Cejudo, R., & Morales, J. (2011). Evaluación de la contaminación ambiental por métodos magnéticos en las ciudades de Morelia y Guadalajara México. *Latinmag Lett*, 1, 1-6.

A. 2018,02. Concepto de Contaminación. Equipo de Redacción de Concepto.de. Obtenido 2018,08, de <https://concepto.de/contaminacion/>)

Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Quintana, C., Quintana, G., Miranda, S., & Rubio, A. (2008). Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 17(1), 39-54.

Alcalá, J., & Rodríguez, J., & Tiscareño, M., & 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. *Multequina*, (20), 83-96.

Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M. R., Zeballos, G., Cuadros, M. D. L. Á., & Del Granado, S. (2007). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista virtual REDESMA*, 1, 53.

Arrieta-Fuentes, A. J. (2016). Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43-54.

Barrios Casas, S., Peña-Cortés, F., & Osses Bustingorry, S. (2004). Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años. *Ciencia y enfermería*, 10(2), 21-29.

Bautista, F., Cejudo-Ruiz, R., Aguilar-Reyes, B., & Gogichaishvili, A. (2014). El potencial del magnetismo en la clasificación de suelos: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 365-376.

Buenrostro, O., & Israde, I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19(4), 161-169.

Climate-Data.org. (2015). Climate data for cities worldwide. Morelia, Michoacán Mexico.

Consuelo Hernández-Berriel, M., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2017). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en américa latina y el caribe. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 11-22.

Fuente: <https://concepto.de/contaminacion/#ixzz5OqejNdiC>

Delgado, C., Israde Alcántara, I., Bautista, F., Gogichaishvili, A., Márquez, C., Cejudo, R., ... & González, I. (2018). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE Fe Li, Pb, Mn, V, y Zn EN SUELOS URBANOS DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(3), 427-440.

Delgado Fimia, O. (2019). Implicaciones de la exposición a microplásticos en salud humana. Revisión bibliográfica.

Duran Rivera, B., & Alzate Guarín, F. (2009). Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (47), 59-66.

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>

Faegri, K. and J. Iversen. 1989. *Textbook of pollen analysis*. The Blackburn Press, 4a. Edition. Munksgaard, Copenhagen. 328 pp.

Garrett, A. (2004). *Biomonitoreo pasivo de la contaminación atmosférica por Plomo y Cadmio en la ciudad de La Paz mediante análisis de hojas en Populus balsamifera (Salicaceae)*. Tesis en Biología, UMSA, La Paz, Bolivia. pp. 33 – 70

Grantz, D., Garner, J., & Johnson, D. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment international*, 29(2-3), 213-39. [http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2).

Grether, R., Camargo-Ricalde, S. L., & Martínez-Bernal, A. (1996). Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Botanical Sciences*, (58), 149-152.

INAFED, E. D. P. (2010). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México*. Morelia Michoacán, México

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Clave geoestadística 16059.

Israde-Alcántara, I., Buenrostro-Delgado, O., Garduño-Monroy, V. H., Hernández-Madrigal, V. M., & López Granados, E. (2008). Problemática geológico-ambiental de los tiraderos de la Cuenca de Cuitzeo, norte del estado de Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60(2), 203-211.

Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>.

Jomolca-Parra, Y., Lima-Cazorla, L., & Manduca-Artiles, M. (2013). Determinación de concentraciones y flujos atmosféricos de metales pesados y radionucleidos de interés ambiental en deposiciones atmosféricas totales. *Revista Cubana de Química*, 25(3), 345-363.

Lopera, F. G. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 37(144), 417.

Mata, E. V. (2010). Calidad del aire y sus efectos en la salud humana. *Éxito empresarial*.

Martinez-Hernandez, A. (2017). Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Moreno, G., Martínez Carretero, E., Faggi, A. M., & Vento, B. (2008). Sedimentación atmosférica seca en hojas de *Morus alba* L: En la ciudad de San Juan, Argentina. *Interciencia*, 33(11), 844-849.

Molina, A. (2019, 20 de Junio). Contaminación del cielo en Morelia, un reto. *La voz de Michoacán*. pp 16:41.

Obregón, J. M. B. (2015). El Ceibo (*Ceiba* sp.) como indicador de fuentes de contaminación atmosférica, en el Distrito de Chaclacayo, Lima, Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 20(39), 93-100.

Organización Mundial de la Salud. (2008). Calidad del aire y salud. Nota descriptiva N.º 313. Recuperado el 18 de agosto del 2018 de: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Palacios-Ramírez, A., Ramírez, R. F., Pérez-Vázquez, F. J., Rodríguez-Aguilar, M., Schilman, A., Riojas-Rodríguez, H., & Díaz-Barriga, F. (2018). Evaluación de la exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas en suspensión (PM_{2.5}) por quema de biomasa en una zona indígena del Estado de San Luis Potosí, México. *Revista de Salud Ambiental*, 18(1), 29-36.

Petroff, A., Mailliat, A., Amielh, M., & Anselmet, F. (2008). Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part II: A new modelling approach and applications. *Atmospheric Environment*, 42(16), 3654-3683.

Pignata, M.L. (2003). Curso sobre: Empleo de biomonitores en estudios de contaminación atmosférica. Auspiciado por Swiss Contact, IBTEN, Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia.

Pinto, M.R. (2000). Biomonitorio de contaminación atmosférica por material particulado en árboles y arbustos ornamentales de la ciudad de La Paz. Tesis en Biología, UMSA, La Paz, Bolivia. 102 pp.

Pérez, H., Lunagómez, M., & Acosta, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM₁₀), en Cunduacán, Tabasco. *Universidad y ciencia*, 26(2), 151- 162. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018629792010000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

Poore, M.D.E, C.Fries. 1987. Efectos ecológicos de los eucaliptos. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Reyes, B. A., Mejía, V., Goguitchaichvili, A., Escobar, J., Bayona, G., Bautista, F., & Ihl, T. J. (2013). Reconnaissance environmental magnetic study of urban soils,

dust and leaves from Bogotá, Colombia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 57(4), 741-754

Ruiz, R. M., Rivero, H. S. A., Alcalá, V. M. C., & Espinoza, M. G. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de Eucalyptus. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 2(3), 815-846.

Ruiz Ruiz, V., & Jensen, P. A. Estudio de la resistencia de depósitos de ceniza de biomasa en calderas de parrilla.

Roman, A. S. (2010). Diversidad micótica asociada a heces de gallinas ponedoras, *Gallus gallus*, en dos granjas avícolas de Puerto Rico (Doctoral dissertation, University of Puerto Rico, Mayaguez (Puerto Rico)).

Sánchez, X. M., & Peralta, M. G. (2007). Árboles de las áreas urbanas y suburbanas de Morelia, Michoacán, México. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 9(1), 12-22.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3).

Saveedra, D. Z.M. (Ed.).(2010). Presente y Futuro de las Áreas Verdes y del Arbolado de la Ciudad de México. México. equilibria. Pp 28.

Sandoval, D., Reyes, R., & Oyarzún, G. (2019). Mecanismos de los efectos nocivos para la salud de la contaminación atmosférica proveniente de incendios forestales. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 49-57.

Sorensen, M. G., Keipi, K. J., Barzetti, V., & Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas (No. 333.78 M274). Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division.

Tiwary, A., & Colls, J. (2010). *Air Pollution: Measurement, modelling and mitigation* (3^a ed.). New York: Routledge.

Wetherbee, G., Baldwin, A., Ranville, J., 2019, It is raining plastic.: U.S. Geological Survey. Accesado el 7 de junio del 2019 en <https://doi.org/10.3133/ofr20191048>.

Vaverková, M.D.; Adamcová, D.; Winkler, J.; Koda, E.; Červenková, J.; Podlasek, A. Influence of a Municipal Solid Waste Landfill on the Surrounding Environment: Landfill Vegetation as a Potential Risk of Allergenic Pollen. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 5064.

Yan, J., Lin, L., Zhou, W., Ma, K., & Pickett, S. T. A. (2016). A novel approach for quantifying particulate matter distribution on leaf surface by combining SEM and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 173, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.033>

Anexo 1.

M1 AGOSTO		M2 DICIEMBRE		M3 MARZO		M4 JUNIO	
Sitio	Especie	Sitio	Especie	Sitio	Especie	Sitio	Especie
1	<i>Eucalipto globulus</i>	1	<i>Eucalipto globulus</i>	1	<i>Eucalipto globulus</i>	1	<i>Eucalipto globulus</i>
1	<i>Nicotiana glauca</i>	1	<i>Nicotiana glauca</i>	1	<i>Nicotiana glauca</i>	1	<i>Nicotiana glauca</i>
1	<i>Eysenhardtia sp.</i>	1	<i>Eysenhardtia sp.</i>	1	<i>Acasia sp.</i>	1	<i>Acasia sp.</i>
2	<i>Eucalipto globulus</i>	2	<i>Eucalipto globulus</i>	2	<i>Eucalipto globulus</i>	2	<i>Eucalipto globulus</i>
2	<i>Cupressus sp.</i>	2	<i>Cupressus sp.</i>	2	<i>Cupressus sp.</i>	2	<i>Cupressus sp.</i>
2	<i>Acasia sp.</i>	2	<i>Acasia sp.</i>	2	<i>Acasia sp.</i>	2	<i>Acasia sp.</i>
3	<i>Eucalipto globulus</i>	3	<i>Eucalipto globulus</i>	3	<i>Eucalipto globulus</i>	3	<i>Eucalipto globulus</i>
3	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
3	<i>Cupressus sp.</i>	3	<i>Cupressus sp.</i>	3	<i>Cupressus sp.</i>	3	<i>Cupressus sp.</i>
4	<i>Eysenhardtia sp.</i>	4	<i>Eysenhardtia sp.</i>	4	<i>Acasia sp.</i>	4	<i>Acasia sp.</i>
4	<i>Casuarina equisetifolia</i>	4	<i>Casuarina equisetifolia</i>	4	<i>Casuarina equisetifolia</i>	4	<i>Casuarina equisetifolia</i>
4	<i>Cupressus sp.</i>	4	<i>Cupressus sp.</i>	4	<i>Cupressus sp.</i>	4	<i>Cupressus sp.</i>
5	<i>Prunus serotina</i>	5	<i>Prunus serotina</i>	5	<i>Prunus serotina</i>	5	<i>Prunus serótina</i>
5	<i>Ricinus communis</i>	5	<i>Ricinus communis</i>	5	<i>Acasia sp.</i>	5	<i>Eysenhardtia sp.</i>
5	<i>Ipomea murocoides</i>	5	<i>Ipomea murocoides</i>	5	<i>Ipomea murocoides</i>	5	<i>Ipomea murocoides a</i>
6	<i>Eucalipto globulus</i>	6	<i>Eucalipto globulus</i>	6	<i>Eucalipto globulus</i>	6	<i>Eucalipto globulus</i>
6	<i>Cupressus sp.</i>	6	<i>Cupressus sp.</i>	6	<i>Cupressus sp.</i>	6	<i>Cupressus sp.</i>
6	<i>Grevillea robusta</i>	6	<i>Grevillea robusta</i>	6	<i>Grevillea robusta</i>	6	<i>Grevillea robusta</i>
7	<i>Pinus sp.</i>	7	<i>Pinus sp.</i>	7	<i>Pinus sp.</i>	7	<i>Pinus sp.</i>
7	<i>Acasia sp.</i>	7	<i>Acasia sp.</i>	7	<i>Acasia sp.</i>	7	<i>Acasia sp.</i>
7	<i>Ricinus communis</i>	7	<i>Ricinus communis</i>	7	<i>Ricinus communis</i>	7	<i>Ricinus communis</i>
8	<i>Cupressus sp.</i>	8	<i>Cupressus sp.</i>	8	<i>Eysenhardtia</i>	8	<i>Cupressus sp.</i>
8	<i>Eucalipto globulus</i>	8	<i>Eucalipto globulus</i>	8	<i>Eucalipto globulus</i>	8	<i>Eucalipto globulus</i>
8	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	8	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	8	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	8	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
9	<i>Eucalipto globulus</i>	9	<i>Eucalipto globulus</i>	9	<i>Eucalipto globulus</i>	9	<i>Salix</i>
9	<i>Cupressus sp.</i>	9	<i>Cupressus sp.</i>	9	<i>Cupressus sp.</i>	9	<i>Cupressus sp.</i>
9	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	9	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	9	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	9	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
10	<i>Ricinus</i>	10	<i>Ricinus</i>	10	<i>Ricinus</i>	10	<i>Ricinus</i>
10	<i>Acasia sp.</i>	10	<i>Acasia sp.</i>	10	<i>Acasia sp.</i>	10	<i>Acasia sp.</i>
10	<i>Cupressus sp.</i>	10	<i>Cupressus sp.</i>	10	<i>Cupressus sp.</i>	10	<i>Cupressus sp.</i>
11	<i>Prunus serótina</i>	11	<i>Prunus serotina</i>	11	<i>Prunus serotina</i>	11	<i>Prunus serótina</i>
11	<i>Cupressus sp.</i>	11	<i>Cupressus sp.</i>	11	<i>Cupressus sp.</i>	11	<i>Cupressus sp.</i>
11	<i>Grevillea robusta</i>	11	<i>Grevillea robusta</i>	11	<i>Grevillea robusta</i>	11	<i>Grevillea robusta</i>

Anexo 2.

CRONOGRAMA DE TRABAJO

Actividades	Muestreo	Procesamiento de muestras	Análisis de resultados	Redacción de Discusión y conclusiones	Titulación.
AGO/2018	X	X			
SEP/2018		x			
OCT/2018		X			
NOV/2018	x	x			
DIC/2018		x			
ENE/2019		x			
FEB/2019	x	x			
MAR/2019		x			
ABR/2019		x			
MAY/2019	x	X			
JUN/2019		x			
JUL/2019		x			
AGO/2019		x			
SEP/2019			X		
OCT/2019			x		
NOV/2019				X	
DIC/2019				X	
ENE/2020				X	
FEB/2020					X