



1859

**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería Ambiental**

**Respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a partículas sedimentables colectadas en un punto de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja**

**Trabajo de Integración Curricular,  
previo a la obtención del título de  
Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Maximo Joel Medina Cuenca

**DIRECTOR:**

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2025



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF

## CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Erasmus Vinicio Alvarado Jaramillo**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a partículas sedimentables colectadas en un punto de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja**, perteneciente al estudiante **Maximo Joel Medina Cuenca**, con cédula de identidad N° 1401062102. Certifico que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular** se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 7 de agosto de 2024



Firmado electrónicamente por:  
ERASMO VINICIO  
ALVARADO  
JARAMILLO

F) \_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

## **Autoría**

Yo, **Maximo Joel Medina Cuenca**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de integración curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1401062102

**Fecha:** 27 de enero de 2025

**Correo electrónico:** maximo.medina@unl.edu.ec

**Celular:** 0978837388

**Carta de autorización por parte del autor para la consulta reproducción parcial o total,  
y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo **Maximo Joel Medina Cuenca**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular titulado: **Respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a partículas sedimentables colectadas en un punto de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de integración curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja a los veintisiete días del mes de enero del dos mil veinticinco.

**Firma:**



**Autor:** Maximo Joel Medina Cuenca

**Cédula:** 1401062102

**Dirección:** El Panecillo

**Correo electrónico:** maximo.medina@unl.edu.ec

**Celular:** 0978837388

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo,  
Mg. Sc.

## **Agradecimiento**

A Dios, por ser mí fuerza y protección; a mi Madre, Mercy Enith Medina Cuenca, por su confianza en mí, apoyarme en momentos difíciles y guiarme en el camino; a mis hermanos, Joan y Jean por estar siempre conmigo; a mi novia, Scarleth por darme ánimos a no rendirme hasta el día de hoy, así como su amor constante; a mi tutor, Ing. Vinicio Alvarado; por su amistad, acompañamiento y paciencia en este trabajo: Finalmente a la Ing. Katusca Valarezo, por guiarme en la presentación del trabajo.

*Maximo Joel Medina Cuenca*

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios. A mi querida madre, Mercy. A mis hermanos, Joan y Jean. A mis abuelitos, Maximo y Juanita. A mi querida novia, Scarleth.

*Maximo Joel Medina Cuenca*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>v</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Contaminantes atmosféricos .....	7
4.2. Material particulado .....	7
4.3. Polvo sedimentable .....	10
4.4. Análisis en laboratorio de partículas contaminantes.....	13
4.5. Características biológicas de <i>Nicotiana tabacum</i> L.....	14
<b>5. Metodología</b> .....	<b>16</b>
5.1. Área de estudio .....	16
5.2. Recolección de partículas sedimentables.....	16
5.2.1. Elaboración de envases colectores.....	16

5.2.2. Colocación de envases colectores .....	17
5.2.3. Análisis de la rosa de los vientos .....	17
5.3. Estimación de partículas sedimentables colectadas .....	18
5.3.1. Estimación de la muestra a usar .....	18
5.3.2. Estimación de la concentración en relación con los Estandares de Calidad del Aire (ECA).....	18
5.4. Metodología para el primer objetivo.....	19
5.4.1. Preparación y distribución en maceteros .....	19
5.4.2. Colocación del contaminante .....	20
5.4.3. Descripción del desarrollo fenotípico .....	20
5.5. Metodología para el segundo objetivo .....	21
5.5.1. Análisis estadístico y fotográfico.....	22
<b>6. Resultados .....</b>	<b>23</b>
6.1. Colecta de partículas sedimentables .....	23
6.1.2. Concentración del contaminante en relación con los Estandares de Calidad del Aire (ECA).....	24
6.2. Resultados del primer objetivo .....	24
6.3. Resultados del segundo objetivo.....	29
<b>7. Discusión.....</b>	<b>34</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>39</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>40</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>41</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>48</b>



## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Concentración por cm <sup>2</sup> de MPS. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Diferencias significativas por característica fenotípica entre los grupos de individuos de los tres tratamientos.....	29
<b>Tabla 3.</b> Diferencias significativas entre individuos en el desarrollo del diámetro del tallo de los tres tratamientos. ....	30

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Dimensiones sugeridas para la fuente colectora de polvo sedimentable.....	11
<b>Figura 2.</b> Puntos colectores de material particulado en la Av. 8 de Diciembre.....	17
<b>Figura 3.</b> Distribución de los especímenes de <i>Nicotiana tabacum</i> en el invernadero de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Renovables de la Universidad Nacional de Loja .....	20
<b>Figura 4.</b> Medición de hojas y tallo de <i>Nicotiana tabacum</i> L. ....	21
<b>Figura 5.</b> Rosa de los vientos del sector.....	23
<b>Figura 6.</b> Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo A. ....	25
<b>Figura 7.</b> Desarrollo de hojas de los individuos tres y cuatro del Grupo A.....	25
<b>Figura 8.</b> Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo B.....	26
<b>Figura 9.</b> Desarrollo de hojas de los individuos nueve y diez del Grupo B.....	27
<b>Figura 10.</b> Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo C.....	27
<b>Figura 11.</b> Desarrollo de hojas de los individuos tres y seis del Grupo C.....	28
<b>Figura 12.</b> Diagrama de cajas del LT y DT de <i>Nicotina tabacum</i> L. expuestas a diferentes concentraciones de material particulado sedimentable (MPS). ....	30
<b>Figura 13.</b> Diagrama de caja comparando el desarrollo del diámetro del tallo (DT) por individuo a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS) .....	31
<b>Figura 14.</b> Diagrama de caja comparando el diámetro del tallo (DT) por grupos de individuos a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS).....	32
<b>Figura 15.</b> Gráfico de dispersión comparando el desarrollo del largo del tallo (LT) por grupos de individuos a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS).....	32
<b>Figura 16.</b> Desarrollo de hojas luego de un mes de tratamiento de contaminante .....	33

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Colocación de colectores pasivos de PVC y madera .....	48
<b>Anexo 2.</b> Concentración de MPS en cada colector luego 10 días de muestreo.....	49
<b>Anexo 3.</b> Concentración de polvo en la sección baja, media y alta de la Avenida .....	49
<b>Anexo 4.</b> Preparación de suelo en volumen de 50% tierra, 25 % arena y 25% sustrato .....	50
<b>Anexo 5.</b> Temperaturas mínimas y máximas del invernadero .....	50
<b>Anexo 6.</b> Mediciones obtenidas del desarrollo fenotípico de <i>Nicotiana tabacum</i> L. ....	51
<b>Anexo 7.</b> Largo del tallo en últimas mediciones de ciertos individuos del Grupo A.....	55
<b>Anexo 8.</b> Largo del tallo en últimas mediciones de ciertos individuos del Grupo B .....	56
<b>Anexo 9.</b> Largo del tallo en últimas mediciones en ciertos individuos del Grupo C .....	57
<b>Anexo 10.</b> Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo A .....	57
<b>Anexo 11.</b> Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo B .....	58
<b>Anexo 12.</b> Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo C .....	58
<b>Anexo 13.</b> Presencia de hojas arrugadas en los individuos 3, 4, 8 y 9 del Grupo B .....	59
<b>Anexo 14.</b> Presencia de hojas arrugadas en individuos 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9 del Grupo C.....	59
<b>Anexo 15.</b> Certificado de traducción del resumen .....	60

## **1. Título**

Respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a partículas sedimentables colectadas en un punto de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja

## 2. Resumen

El material particulado es uno de los principales contaminantes atmosféricos debido al tráfico vehicular, mismo que se asienta en la vegetación urbana, obstruyendo la radiación solar que debería llegar a cada planta para el proceso de la fotosíntesis. Por ello, el estudio de la incidencia del material particulado sedimentable (MPS) en el desarrollo fenotípico de la vegetación urbana es esencial para verificar este efecto sobre la vegetación en la ciudad de Loja. Para ello se colocaron 5 colectores pasivos de muestras de MPS en diferentes secciones de la Avenida 8 de Diciembre, uno en el redondel del Terminal Terrestre, otro en el redondel del parque de la Madre, y tres colectores más entre ambos puntos, separados 125 m entre sí. Durante 70 días el MPS colectado fue colocado sobre 30 plántulas de *Nicotina tabacum* que se desarrollaron en laboratorio, divididos en tres grupos iguales: un grupo control y dos grupos expuestos al contaminante en diferentes concentraciones; de cada plántula se midieron siete variables. Los resultados mostraron que el MPS en la avenida se encontraba fuera de los estándares de calidad del aire (ECA), establecidos por el TULSMA de  $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ , lo que pudo deberse tanto al alto tráfico vehicular como a los vientos que levantan el polvo propio de la calle. En relación al monitoreo de *N. tabacum*, los dos grupos de individuos sometidos a 0,08 y 0,24 g/día de MPS, presentaron una disminución del desarrollo del largo y ancho del tallo, así como el crecimiento de hojas nuevas y presencia de hojas malformadas en ciertos individuos. Particularmente el grupo con mayor concentración de MPS, en comparación al grupo control, mostró un mejor desarrollo del tallo y hojas, por lo que, se establece que la presencia del MPS incide en el crecimiento de *Nicotiana tabacum*.

**Palabras clave:** crecimiento, material sedimentable, monitoreo, tráfico vehicular.

## **Abstract**

Particulate matter is one of the main air pollutants due to vehicular traffic, which settles in urban vegetation, obstructing the solar radiation that should reach each plant for the process of photosynthesis. Therefore, the study of the incidence of sedimentable particulate matter (SPM) on the phenotypic development of urban vegetation is essential to verify this effect on vegetation in the city of Loja. For this purpose, five passive collectors of SPM samples were placed in different sections of the Avenida 8 de Diciembre, one in the roundabout of the Terminal Terrestre, another in the roundabout of the Parque de la Madre, and three more collectors between both points, 125 m apart from each other. For 70 days the collected SPM was placed on 30 seedlings of *Nicotiana tabacum* that were developed in laboratory, divided into three equal groups: a control group and two groups exposed to the contaminant at different concentrations; of each seedling seven variables were measured. The results showed that SPM on the avenue was outside of the air quality standards (AQS) established by TULSMA at 1 mg/cm<sup>2</sup> x 30 days, which could be due to both high vehicular traffic and street dust-lifting winds. In relation to the monitoring of *N. tabacum*, the two groups of individuals submitted to 0.08 and 0.24 g/day SPM showed a decrease in the development of stem length and width, as well as the growth of new leaves and presence of malformed leaves in certain individuals. Particularly the group with higher concentration of SPM compared to the control group, showed better development of stem and leaves, so it is established that the presence of SPM affects the growth of *Nicotiana tabacum*.

**Keywords:** growth, sedimentable material, monitoring, vehicular traffic.

### 3. Introducción

La contaminación atmosférica se caracteriza por la presencia de sustancias extrañas (polvo, partículas, gases, etc.), las cuales en su mayoría son emitidas por industrias y vehículos automotores (Gaviria et al., 2009). Entre los contaminantes más estudiados a nivel mundial se encuentra el material particulado (MP). Meszaros (1999), lo describe como un conjunto de partículas en suspensión en el aire que poseen propiedades químicas, termodinámicas, físicas, morfológicas y al depositarse llevan el nombre de partículas sedimentables que pueden traer efectos negativos a su entorno.

Dependiendo de su tamaño, se pueden agrupar en partículas finas ( $\leq 2,5$   $\mu\text{m}$ ) o gruesas ( $\geq 10$   $\mu\text{m}$ ), por lo general, partículas  $\geq 20$   $\mu\text{m}$  se caracterizan generalmente por su permanencia corta en la atmósfera, es decir, en el orden de horas (Meszaros, 1999). En la salud humana puede producir problemas cardiopulmonares, al ingresar por las vías respiratorias (Tiwary y Colls, 2010; WHO, 2013); en los animales, Douwes et al. (2003), mencionan problemas respiratorios, irritación nasal y ocular, además su concentración en la atmósfera puede provocar un desequilibrio térmico, así como impedir la visibilidad debido a la obstrucción de la radiación solar (Seoáñez, 2002).

Para solucionar este problema, Mori et al. (2018), mencionan la vegetación propia de zonas cercanas, ya que ayuda en la captación y reducción de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, estos estudios no consideran el posible efecto que tiene la concentración de partículas en las especies vegetales, tal como lo asegura Clair et al. (2002), estas partículas se asientan en la vegetación urbana afectando su morfología (hojas, crecimiento y productividad), lo que varía según la sensibilidad de la especie vegetal al contaminante.

Ramos (2012), menciona que el material particulado, en vías de alta movilidad vehicular en Bogotá (Colombia), sobre *Sambucus nigra* L., reduce su síntesis de clorofila al cabo de 3 meses de observación, así como su eficiencia fotoquímica. Además, la contaminación por partículas de ozono troposférico estudiado en Cuba, demostró que *Nicotiana tabacum* L., cultivada en laboratorio y expuesta a este contaminante refleja diferentes síntomas en la estructura de la hoja: tamaño variable, diferente color e incluso necrosis total (tizón), similares a los individuos cercanos a las vías de movilidad vehicular (Andreu et al., 2012).

Aunque, estos estudios citan el efecto de las partículas contaminantes en la estructura vegetal, en algunos sectores aún se desconoce sus efectos, tal como lo menciona el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador en el 2010, que asegura que el país no tiene investigaciones relevantes de los contaminantes atmosféricos y su efecto al entorno. Según Geo Loja (2008), los indicadores de la calidad atmosférica en la ciudad de Loja son insuficientes, debido a los pocos sistemas de monitoreo de ozono, monóxido de carbono o dióxido de nitrógeno, aún así, señalan que los casos de estudios por material particulado en Loja han reflejado algún nivel de contaminación.

De acuerdo con Hernández et al. (2016), esto se debe al incremento del parque automotor de la ciudad de Loja. El Diario la Hora del año 2021, menciona que el cantón Loja cuenta con alrededor de 60 000 vehículos que circulan libremente. Y particularmente, la Terminal Terrestre se describe como una zona de alta transición con 3 000 a 4 000 vehículos/h pico, fluctuante entre las 9h00 y 18h00 (PDOT Loja, 2020), donde las plantas se distribuyen a lo largo de esta vía, pero sin conocer realmente el posible impacto negativo del material particulado producido por los vehículos automotores sobre la vegetación urbana circundante.

Más aún, cuando las concentraciones de material particulado en esta zona son elevadas. Angamarca (2017), menciona que el material particulado (PM) 2.5  $\mu\text{m}$ , sobrepasa la norma de estándares de calidad de aire, siendo la Terminal Terrestre y la calle Ramón Pinto las zonas más afectadas. Además, Betancourt (2015), menciona que las concentraciones promedio de estas partículas en la Terminal Terrestre sobrepasaron los  $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2004 a  $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 2011 y de acuerdo con Carrión y Rengel (2011), las concentraciones promedio de PM10 en la Terminal Terrestre fue de  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con contenidos químicos de mercurio, plomo, arsénico y cobre.

Por ello, es necesario comprender cómo el desarrollo fenotípico de una especie vegetal puede estar influenciada por la presencia de partículas sedimentables, generadas particularmente por la alta movilidad vehicular de un ambiente urbano, como la Avenida 8 de Diciembre, colindante con la Terminal Terrestre de la ciudad de Loja. Además, el creciente interés por preservar el ambiente a nivel global ha hecho que éste sea un tema de importancia.

Para ello se usan especímenes vegetales susceptibles en el ámbito de la ecotoxicología, como el realizado en este estudio, para evidenciar el efecto de los contaminantes atmosféricos a su entorno (Kett et al., 2005). De esta manera, se puede comprender la incidencia de partículas



sedimentables en las especies vegetales ornamentales distribuidas en la ciudad de Loja, conservando su aspecto visual, mejorando el aspecto de la zona y beneficiando a la comunidad cercana, ya que hoy en día se puede observar partículas de polvo en la estructura de las plantas, con algunos individuos que presentan decoloración foliar.

Además, el estudio servirá como una guía base en el desarrollo de futuras investigaciones prácticas que requieran de una mejor comprensión o análisis del desarrollo fenotípico de una especie vegetal, sometido a un contaminante atmosférico, ya que como se mencionó anteriormente en el país aún los estudios relacionados a los contaminantes atmosféricos y su efecto en el entorno, son insuficientes.

Para ello, se analizó el desarrollo fenotípico de *Nicotiana tabacum* L., cultivada en laboratorio ante la exposición a partículas sedimentables colectadas de la zona de alto tráfico vehicular correspondiente a la Zona Norte de la Ciudad de Loja, específicamente en la Avenida 8 de Diciembre, ubicado en las coordenadas 3°58'41" S y 79°12'16" O (Terminal Terrestre), para responder las siguientes interrogantes: ¿La presencia de partículas sedimentables colectadas del alto flujo vehicular de los alrededores de la Terminal Terrestre de Loja incide en el desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L.? ¿Varía el desarrollo fenotípico de *Nicotiana tabacum* L., en condiciones controladas de laboratorio, a diferentes concentraciones de partículas sedimentables?, en base a la hipótesis: La presencia de partículas sedimentables produce cambios en el desarrollo fenotípico de *Nicotiana tabacum* L.

Para responder estas interrogantes se planteó el siguiente objetivo general: Analizar la respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a la concentración de partículas sedimentables generadas por la alta movilidad vehicular del transporte terrestre de la Ciudad de Loja, cuyos objetivos específicos fueron: i) Describir el desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., cultivada en condiciones controladas de laboratorio, frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables colectadas en una zona de alta movilidad vehicular y ii) Comparar el desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables recolectadas en una zona de alto tráfico vehicular.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Contaminantes atmosféricos

Los sectores que generan contaminación del aire a nivel global son principalmente hogares, industrias, medios de transporte o agricultura, aunque la combustión generada por combustibles fósiles representa la mayor parte de la contaminación, lo que representa el 95 % de los transportes a nivel mundial, dando a entender que las zonas urbanas son las más afectadas por estos contaminantes (Watts et al., 2019).

Las partículas derivadas de la oxidación de combustible, tales como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), que es un gas incoloro que se combina con el vapor de agua para formar un aerosol ultrafino denominado ácido sulfúrico que produce efectos en la salud, son una de las principales fuentes de contaminación del aire de carácter urbano. También existen otros contaminantes como las partículas en suspensión dispersas en el aire, que por su diámetro pueden permanecer horas o días, y en este sentido las que permanecen mayor tiempo en el aire son aquellas de menor tamaño (0.1-5um) (Emiliano et al., 1999).

### 4.2. Material particulado

El material particulado (PM) es un conjunto de partículas sólidas o líquidas que se encuentra presente en el aire, las cuales se las agrupa según su tamaño como PM<sub>2.5</sub> o PM<sub>10</sub>, y se refiere a todas aquellas partículas en suspensión, tales como las sedimentables  $\geq 20$  um que se caracterizan generalmente por su permanencia corta en la atmósfera, es decir, en el orden de horas (Meszaros, 1999).

Dicho material particulado posee una alta variabilidad de fuentes y transformaciones, es decir, consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza inorgánica u orgánica en diferentes distribuciones granulométricas y composiciones químicas en conjunto de los gases que las rodean. Estos niveles de material particulado en la atmósfera se las puede expresar en torno a su concentración de masa o número particular por unidad de volumen del aire (ug/m<sup>3</sup> o n/cm<sup>3</sup>) (Meszaros, 1999).

Según lo mencionado por Bengochea y Cruz (2007), las principales fuentes de material particulado de origen antrópico son las industrias, destacando, además, el tráfico vehicular en zonas urbanas como la principal fuente de partículas contaminantes, tales como el polvo sedimentable en el aire, procedentes de emisiones de motores de vehículos, desgaste de

pavimentos o neumáticos, que, por lo general su granulometría de materia carbonosa es fina  $\geq 2,5 \mu\text{m}$  (Jiang et al., 2005).

En muchas zonas urbanas se conoce que las emisiones por vehículos automotores al ambiente son más bajas que otras fuentes, como las chimeneas industriales que están en estas mismas localidades. Sin embargo, en ciertas ciudades como Loja (Ecuador), no existen muchas industrias, por lo que el parque automotor sería la principal fuente de contaminación del aire, debido a la emisión de partículas al ambiente (Orlando et al., 2016). Esto es corroborado por Angamarca (2017), quien menciona que la contaminación por material particulado (PM)  $2.5 \mu\text{m}$ , es generada principalmente por la presencia de los vehículos automotores, cuyos valores sobrepasan la norma.

Aunque, algunos autores como Alastuey et al. (2000), mencionan una distribución trimodal de  $5$  a  $10 \mu\text{m}$  y dos modas menos importantes de  $2,5$  a  $4 \mu\text{m}$  y  $10$  a  $20 \mu\text{m}$ , también existen partículas que pueden llegar a  $100 \mu\text{m}$ . Estas partículas de diámetro considerable son conocidas como partículas sedimentables ya que no permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo (González, 2012).

Todas las partículas no permanecen el mismo tiempo en la atmósfera, ya que dependen de su disposición seca o húmeda. Además, sus tiempos de residencia depende mucho de su diámetro, así como de sus propiedades y composición química (Bengochea y Cruz, 2007).

Tal es así que para partículas con diámetro menores a  $0,02 \mu\text{m}$ , su tiempo de suspensión es de apenas horas, debido a su rápida transformación a la moda Aitken. Mientras que, para partículas de mayor tamaño, su tiempo de permanencia en la atmósfera depende mucho de su diámetro, es decir, para partículas mayores a  $20 \mu\text{m}$  (que se conocen comúnmente como pesadas), es de un par de horas dada la acción de la gravedad, pero partículas de  $2$  a  $5 \mu\text{m}$  pueden permanecer suspendidas de  $3$  a  $4$  días (Meszaros, 1999).

En cuanto a sus propiedades, las de tipo termodinámicas influirá mucho en la formación de partículas secundarias, tales como la condensación o nucleación, dependiendo mucho de los gases precursores, así como de las condiciones ambientales siendo la temperatura y humedad. De esta manera se entiende que la persistencia de las partículas en la atmósfera tendrá una variación estacional, tales como en compuestos de nitrato amónico (Adams et al., 1999).

En lo referente a la composición química, se conoce que el material higroscópico de las partículas en la atmósfera tendrá diferente tiempo de permanencia de acuerdo con otros factores. Es así como partículas con diámetro de 0.1-1 um poseen un tiempo de vida medio similar al del agua, siendo de un orden de 10 días (Pósfai y Molnár, 2000), aunque el tiempo de eliminación de partículas carbonosas de naturaleza hidrofóbica, depende mucho de su disposición húmeda, donde su tiempo de residencia es superior a la fracción soluble (Gaffney et al., 2002).

Aunque muchas de las partículas del material particulado no se concentren durante mucho tiempo en el ambiente, estos pueden ocasionar efectos adversos si son emitidas en grandes cantidades. Un ejemplo de esto es la visibilidad, es decir, no permite la observación de un objeto a una determinada distancia, aunque existen otros efectos relacionados a la salud, clima o vegetación (Seoáñez, 2002).

El material particulado al depositarse en cualquier superficie es conocido como partícula sedimentable (PS) y dependiendo de su concentración puede traer efectos negativos, en torno a la salud humana, se estima que el 3 % de las enfermedades cardiopulmonares a nivel mundial se relacionan a elevados niveles de material particulado en el ambiente. Esto debido a que ingresa mediante vías respiratorias (Tiwary y Colls, 2010; WHO, 2013). En especies vegetales en cambio obstruyen la luz a las hojas (Seoáñez, 2002).

En sí, estudios dan a entender el efecto de estas partículas en el ambiente. De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud Pública de México (2010), la concentración de partículas en la atmósfera puede provocar un desequilibrio térmico, debido a que la radiación solar ya no puede ser reflejada o absorbida, ya que muchas veces esta depende de los compuestos en el aire como sulfatos, carbón orgánico o nitratos. Estos reflejan la radiación solar, además, alteran o provocan cambios en las propiedades de las nubes de manera indirecta, ya que existe un cambio en su distribución de tiempo y espacio.

Sin embargo, en algunos sectores aún no se realizan las investigaciones adecuadas del efecto de estas partículas, según lo mencionado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2010), el país no existe investigaciones a profundidad en torno a estos temas, comúnmente de especies vegetales con la deposición de partículas sedimentables.

### 4.3. Polvo sedimentable

El material particulado sedimentable o también conocido como polvo sedimentable (PS), por lo general tiene diámetro  $\geq 10$  micras, debido a este tamaño y a su peso son atraídos por la fuerza gravitatoria, por lo que se sedimentan y depositan en la zona donde se origina: edificios, avenidas, calles, áreas verdes, etc. Este polvo puede volver a ser inyectado al aire por los diferentes flujos de aire de las zonas urbanas, pero debido a su peso tienden a precipitarse de forma rápida. Por esta razón los períodos de permanencia en el aire son relativamente cortos (Ávila, 2016).

De acuerdo con este mismo autor, estas partículas contaminantes generalmente son producidas por procesos de transporte dentro y fuera de las ciudades, refinería, procesos extractivos, emisiones volcánicas, etc. De todas las partículas que se pueden generar las más pequeñas son las más peligrosas porque pueden penetrar de manera más rápida dentro de un organismo vivo y puede producir alteraciones respiratorias.

Al igual que otros contaminantes, el polvo sedimentable cuenta con límites de concentración en un medio atmosférico, tal como lo señala el Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Calidad del Aire Ambiente [TULSMA], y el artículo 4 del Acuerdo Ministerial No. 97, publicado en el Registro Oficial Suplemento 387 del 4 de noviembre del 2015 para Ecuador, donde mencionan que para el caso del polvo sedimentable “la máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ )”.

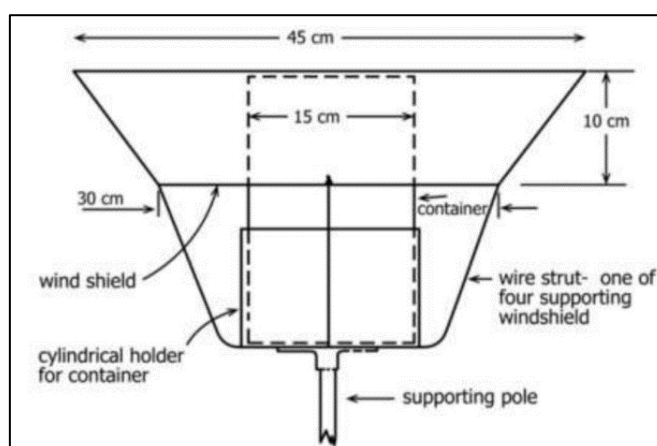
La concentración como dispersión de estos contaminantes en la atmósfera está determinada principalmente por la velocidad del viento, que juega un papel importante en la dispersión del material particulado, así como su posterior disposición en la superficie, aunque su remoción depende de algunas características como composición química, diámetro de partícula y fuente emisora (Arrieta, 2016). Aunque en un determinado sector no se presente precipitación ni humedad, la velocidad del viento es característico de muchos sectores, y mientras exista una velocidad de viento considerable, los contaminantes como el polvo sedimentable, se desplazarán y dispersarán, pero en ausencia o baja velocidad de este, el contaminante se acumula (Venegas y Mazzeo, 2012).

Gallo y Paredes (2019) mencionan que, si la dirección del viento cambia constantemente, los contaminantes son desplazados hacia una mayor área, caso contrario, si la

dirección del viento es constante, puede darse un desplazamiento dirigido, pero con mayor concentración del contaminante. Lo mismo es corroborado por Tiwary y Colls (2010), quienes mencionan que la velocidad del viento es un factor que favorece la dispersión de partículas contaminantes, por lo que podría incidir en la variación de colecta y medición de partículas sedimentables en equipos usadas para medición y posterior análisis en laboratorio.

Existen diversas formas para determinar la concentración de partículas contaminantes, entre ellos están los muestreadores pasivos-activos, sensores remotos y bioindicadores, cada uno con ventajas y desventajas a la hora de tomar de muestra. De todos estos tipos, los muestreadores pasivos (forma de tubo o disco) son los más conocidos, ya que su principal ventaja es su simplicidad y bajo costo, además de extenderse a muchas unidades del territorio y su exposición puede variar desde un par de horas hasta un mes, y usa la propia gravedad para que el contaminante se deposite hasta cuando se requiera medirlo en laboratorio (PNUMA y OMS, 2002).

Para el desarrollo de estos colectores, Vallejo et al. (2016) mencionan que la captación de las partículas es hecha en contenedores de acero inoxidable o plástico resistente a la intemperie. Debe poseer una abertura de 15 cm de diámetro con una altura no menor al doble de su diámetro, tal como lo menciona la norma ASTM D1739:98. Además, el contenedor debe estar provisto de una barrera rompeviento, y debe ser secado en estufa para eliminar cualquier humedad. Luego de ello, será ubicado en puntos estratégicos a 2 m del nivel del suelo, en un espacio abierto y alejado de muros verticales, árboles o edificios.



**Figura 1.** Dimensiones sugeridas para la fuente colectora de polvo sedimentable  
Nota: ASTM International (2010).

Una vez que se han colectado las partículas dentro de estos tubos colectores, se los lleva a pesar a laboratorio, donde se analizará la presencia de sustancias químicas o metálicas. En otras ocasiones son usados en experimentos, para analizar su influencia en diferentes concentraciones sobre un determinado organismo, como el realizado por Préndez et al. (2022) en una especie vegetal (*Quillaja saponaria*), sometida a varias concentraciones de material particulado.

En el ambiente, cuando existe una cantidad considerable de partículas sedimentables depositadas en superficies como las hojas de las plantas, éstas pueden reducir su actividad fotosintética, debido a la obstrucción de la radiación solar que llega a las hojas, lo que influye incluso en su crecimiento. Esto puede provocar incluso clorosis, epinastia o necrosis (Seoáñez, 2002).

De acuerdo con Hernández (2017), estas partículas afectan al proceso de intercambio gaseoso, como la transpiración, debido a la obstrucción de los estomas de la hoja, aunque esto depende de la especie, ya que partículas con diámetro inferior de 10 a 20  $\mu\text{m}$  pueden penetrar en el interior del tejido de las hojas cuando éstas se abren. Esto provoca reacciones con otros compuestos, los cuales modifican el metabolismo de la planta.

El estudio de Egas et al. (2018), realizado sobre cuatro especies arbóreas de Santiago de Chile a diferentes concentraciones de partículas sedimentables, cuyas características morfo-anatómicas se ven afectadas, se evidencia como el largo y ancho de los estomas de la parte adaxial y abaxial de las hojas varía en cuanto a la concentración y diámetro de partículas. Allí se reporta que *Schinus molle*, exhibe un posible mecanismo de defensa, ya que presenta mayor rugosidad en la hoja donde la concentración de partículas gruesas es mayor. Por ello se menciona que la forestación urbana debe ser estudiada para seleccionar correctamente especies a forestar, ya que de acuerdo con Pourkhabbaz et al. (2010), las especies vegetales pueden defenderse de la absorción de contaminantes con un menor número de estomas y de menor tamaño, pero esto puede significar un aumento de su obstrucción y la reducción de su síntesis foliar. Por otro lado, otras especies pueden amentar el tamaño de sus estomas.

Otro caso de estudio es el realizado por Ramos (2012), donde menciona como *Sambucus nigra* L., es afectada por la presencia de material particulado de origen vehicular, que suelen agruparse en partículas de mayor tamaño que luego se depositan por la acción de la gravedad en la planta, reduciendo su síntesis de clorofila, así como su eficiencia fotoquímica.

Según Ávila (2016), la cantidad de partículas en la atmósfera que luego se pueden depositar en cualquier superficie como las especies vegetales está determinada por la acción del viento, la cual remueve o transporta estas partículas.

#### **4.4. Análisis en laboratorio de partículas contaminantes**

Algunas investigaciones usan cámaras de crecimiento controlado o laboratorio, para un mejor desarrollo de una especie vegetal, otras son usadas para determinar como un contaminante u agente externo puede afectar a una determinada especie vegetal. Dichas cámaras de crecimiento son espacios definidos para el crecimiento o germinación de las plantas y pueden variar en tamaño, forma e inclusive en materiales de construcción y nivel tecnológico (Langhans y Tibbitts, 1997).

En pocas palabras las cámaras o cuartos de laboratorio son espacios diseñados para dar a las semillas o plantas iniciales condiciones necesarias para su crecimiento, existen cámaras que son más sofisticadas que otras en capacidad de volumen o en su capacidad hermética, ya que es usada para posibles investigaciones que requieren de control de gases de manera precisa o de radiación especial (Langhans y Tibbitts, 1997).

Un ejemplo del uso de estas cámaras de crecimiento es el realizado por Préndez et al. (2022), donde determina los efectos del material particulado en *Quillaja saponaria*. Esta especie fue sometida a diferentes condiciones de estrés hídrico, en las que unas eran regadas de manera moderada y otras no, agregando concentraciones variadas de partículas contaminantes. Las plantas regadas presentan una tendencia a ser más afectadas en su rendimiento máximo fotosistémico por las partículas en el aire que las plantas con un riego restringido, tanto para material particulado fino como grueso, considerando a los vehículos a diésel como uno de los principales contaminantes, ya que son los que generan estas partículas.

Estos resultados se deben a que la planta, al estar en un ambiente de estrés hídrico, provoca que los sistemas de transporte de iones y agua por la membrana funcionen de tal modo que controlan los cambios de presión de turgencia en las células protectoras por lo cual cierran sus estomas. Esto implica un menor intercambio gaseoso y metabolismo retardado, el efecto contrario se debe a que la captura de MP obstruye los estomas, lo cual reduce la absorción de la luz solar, además de afectar el intercambio gaseoso y su follaje disminuye la producción de clorofila (Jurán et al., 2021).



Otro caso ocurre por la quema de combustible de origen vehicular, en donde las partículas gaseosas reaccionan con el sol produciendo el ozono troposférico, aquí *Nicotiana tabacum* L., reflejó diferentes síntomas en su estructura, incluso de la zona donde se distribuía. Esta presenta síntomas graves en la morfología de sus hojas, tales como: tamaño variable, diferente color e incluso necrosis total (tizón) (Andreu et al., 2012).

#### **4.5. Características biológicas de *Nicotiana tabacum* L.**

De acuerdo con Machado y González (1984), *Nicotiana tabacum* L. es una planta originaria de América del Sur, susceptible a los cambios o factores que integran el medio donde se desarrolla, tanto en aspectos cuantitativos como cualitativos. Se registran más de 60 especies, catalogadas en tres subgrupos: *Nicotiana rustica*, *Nicotiana petunoides* y *Nicotiana tabacum*, esta última con cuatro variedades usadas para comercialización, las cuales se clasifican en: Purpúrea, Brasileenses, Havanensis y Virginia (Moreno et al., 2020).

De acuerdo con Charpantier (1988), la planta de tabaco es dicotiledónea perteneciente a la división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida y subclase Asteridae. Está dentro del orden Solanales, con su familia *Solanaceae*. Se la clasifica en el género *Nicotina* y su nombre científico es *Nicotiana tabacum* L. (Moreno et al., 2020).

Es considerada una especie anual con raíz fibrosa, de tallo erecto redondo y semileñoso de color blanco o verde, que puede registrar alturas de 1,4 a 2,7 m. Posee numerosas hojas largas alternas, sésiles, poco decumbentes, ovaladas de formas punteadas, color verde, quebradizo y presentan su fruto en una cápsula (Machado y González, 1984). Es de crecimiento rápido, donde las raíces por lo general crecen desde el día 24 al 32 (González y Gurdíán, 1998).

De acuerdo con Charpantier (1988), la calidad del suelo influye en el desarrollo de esta especie, en particular puede crecer en muchos tipos de suelos siempre y cuando se encuentre en un límite de acidez de 5 y 6 de pH, siendo 7 el más adecuado para el crecimiento. Además, requiere de nutrientes en el suelo para su normal desarrollo. Roque (2017), menciona que se requiere por hectárea: 35-50 kg de fósforo, 110-125 kg de nitrógeno, 15-30 kg de magnesio y 140-160 kg de potasio, esto si se desea que la planta de buenos resultados en la agricultura.

Como se mencionó, esta especie es muy susceptible a cambios respecto a su entorno. González y Gurdíán (1998), señalan algunos cambios que se pueden presentar, según las condiciones de su entorno. Por ejemplo, su temperatura óptima es de 18 y 28 °C, pero en años

más secos presentan más alcaloides, lo que los hacen más aromáticos. Con respecto a la luz, dependiendo de la cantidad de radiación solar que reciba la planta presentará una textura y grosor de hoja, además de un contenido de nicotina variado. Esta planta puede soportar la sequía, aunque no durante mucho tiempo, pues el tamaño máximo de su hoja se obtiene con una adecuada turgencia y se mantiene de esta manera en todo su ciclo. En lo que se refiere al viento, estos pueden causar traumatismo y rotura en la planta, además de incrementar la proporción leñosa.

Aunque, no solo depende de condiciones ambientales para ver cambios fisiológicos o morfológicos de la, Andreu et al. (2012), reporta que el O<sub>3</sub> afecta a *Nicotiana Tabacum* L. sobre todo en épocas invernales (diciembre-febrero), cuando la incidencia de este contaminante aumenta según la edad fisiológica de la especie, donde la zona basal es la más afectada y en las hojas se refleja un tamaño variable y de diferente coloración, produciendo incluso la necrosis total (tizón) de la planta.

Para evaluar las características morfológicas de una especie vegetal ante la presencia de partículas contaminantes, es necesario contar con instrumentos adecuados que permitan medir dichas características, para lo que se usan calibradores digitales. De acuerdo con Montoya et al. (2007), es necesario analizar la forma, tamaño y número de hojas, longitud y diámetro de tallo, así como el número de entrenudos y diámetro de la inflorescencia.

## **5. Metodología**

### **5.1. Área de estudio**

Este estudio se realizó en el invernadero de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja (UNL). Se colectó material particulado sedimentable (MPS) en la Avenida 8 de Diciembre ubicada en la Zona Norte de la ciudad de Loja, en las coordenadas 3°58'41" S y 79°12'16" O, cercano a la Terminal Terrestre, que posee una demanda de entre 8 000 a 10 000 pasajeros de lunes a domingo, con un estacionamiento usado por 130 vehículos/hora, cuando su capacidad es de 41 vehículos/hora. En sus alrededores circulan diariamente entre 3 000 a 4 000 vehículos en hora pico, fluctuante entre las 9h00 y 18h00 (PDOT Loja, 2020). Este sector de muestreo se ubicó a una altitud de 2 100 m s.n.m., cuya temperatura media anual es de 18 °C, y vientos promedios de 9,5 km/h entre mayo a septiembre y 5,8 km/h entre septiembre a mayo (Weather Spark, 2016).

La concentración de vehículos en esta zona implica la emisión de partículas que inciden en su entorno (Bengochea y Cruz, 2007) y que podrían estar afectando las diferentes especies vegetales: arbustos, pastos, flores o pequeños a grandes árboles, que han sido sembradas para ornamentación de la ciudad, ya que se observa concentración de polvo o partículas sedimentadas en la estructura de algunas plantas de la zona, además de decoloración en las hojas.

### **5.2. Recolección de partículas sedimentables**

#### ***5.2.1. Elaboración de envases colectores***

La elaboración de los envases colectores se basó en las dimensiones proporcionadas por la norma ASTM D1739:98 (Figura 1, Anexo 1 a-e) y en el interior de cada colector se colocó un papel filtro para recoger fácilmente la muestra, conociendo anteriormente su peso inicial en una balanza de precisión de 0,01 g (Anexo 2). El material usado para la elaboración de estos envases, fueron tubos de PVC, debido a que son más livianos, fácil de manipular y económicos.

Además, se elaboró un recipiente rectangular casero de madera, de 60 cm de ancho x 50 cm de largo x 10 cm de alto, envuelto en plástico (Anexo 1 f), para una mayor colecta del contaminante, ya que dichos colectores de PVC no permiten una gran colecta de material sedimentable, sino conocer su concentración por cm<sup>2</sup> basada en los Estándares de Calidad del

Aire (ECA), establecidos por el TUSLMA, sirviendo como referencial inicial a la concentración que fueron expuestos los especímenes en invernadero.

### 5.2.2. Colocación de envases colectores

Entre marzo y mayo del 2024, se ubicaron los colectores de plástico PVC a 2 m del suelo, en base a la norma ASTM D1739:98, en un tramo de la Avenida 8 de Diciembre. Uno se ubicó en el redondel de la Terminal Terrestre, otro en el redondel del Parque de la Madre y entre estos dos puntos, se colocaron tres colectores adicionales (Figura 2), separados 125 m entre sí.

La disposición de los colectores se basó en criterios de seguridad, tráfico vehicular y accesibilidad, según lo detalla Vallejo et al. (2016). De esta manera, los colectores permanecieron cercanos a la vía, fueron de fácil colocación, traslado y expuesto sin presencias de lluvias y la poca humedad que se dio en el interior por presencias de lloviznas fue evaporada por el calor del día. Mientras que los colectores de madera, ubicados uno junto a cada colector de PVC permaneció al nivel del suelo, para una mejor toma de muestra del contaminante.



**Figura 2.** Puntos colectores de material particulado en la Av. 8 de Diciembre  
**Nota:** Elaboración propia

### 5.2.3. Análisis de la rosa de los vientos

Para interpretar la influencia del viento en el levantamiento y concentración diferenciada de MPS en cada colector, se utilizó el programa WRPLOT para los 10 primeros

días en que se determinó el peso referencial a colocar en los especímenes. Este programa permitió analizar la rosa de los vientos, con la información que proporciona la aplicación WeatherLink y la estación meteorológica Davis Vantage-Vue perteneciente al proyecto Gestión de Gases de Efecto Invernadero en la periferia urbana de la ciudad de Loja. Esta aplicación brinda datos meteorológicos cada media hora, y el equipo fue ubicado en la terraza del Municipio de Loja a mediados de marzo del año 2024 para obtener mediciones más equitativas y representativas de las condiciones climáticas de toda la ciudad.

### 5.3. Estimación de partículas sedimentables colectadas

#### 5.3.1. Estimación de la muestra a usar

Durante 70 días se colectaron muestras de MPS en la zona descrita. Se consideró la media del peso colectado al décimo día en los colectores de PVC, debido a que los especímenes fueron analizados cada 10 días, según lo sugerido por Montoya et al. (2007), para determinar si un agente externo incide en una especie vegetal. Para ello se usó una balanza de precisión de 0,01 g y posteriormente se fraccionó para 10 días, obteniendo 0,08 g/día de MPS, como muestra inicial a colocar en los especímenes y a partir de ésta, se usó el triple de su concentración, es decir 0,24 g/día.

#### 5.3.2. Estimación de la concentración en relación con los Estándares de Calidad del Aire (ECA)

Para determinar si la concentración del MPS estuvo dentro de los estándares de calidad del aire establecidos en el Anexo 4 del Libro VI del TULSMA del Aire Ambiente (2017), se utilizó la siguiente expresión para cada colector de PVC.

$$MPS = \frac{Pf - Pi}{A} * T$$

Donde:

- **MPS**= Material particulado sedimentable.
- **Pf**= Peso final del papel filtro luego del muestreo.
- **Pi**= Peso inicial del papel filtro antes del muestreo.
- **A**= Área del papel filtro ( $A = \pi * r^2$ ).
- **T**= Tiempo en días (Marcos y Valderrama, 2012) y MAE (2015).

Con los resultados obtenidos se determinó una media total de MPS de todos los colectores de PVC y se utilizó la siguiente expresión de concentración corregida, para ajustar

el resultado encontrado, considerando una presión atmosférica de 1 017,3 mb, información proporcionada por The Weather Channel.

$$Cc = Co * \frac{760mmHg}{Pbl mmHg} * \frac{(273 + t^{\circ}C) K}{298 K}$$

Donde:

- **Cc**= Concentración corregida.
- **Co**= Concentración observada (MPS).
- **Pbl**= Presión atmosférica local.
- **t °C**= Temperatura local (Marcos y Valderrama, 2012) y MAE (2015).

#### **5.4. Metodología para el primer objetivo**

**Describir el desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., cultivada en condiciones controladas de laboratorio, frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables colectadas en una zona de alta movilidad vehicular.**

##### ***5.4.1. Preparación y distribución en maceteros***

Las plántulas de *Nicotiana tabacum* fueron adquiridas en la parroquia Vilcabamba del cantón Loja, que se encontraban entre los 45 a 50 días de crecimiento y fueron trasladadas al invernadero de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

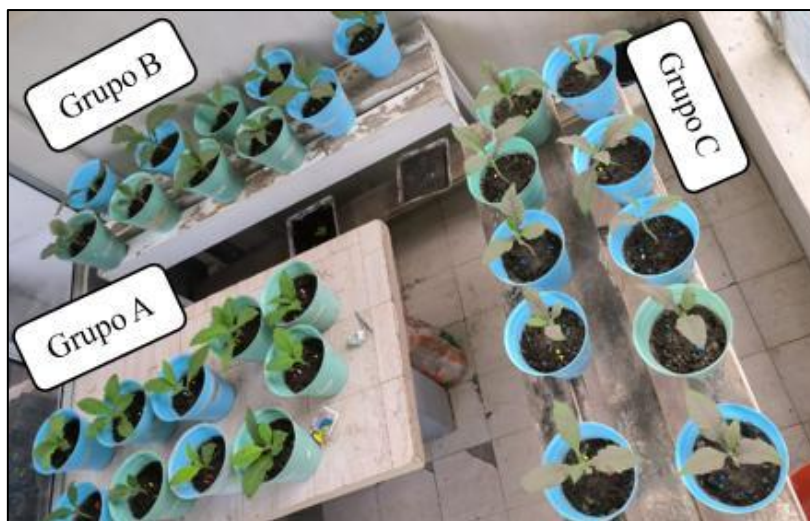
Las plántulas fueron sembradas en macetas individuales y distribuidas en tres grupos de 10 individuos, y ubicadas en un espacio del invernadero de 2,5 x 2,5 m. En cada maceta se usó 1 454 kg de suelo abonado, 0,104 kg de sustrato y 0,686 kg de arena (Anexo 4), en proporciones del volumen total de 50 % de suelo abonado, 25 % de sustrato y 25 % de arena, colocando al final agua caliente para eliminar cualquier impureza, siguiendo las recomendaciones de la encargada del invernadero y laboratorio de la Facultad Agropecuaria de Recursos Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Además, a través de un pH-metro se corroboró que el suelo presentaba un pH neutro (Anexo 4), de acuerdo con Charpantier (1988) que menciona que se requiere un pH entre 6,5 a 7,5. De acuerdo con González y Gurdían (1998), se requiere una temperatura entre los 18 a 28 °C para el desarrollo de esta especie vegetal. El espacio donde fueron colocados los especímenes vegetales cumplía con este criterio, debido a que es un espacio cerrado sin

entradas de aires (observación personal). Para corroborar estas temperaturas se usó diariamente un termohigrómetro, que registró una variación entre los 30 °C al medio día, con mínimas de 17,8 °C en la madrugada, siendo el 3/6/2024 el único día que registró 16 °C en la madrugada (Anexo 5).

#### **5.4.2. Colocación del contaminante**

En total se cultivaron 30 individuos de *Nicotiana tabacum* L. bajo condiciones controladas de laboratorio. A cada grupo de plántulas se les colocó diferentes cantidades del material particulado colectado en los colectores de PVC y de madera, usando un tamiz de acero, malla N° 120, para distribuir de forma homogénea el contaminante. El Grupo A fue el grupo de control y no fue sometido al contaminante, en el Grupo B, cada individuo fue sometido a 0,08 g/día de MPS, mientras que en el Grupo C a 0,24 gr/día. Cabe mencionar que los grupos se distaban 0,25 m entre sí, para impedir que el contaminante caiga en el grupo no correspondiente (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución de los especímenes de *Nicotiana tabacum* en el invernadero de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Renovables de la Universidad Nacional de Loja

**Nota:** Elaboración propia

#### **5.4.3. Descripción del desarrollo fenotípico**

Cada 10 días, según lo sugerido por Montoya et al. (2007), mediante un enfoque cualitativo y cuantitativo se fueron tomando medidas para identificar cambios de tamaño en hojas y tallo, así como en la coloración, para lo que se usó un calibrador digital de 0,01 mm de precisión (Figura 4). Las mediciones fueron registradas asignándoles un código a cada

individuo dentro de cada grupo, a los individuos del grupo A, se les asignó desde el número A1 al A10 y así sucesivamente.

Entre los datos que se registraron en una matriz de datos en Excel (Anexo 6) están: i) efectos observados (EO) sobre hojas, como decoloración, ii) longitud de tallo (LT) en mm, desde el suelo hasta el primer nudo de desarrollo del tallo, iii) diámetro de tallo (DT) en mm, considerando la mitad de la longitud del tallo, iv) largo de hoja 1 (LH1) en mm, referente al largo de la primera hoja, v) largo de hoja 2 (LH2) en mm, referente al largo de la segunda hoja, vi) ancho de hoja 1 (AH1) en mm, referente al ancho de la primera hoja, vii) ancho de hoja 2 (AH2) en mm, referente al ancho de la segunda hoja y viii) número de hojas (NH) donde se contabilizó el total de hojas desarrolladas, los registros también fueron guardados mediante fotografías.

Para medir el largo de la hoja, se tomó desde la base del peciolo hasta la punta de la hoja y para el ancho, la mitad entre esta medición. Para el largo del tallo, se tomó desde la base del suelo hasta el primer nodo y para su diámetro la mitad entra esta medición. Cabe mencionar que la primera medición sirvió de referencia al tamaño inicial que se encontraba cada espécimen. Luego, se registró cada 10 días, el desarrollo de hojas y tallo en milímetros.



**Figura 4.** Medición de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L.

**Nota:** Elaboración propia.

## 5.5. Metodología para el segundo objetivo

**Comparar el desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables colectadas en una zona de alto tráfico vehicular**



### ***5.5.1. Análisis estadístico y fotográfico***

Para probar la normalidad y homocedasticidad de cada grupo de *Nicotiana tabacum* L., con diferentes tratamientos del contaminante, se realizó la prueba estadística Lilliefors a través del programa Past4. Mediante la prueba Kruskal-Wallis, se observaron diferencias significativas entre la media de los tratamientos por característica fenotípica, ya que los datos no presentaron una distribución normal.

Además, se usó la prueba de comparaciones múltiples no paramétricas del método de Dunn, que es una extensión de la prueba de Kruskal-Wallis, para evidenciar distinciones entre la concentración de partículas sedimentables con el desarrollo fenotípico. Para observar diferencias entre individuos por tratamiento, se realizó un ANOVA, para los individuos que presentaron distribución normal y usando la prueba pareada de comparación múltiple de Tukey, se obtuvieron los pares de individuos que difieren entre sí. Mediante el programa R, se obtuvieron los gráficos comparativos para cada análisis estadístico.

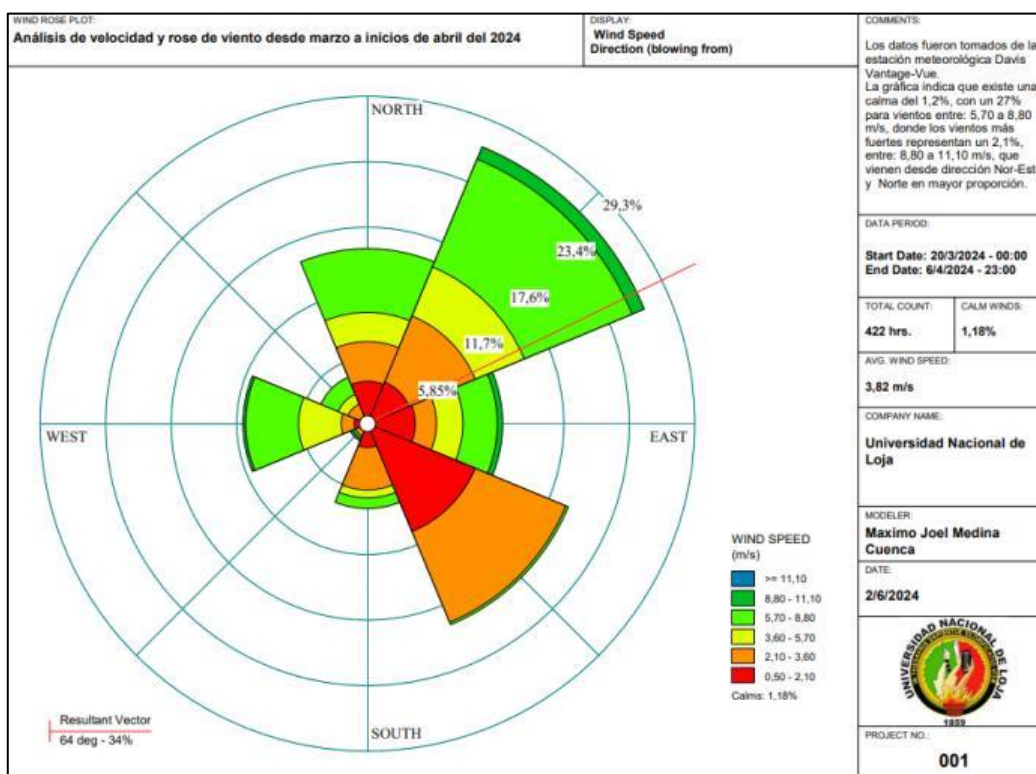
Mediante registros fotográficos, se observó el desarrollo de hojas y tallo de los individuos de cada grupo, para luego establecer distinciones de cada uno. Cabe mencionar que igualmente se describió la decoloración o deformidad de los especímenes, pero este análisis fue más descriptivo.

## 6. Resultado

### 6.1. Colecta de partículas sedimentables

Luego de los 10 primeros días de toma de muestra y haber pesado el papel filtro en una balanza analítica (Anexo 1), conociendo su peso inicial de 1,62 g se obtuvo las siguientes mediciones por colector: Colector 1: 0,56 g; Colector 2: 0,57 g; Colector 3: 1,1 g; Colector 4: 0,89 y Colector 5: 0,82 g.

La concentración del contaminante no fue similar en cada colector, obteniendo en promedio 0,79 g en los cinco colectores, siendo el tercero y cuarto aquellos que presentaron mayor cantidad de partículas colectadas, mismos que estuvieron ubicados en la parte media de la zona de estudio (Figura 2), producto de una mayor cantidad de polvo en el suelo (Anexo 2). Con la rosa de los vientos se evidenció vientos en particular de la zona Noreste a velocidades que llegaban a los 31,68 km/h, considerables para llevar consigo contaminantes de un sector a otro. Esta acción en conjunto con la circulación vehicular, levantaban el polvo del suelo, dependiendo de su concentración, en la Avenida 8 de Diciembre.



**Figura 5.** Rosa de los vientos del sector  
**Nota:** Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 5, los vientos provenientes del Sureste se encontraban a velocidades entre: 0,5 a 3,60 m/s; sin embargo, son los de mayor frecuencia en toda la zona (54,4 %). En cambio, los vientos más fuertes provienen del Noreste, lo hacían a velocidades de: 5,70 a 8,80 m/s, que representan el 27 % de todos los vientos, con un 15,1 % para vientos entre 3,60 a 5,70 m/s y solo el 2,1 % representan vientos de 8,80 a 11,10 m/s. El porcentaje restante representó solo el 1,2 % para vientos en calma, es decir, menores a 0,5 m/s.

### **6.1.2. Concentración del contaminante en relación con los Estándares de Calidad del Aire (ECA)**

La concentración del MPS se encontraba fuera de los estándares de calidad del aire (ECA) establecidos por el TULSMA (1 mg/cm<sup>2</sup> x 30 días), inclusive con su concentración corregida como se muestra en la Tabla 1, con un promedio de 4,67 mg/cm<sup>2</sup> x 10 días.

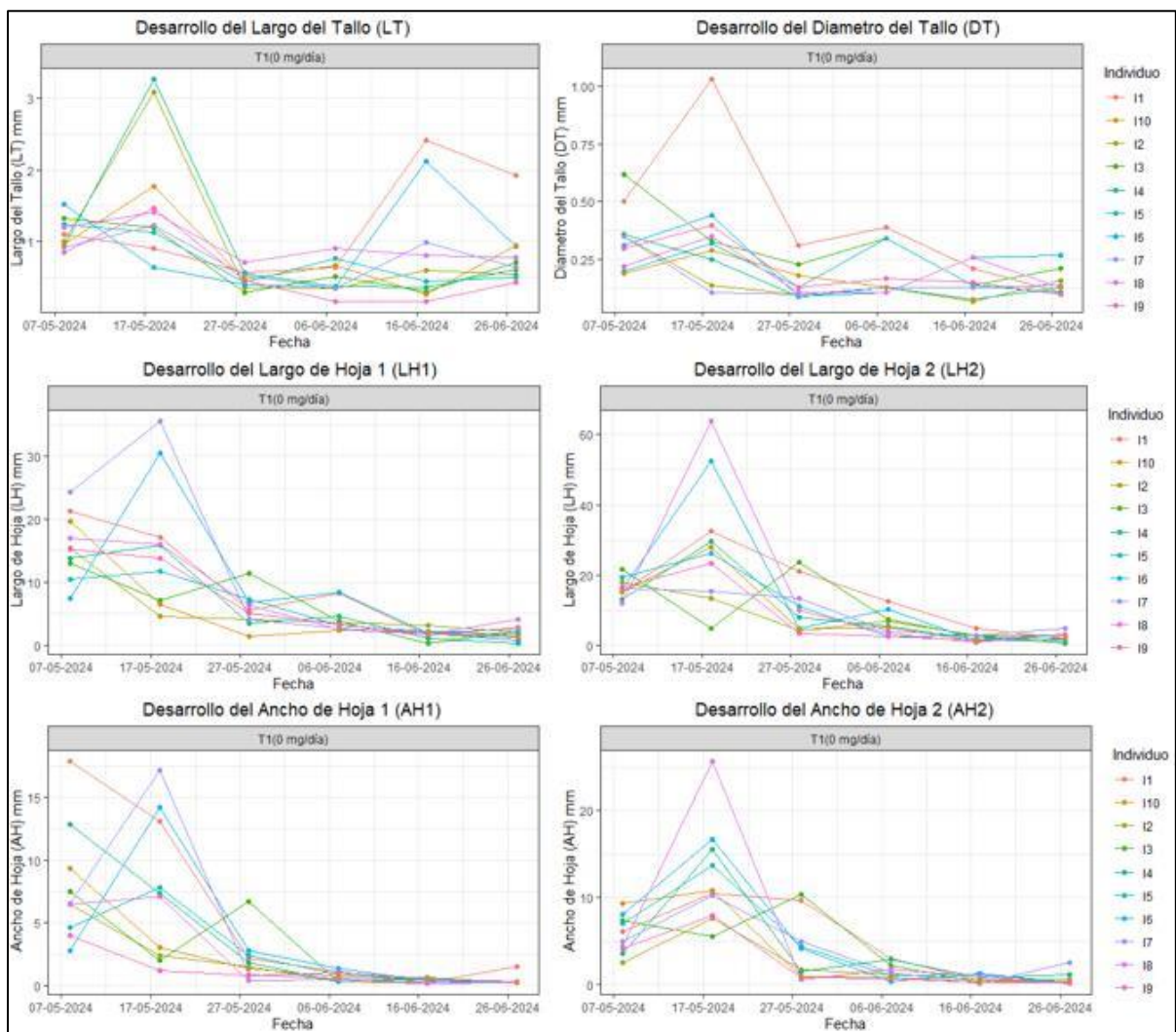
**Tabla 1.** Concentración por cm<sup>2</sup> de MPS.

<b>Colector</b>	<b>Concentración (mg/cm<sup>2</sup> x 10 días)</b>	<b>Con. corregida (mg/cm<sup>2</sup> x 10 días)</b>
1	3,4	3,31
2	3,5	3,40
3	6,7	6,52
4	5,4	5,25
5	5,0	4,86

## **6.2. Resultados del primer objetivo**

### **Descripción del desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., cultivada en condiciones controladas de laboratorio, frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables colectadas en una zona de alta movilidad vehicular**

Analizando cada grupo, luego de los 60 días de medición, se observaron diferencias en el desarrollo fenotípico en relación con el tratamiento aplicado. En el Grupo A, que no fue sometido al contaminante (T1), las hojas seleccionadas para medición, cada individuo mostró un desarrollo de hasta 30 milímetros en las primeras mediciones, en particular los individuos 1, 2, 4, 6 y 7, como se observa en la Figura 6. En las mediciones restantes, el desarrollo fue menor a excepción del Largo del Tallo (LT), donde los individuos 1 y 6 mostraron un crecimiento de 2 y 2,5 mm en la quinta y sexta medición, respectivamente (Anexo 7).



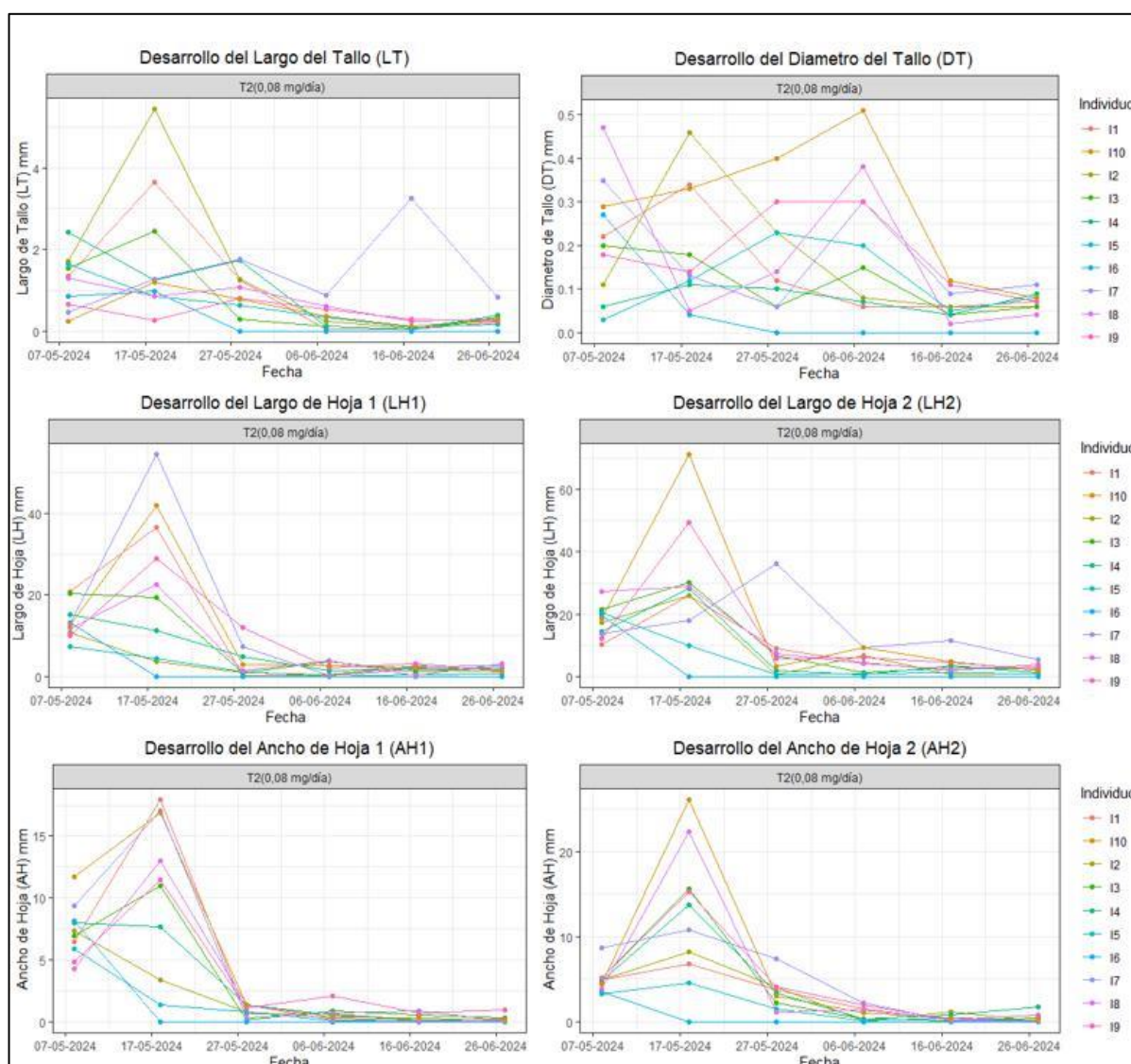
**Figura 6.** Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo A.  
**Nota:** Elaboración propia.

En ciertos especímenes las hojas de menor tamaño se desarrollaron a la par e inclusive sobrepasando a ciertas hojas que fueron seleccionadas para medición, como se observa en la Figura 7, con tres especímenes que mostraron hojas amarillas (Anexo 10).



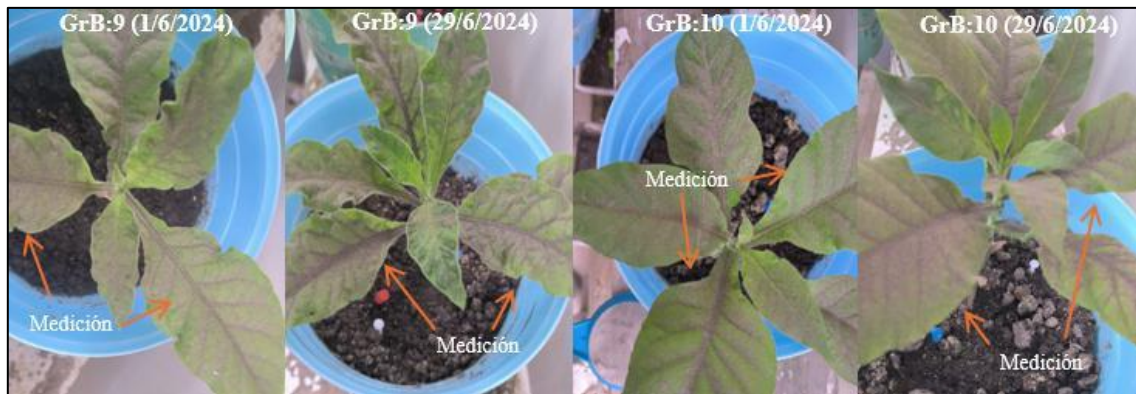
**Figura 7.** Desarrollo de hojas de los individuos tres y cuatro del Grupo A.  
**Nota:** Fotografía propia.

Por su parte, los individuos del Grupo B, sometidos a 0,08 g/día de MPS (T2) mostraron un mejor desarrollo en milímetros en todas sus características fenotípicas en las dos primeras mediciones, en particular los individuos 1, 2, 3, 8 y 10; similar al primer grupo a excepción del diámetro del tallo (DT), que evidenció hasta 0,50 mm en desarrollo, pero en las dos últimas mediciones hasta 0,1 mm, como se muestra en la Figura 8. El individuo 6 no mostró desarrollo desde la tercera medición, debido a que fue el único espécimen que murió y el individuo 7 en la quinta medición destacó de los demás especímenes en el Largo del Tallo (LT), con 3 mm adicionales, donde pocos individuos se desarrollaron (Anexo 8).



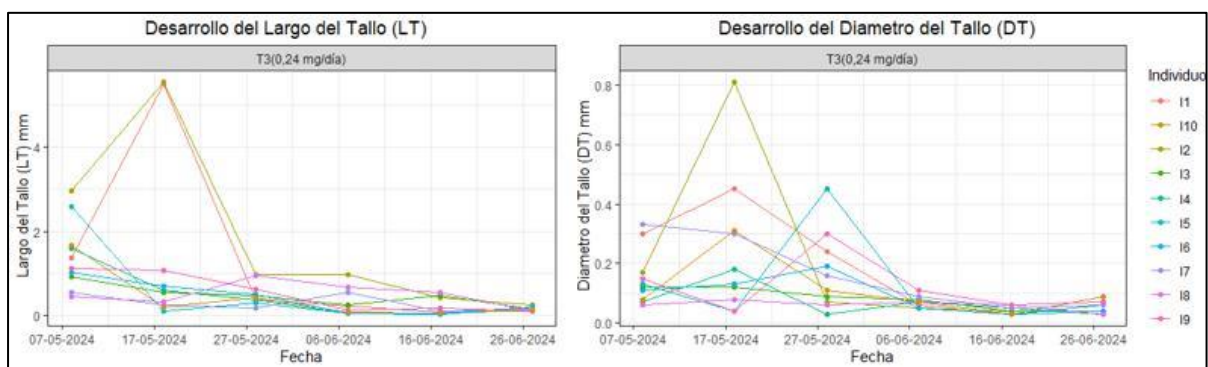
**Figura 8.** Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo B.  
**Nota:** Elaboración propia.

Además, se destaca que, en ciertos especímenes, algunas hojas de menor tamaño tuvieron un desarrollo significativo, alcanzando tamaños de aquellas hojas de las que se tomaban las mediciones, como se observa en la Figura 9, donde tres especímenes mostraron hojas amarillas (Anexo 11). Los individuos 3, 4, 8 y 9, mostraron hojas arrugadas en la última observación (Anexo 13).

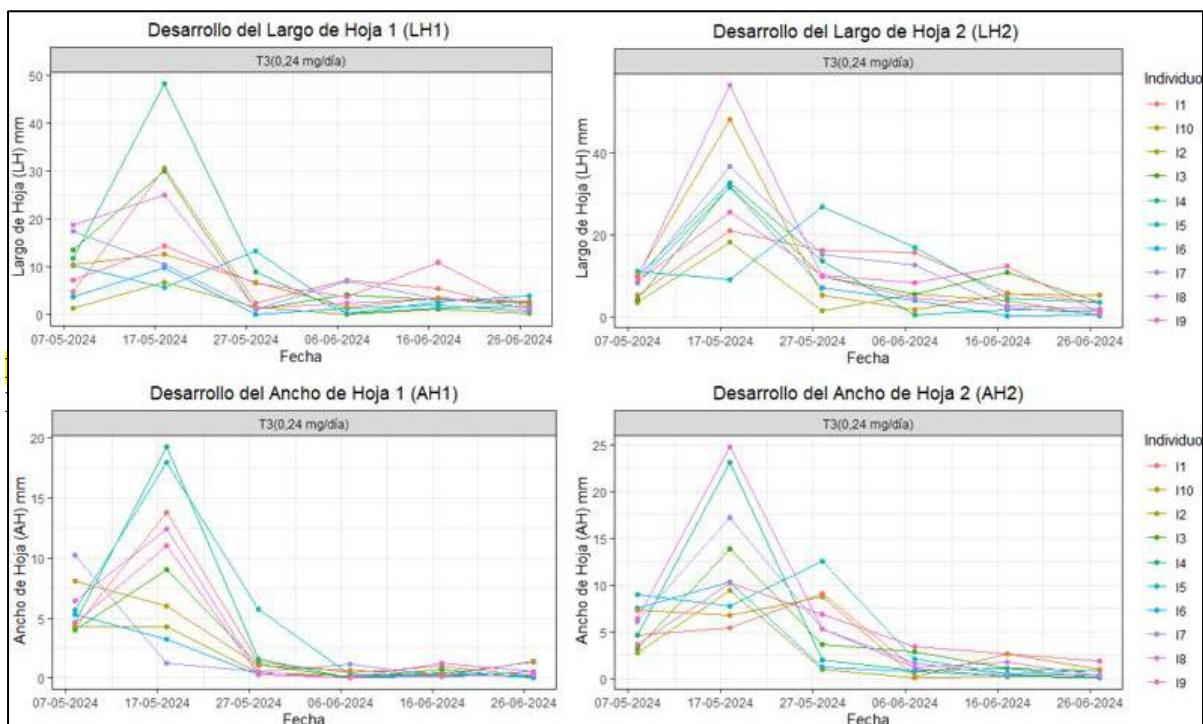


**Figura 9.** Desarrollo de hojas de los individuos nueve y diez del Grupo B.  
**Nota:** Fotografía propia.

De igual manera, los individuos del Grupo C, sometidos a 0,24 g/día de MPS (T3), en las dos primeras mediciones mostraron un mejor desarrollo en milímetros en todas sus características fenotípicas, en particular los individuos 1, 2, 4 y 8; similar a los grupos anteriores, como se muestra en la Figura 10. En las mediciones restantes el desarrollo fue notablemente menor en el largo y diámetro del tallo, desde la cuarta medición, alcanzando 0,05 a 0,10 mm en desarrollo (Anexo 9).



**Figura 10.** Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo C.  
**Nota:** Elaboración propia.



**Figura 10.** Desarrollo en milímetros de las características fenotípicas de los individuos del Grupo C.  
**Nota:** Elaboración propia.

Se recalca que el desarrollo de las hojas de menor tamaño en ciertos especímenes fue considerable, aunque algunas permanecieron del mismo tamaño, como se observa en la Figura 11, con tres especímenes que mostraron amarillamiento en sus hojas (Anexo 12). Los individuos 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9 presentaron hojas arrugadas en la última observación (Anexo 14).



**Figura 11.** Desarrollo de hojas de los individuos tres y seis del Grupo C.  
**Nota:** Fotografía propia.

### 6.3. Resultados del segundo objetivo

#### Comparar del desarrollo fenotípico de hojas y tallo de *Nicotiana tabacum* L., frente a diferentes concentraciones de partículas sedimentables colectadas en una zona de alto tráfico vehicular

La prueba estadística Lilliefors, demostró que los grupos de individuos sometidos a diferentes tratamientos del contaminante no presentaron una distribución normal en sus características fenotípicas, por lo que se usó la prueba de Kruskal-Wallis para observar diferencias significativas entre la media de las medidas de las plántulas sometidas a los diferentes tratamientos, mostrando que al menos un grupo difiere ( $p \leq 0,05$ ) en las variables largo del tallo (LT) y diámetro de tallo (DT).

**Tabla 2.** Diferencias significativas por característica fenotípica entre los grupos de individuos de los tres tratamientos

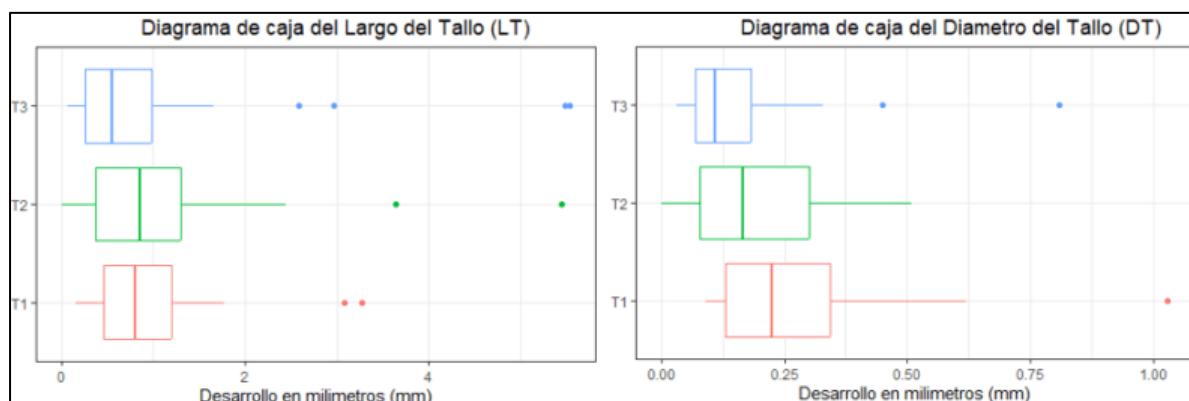
Variable medida	Kruskal-Wallis Probabilidad (p)
LT	0,00068
DT	$6,11 \times 10^{-8}$
LH1	0,1012
LH2	0,4167
AH1	0,2864
AH2	0,6767
NH	0,3664

La prueba de comparación múltiple de Dunn, realizada para cada característica fenotípica que presentó diferencias significativas entre grupos, detectó que el tratamiento 1 difiere del tratamiento 3 en el Largo del Tallo (LT), con un p valor de 0,000423, mientras que en el Diámetro del Tallo (DT), detectó que el tratamiento 1 difiere con los otros dos tratamientos, con un p valor de 0,000386 y  $4,94 \times 10^{-8}$ , es decir, la cantidad de MPS colocado en los especímenes de los Grupo B y C, que recibieron 0,08 y 0,24 g/día del contaminante, tuvieron una incidencia negativa en el desarrollo del LT y DT en comparación con los especímenes del Grupo A que no fueron expuestos a ningún tratamiento (T1).

Mediante un diagrama de caja (Figura 12), se visualizó en el largo del tallo (LT) como los individuos del tratamiento 1 y 2 presentaron similitud en la dispersión de datos, pero el tratamiento 3 que difiere del tratamiento 1, presentó una distribución sesgada a la izquierda,



alejada de la media. En el diámetro del tallo (DT), se observó como los individuos de los 3 tratamientos, presentaron diferencias en la dispersión de datos, siendo más significativo en el tratamiento 3, con poca dispersión, pero de sesgo negativo, a diferencia del tratamiento 1 donde sus datos están alrededor de la media, en mayor dispersión, al igual que el tratamiento 2, aunque ésta presentó una distribución sesgada a la izquierda.



**Figura 12.** Diagrama de cajas del LT y DT de *Nicotina tabacum* L. expuestas a diferentes concentraciones de material particulado sedimentable (MPS).

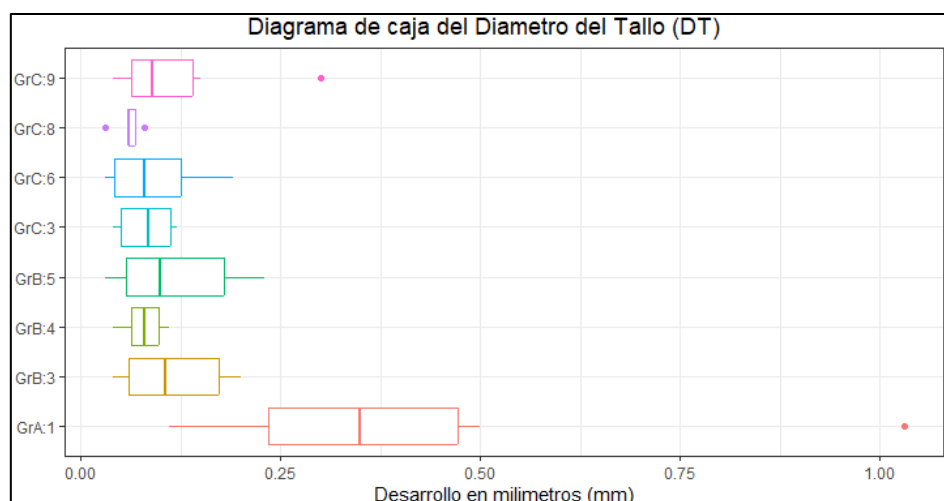
**Nota:** Elaboración propia.

Para observar diferencias significativas en las variables del desarrollo fenotípico entre individuos, se usó un ANOVA, solo en aquellos datos con distribución normal, obviando al individuo 6 del Grupo B que murió, siendo solo el diámetro del tallo el que presentó dichas diferencias, con un p valor de 0,003557 y usando la prueba pareada de comparación múltiple de Tukey se observó que el primer individuo del tratamiento 1 (GrA:1), mostró diferencias significativas en relación a los individuos del tratamiento 2 y 3 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Diferencias significativas entre individuos en el desarrollo del diámetro del tallo de los tres tratamientos.

Tukey's pairwise	Probabilidad (p)
GrA:1-GrB:3	0,01606
GrA:1-GrB:4	0,002993
GrA:1-GrB:5	0,01853
GrA:1-GrC:3	0,003514
GrA:1-GrC:6	0,005636
GrA:1-GrC:8	0,002766
GrA:1-GrC:9	0,02134

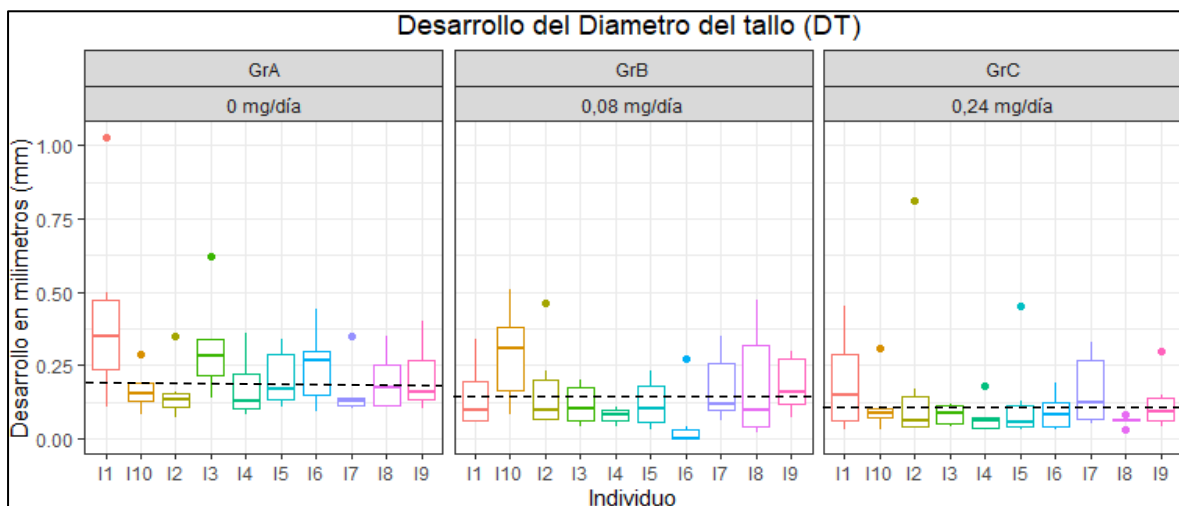
Como se puede observar en la Tabla 3, el individuo 1 del tratamiento 1 (GrA:1), con un crecimiento promedio de 0,4 mm cada diez días, difirió en particular del individuo 8 del Grupo C (GrC:8), con una media de crecimiento de 0,06 mm y del individuo 4 del Grupo B (GrB:4), con crecimiento medio de 0,08 mm cada diez días y analizando la Figura 13, el individuo 1 del tratamiento 1 (GrA:1) presentó mayor dispersión en el desarrollo del diámetro del tallo, debido principalmente a la medición realizada el 17/5/2024, que registró un desarrollo de 1,03 mm, a comparación del individuo 8 del tratamiento 3 con 0,08 mm y del individuo 4 del tratamiento 2 con 0,11 mm, medidos el mismo día, sugiriendo que los individuos del control, tienden a desarrollar el diámetro del tallo con mayor variabilidad, mientras que los individuos de los tratamientos 2 y 3, con 0,08 y 0,24 g/día del contaminante, tienden a presentar menor desarrollo y variabilidad del diámetro del tallo.



**Figura 13.** Diagrama de caja comparando el desarrollo del diámetro del tallo (DT) por individuo a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS)

**Nota:** Elaboración propia.

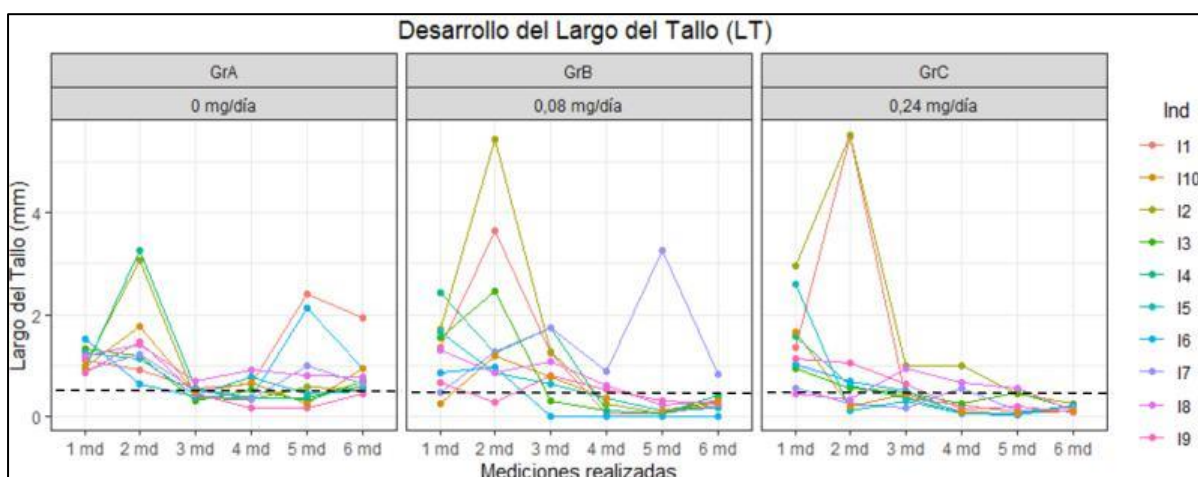
La Figura 14 indica la mayoría de los diez individuos del tratamiento 1 (GrA), por encima de la media del desarrollo del diámetro del tallo de 0,22 mm, similar a los individuos del tratamiento 2 (GrB), pero con una media de 0,15 mm. En cambio, la mayoría de individuos del tratamiento 3 (GrC) se encontraron a nivel o debajo de la media de 0,11 mm, siendo evidente las diferencias del desarrollo del diámetro del tallo (DT) entre los 3 grupos de individuos sometidos al contaminante, en particular los individuos del tratamiento 1 y 3 de la Figura 12. Cabe aclarar que el individuo 6 del tratamiento 2 (GrB:6), presentó una tendencia a cero en el diámetro del tallo, debido a que fue el único espécimen de los tres grupos que murió.



**Figura 14.** Diagrama de caja comparando el diámetro del tallo (DT) por grupos de individuos a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS)

**Nota:** Elaboración propia.

Después de que la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 2) detectó diferencias entre la media de los tratamientos, fueron necesarios los gráficos de dispersión (Figura 15), para visualizar dichas diferencias con respecto al desarrollo del Largo del tallo (LT). Los individuos del Grupo B y C (GrB y GrC), sometidos a diferentes tratamientos del contaminante, en las dos primeras mediciones se desarrollaron con mayor rapidez que los individuos del Grupo A (GrA), pero a partir de la cuarta medición, los individuos del primer grupo (que no fueron sometidos al contaminante) comenzaron a tener un crecimiento diferenciado, comparado con los individuos del tercer tratamiento, que presentaron un mínimo desarrollo, cercano a 0 mm, en relación con otros individuos del segundo tratamiento, que presentaron un desarrollo notable.



**Figura 15.** Gráfico de dispersión comparando el desarrollo del largo del tallo (LT) por grupos de individuos a diferentes tratamientos de material particulado sedimentable (MPS)

**Nota:** Elaboración propia.

En relación con el número de hojas (NH), mediante observación directa y registro fotográfico, se evidenció que las demás hojas de los diferentes individuos del Grupo A, tuvieron un desarrollo exponencial, alcanzando e inclusive superando a las hojas que fueron escogidas para realizar las mediciones (Figura 16). En cambio, algunas hojas de los especímenes del Grupo B y C, en particular del Grupo C, permanecieron alrededor del mismo tamaño y presentaron determinadas deformaciones.



**Figura 16.** Desarrollo de hojas luego de un mes de tratamiento de contaminante  
**Nota:** Fotografías propias

Como se puede apreciar en la Figura 16, el individuo 4 del grupo A (GrA:4), que no fue sometido al contaminante, presentó un mejor desarrollo de las demás hojas, mientras las que se encontraban con un tamaño considerable no se desarrollaron significativamente. Por el contrario, las hojas de menor tamaño del individuo 9 del grupo B (GrB:9) presentaron un desarrollo menos significativo y ciertas hojas del individuo 6 del grupo C (GrC:6) permanecieron igual a través del tiempo de la investigación, lo mismo sucedió en la mayoría de hojas de los demás individuos del grupo B y C. Se debe mencionar que, la presencia de hojas amarillas se dio en los tres grupos de *Nicotiana tabacum* L.

## 7. Discusión

La concentración del material particulado sedimentable en la Avenida 8 de Diciembre de la Terminal Terrestre, sobrepasó los Estándares de Calidad de Aire (ECA), con un promedio de  $4,67 \text{ mg/cm}^2 \times 10 \text{ días}$ , lo que representaría en un mes una concentración de  $46,7 \text{ mg/cm}^2$ , que supera lo establecido por el TULSMA ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ ). En los cinco colectores, la concentración de material particulado sedimentable (MPS) fue diferente, siendo el redondel del Parque de la Madre, con  $0,56 \text{ g}$  el de menor concentración y la sección media con  $1,1 \text{ g}$  de mayor concentración, como se esperaba, probablemente por la cantidad de polvo de la carretera, que era mayor en la sección media de la avenida. Debido al tráfico vehicular, Bengochea y Cruz (2007), mencionan que se produce un aumento de este contaminante, que se mezcla con la cantidad de polvo en la carretera, lo que en conjunto con la acción de los vientos, levantan el polvo de la vía, y desplazan los contaminantes a baja velocidades produciendo su acumulación, como lo señalan Venegas y Mazzeo (2012).

Respecto al monitoreo en laboratorio de *Nicotiana tabacum* L., se observaron algunas diferencias en el desarrollo fenotípico de cada individuo. Luego de 70 días de medición, las plántulas del Grupo A, que no fueron sometidos al MPS presentaron un mejor desarrollo de largo y ancho del tallo en las 3 últimas mediciones, diferente a las del Grupo B y C, sometidos a diferentes concentraciones de MPS, siendo más significativo en el tercer grupo, que recibió mayor cantidad del contaminante. El desarrollo de hojas pequeñas fue más evidente en los individuos del Grupo A. No se consideraron otras influencias, como la temperatura o la calidad del suelo, ya que estos factores fueron controlados, pues la temperatura se mantuvo entre los  $18$  a  $30 \text{ °C}$  y el pH del suelo con sustrato fue de  $6,5$ . González y Gurdían (1998), mencionan que esta especie se desarrolla óptimamente en ambientes cálidos entre  $18$  y  $28 \text{ °C}$  con pH del suelo de  $6,5$  a  $7,5$ . Por lo tanto, la concentración del contaminante en cada individuo fue el único factor influyente en su desarrollo.

Analizando cada grupo, se observó diferencias en el desarrollo fenotípico dependiendo de la concentración de MPS. Los individuos del Grupo A, sin exposición al contaminante, presentaron un mejor desarrollo de las hojas seleccionadas para medición en las dos primeras mediciones, que luego se desarrollaron en menor medida. Este proceso es normal en las especies vegetales, debido a un número bajo de células en división en la primera fase, para luego presentar de manera simultánea un desarrollo significativo independientemente de su

tamaño, que luego se ralentiza al llegar a la fase senescencial. Estas fases están bien descritas por Courtis (2014) y Taiz y Zeiger (2006), quienes detallan la fase exponencial, lineal y senescencial de las especies vegetales bajo las características explicadas. Por esta razón, las hojas en la fase de organogénesis muestran velocidades de crecimiento mayores en comparación con las hojas maduras (fase de diferenciación celular), lo que se evidenció en este grupo, donde las hojas pequeñas en los últimos registros fotográficos se observaron cómo alcanzaron e incluso algunas sobrepasaron a las hojas seleccionadas para medición. De todos los individuos, tres presentaron hojas amarillas, que según Castañares (2022), se refiere a un proceso que se puede dar comúnmente en cultivos de laboratorio, debido al crecimiento de la especie y carencia de nutrientes del suelo que no siempre se puede controlar. El desarrollo del tallo se observó en particular en las dos primeras y últimas mediciones, debido al número de hojas desarrolladas en las últimas fases de estudio, que incrementa el desarrollo de clorofila y fotosíntesis, es decir, ambas partes están correlacionadas entre sí, tal como lo detalla Chavarría (2007), quien observó mayor el desarrollo de hojas y tallo en *Nicotiana tabacum* L. luego de 50 a 70 días del trasplante.

Los individuos del Grupo B, sometidos a 0,08 g/día de MPS, presentaron en las dos primeras mediciones un mejor desarrollo que las hojas seleccionadas para medición, como los individuos del Grupo A, que luego se desarrollaron en menor medida. En los últimos registros fotográficos, se observó que algunas hojas pequeñas se desarrollaron más que aquellas seleccionadas para las mediciones, pero otras no tuvieron este desarrollo, debido a la obstrucción de la luz solar por el polvo en las hojas, que ralentizan el proceso fotosintético, lo que influye en su crecimiento (Seoáñez, 2002). Además, Carrión y Rengel (2011), así como Astudillo et al. (2015), confirman este hallazgo, ya que aseguran que el material particulado contiene metales como: aluminio, cromo, cobre, hierro, zinc y plomo, que incide en el proceso de elaboración de clorofila en las especies vegetales, necesario para la fotosíntesis y desarrollo de hojas (Mathews et al., 2013). De todos los individuos, tres presentaron hojas amarillas, pero cuatro especímenes presentaron hojas arrugadas, lo que concuerda con lo aseverado por Hernández (2017), quien menciona que las partículas que ingresan a los estomas de la hoja provoca modificaciones en el metabolismo de la especie. Esto se hace más evidente en el estudio de Andreu et al. (2012), quienes evidenciaron tamaños variables y malformaciones como principales cambios en la morfología de las hojas de tabaco cultivadas en laboratorio.

En este mismo orden de ideas, el desarrollo del tallo fue mayor en las dos primeras mediciones, siendo menos significativo en las restantes, debido a la influencia del MPS con contenidos de metales pesados que ralentiza su desarrollo. En otro estudio, realizado por Hussain et al. (2023), se observó como el plomo reducía la cantidad de clorofila A y B en *Nicotiana tabacum* L., importante para la fotosíntesis y desarrollo normal de la especie (Mathews et al., 2013). Esto fue evidente con el número de hojas pequeñas desarrolladas al final de la investigación, que no fue similar en todas con hojas malformadas en cuatro individuos. Tal como menciona Trucco (2018), esto es un indicador de la calidad de la especie y su relación tallo-hoja, es decir, el crecimiento del tallo se relaciona con las hojas desarrolladas. El espécimen muerto se relaciona a las condiciones donde se encontraba y al estrés del traslado, dado que existe la probabilidad de que alguno no se desarrolle o perezca (Villajos, 2023).

Los individuos del Grupo C, sometidos a 0,24 g/día de MPS, presentaron un mejor desarrollo de las hojas seleccionadas para medición en las dos primeras mediciones, como los individuos del Grupo A y B, que luego fue menos significativo. En los últimos registros fotográficos se observó que el desarrollo de hojas pequeñas no fue significativo, como las seleccionadas para las mediciones y otras quedaron del mismo tamaño debido a la obstrucción de la luz solar, para realizar la fotosíntesis que permite su desarrollo (Seoáñez, 2002). Además, la concentración de metales pesados como el plomo en el MPS, pudo reducir la cantidad de clorofila A y B, esencial para la fotosíntesis, como lo mencionan Hussain et al. (2023), en sus estudios, donde observaron cómo el aumento de metales como el plomo incidía en la elaboración de clorofila en *Nicotiana tabacum* L. La presencia de hojas amarillas fue visible en tres individuos, relacionado a un proceso de cultivo protegido, mencionado anteriormente. La presencia de hojas arrugadas se divisó en siete individuos, por la acumulación de polvo en las hojas, tal como observaron Egas et al. (2018), en sus estudios, donde una gran cantidad de polvo en hojas en *Schinus molle* presentaron rugosidad, similar a las hojas de *Nicotiana tabacum* L. en el estudio de Andreu et al. (2012). El desarrollo del tallo fue mayor en las dos primeras mediciones, siendo poco significativo en las restantes, debido de igual manera a la obstrucción de la luz solar en las hojas, lo que compromete el proceso de fotosíntesis y elaboración de clorofila, retardando su crecimiento. En relación con Agrios (2005), si la luz solar es inferior a la necesaria, se produce la disminución del ancho y largo del tallo con sus

internodos. Esto también, se evidenció con el número de hojas desarrolladas al final de la investigación, que fue limitado y con hojas malformadas en ocho individuos. Además, Trucco (2018) asegura que el crecimiento del tallo se relaciona con las hojas desarrolladas.

Comparando los tres grupos, se observó que los individuos del Grupo A, que presentaron en las últimas mediciones una media crecimiento de 0,82 mm en el largo del tallo y 0,22 mm en el diámetro del tallo se diferenciaron con mayor significancia del Grupo C, con una media de crecimiento de 0,18 mm en el largo del tallo y 0,12 mm en el diámetro del tallo. En cambio, en los Grupo B y C no se detectaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos se relacionan a una disminución del proceso fotosintético y de clorofila de los Grupos B y C, debido a la cantidad de luz solar reducida por la presencia de polvo en las hojas, retardando su crecimiento (Seoáñez, 2002). De acuerdo con Agrios (2005), si la “Luz Diaria Integrada” (LDI) es inferior a la necesaria, se produce la disminución el diámetro del tallo, así como la longitud del tallo con sus internodos. También se debe a la falta de producción de clorofila, por la presencia de metales pesados en el MPS como plomo, que disminuyen su elaboración en *Nicotiana tabacum* L. (Hussain et al., 2023).

Así mismo, el largo del tallo en conjunto con el número de hojas desarrolladas del Grupo A fue superior en comparación al Grupos B y C, esto refleja un mejor desarrollo y absorción de nutrientes en los individuos sin presencia del contaminante. Esto es concordante con lo aseverado por Chavarría (2007), quien evidencia mayor desarrollo de hojas y tallo en *Nicotiana tabacum* L. luego de 50 a 70 días del trasplante, debido a que conforme avanza el desarrollo de la especie, también lo hacen su número de hojas. De igual manera, Capdesuñer et al. (2016), en sus estudios de *Nicotiana tabacum* L., observaron que la especie presenta una mayor cantidad de nutrientes absorbidos a partir de los 45 a 55 días después del trasplante. Los resultados de estos estudios fueron similares en la presente investigación, debido a que los cambios más notables ocurrieron a partir de los 50 días después del trasplante, siendo más notorio el desarrollo en los individuos del Grupo A.

De acuerdo con ciertos autores, la presencia de hojas malformadas en los Grupos B y C, se relacionan en particular a un mecanismo de defensa, en el estudio realizado por Egas et al. (2018), evidenciaron como la exposición a grandes cantidades de material particulado en *Schinus molle*, provoca rugosidad en sus hojas, dado que sus estomas se cierran para impedir su entrada y evitar daños. De igual manera, Andreu et al. (2012), presenciaron cómo el aumento



del contaminante en *Nicotiana tabacum* L., provocaba estas reacciones. Esto se evidenció claramente con los individuos del Grupo C, que presentaron mayor número de hojas malformadas a diferencia del Grupo B, que recibió menor cantidad del contaminante. De igual manera, el desarrollo del largo del tallo en ciertos individuos del Grupo B y C, presentaron mayor crecimiento en las primeras mediciones a diferencia del Grupo A, por un efecto de tolerancia al contaminante, pero al estar sometido constantemente al mismo estrés, disminuyó su crecimiento como reservas metabólicas, tal como lo detalla Hernández et al. (2017). En sí el MPS incidió en los especímenes del Grupo B y C al cabo de 2 meses de tratamiento, ya que las hojas se marchitaron o presentaron malformaciones, lo que indica que no captaron la luz solar, alterando el proceso fotosintético, lo que retarda el desarrollo del largo y ancho del tallo. En particular, grandes concentraciones como aquellas usadas en los individuos del Grupo C, evidenciaron menor crecimiento de hojas y mayor número de hojas malformadas, a diferencia del Grupo B, que presentó pocos individuos con estas características, siendo mejor el desarrollo del largo y ancho del tallo.

## 8. Conclusiones

- La cantidad de polvo sedimentable producida en la zona de muestreo y aplicada al grupo B y C afectó notablemente el crecimiento del largo y ancho del tallo en el primer grupo (que recibió la mitad del contaminante que el grupo C), así como el crecimiento de hojas nuevas, especialmente en el grupo C, el cual recibió mayor concentración del contaminante y presentó hojas malformadas en la mayoría de los individuos.
- Los individuos del grupo control (A), mostraron mejor desarrollo del tallo y hojas, a diferencia de los individuos del grupo B y C, muy en particular del tercer grupo, que recibió la mayor concentración del contaminante.
- La incidencia de hojas amarillas fue similar en las tres concentraciones de contaminante, lo que implica causas comunes en cultivos bajo condiciones controladas de laboratorio y no a la influencia del material particulado sedimentable.

## **9. Recomendaciones**

- Aumentar días de observación y mediciones, para detectar otros posibles efectos del material sedimentables en la floración o polinización de la especie vegetal.
- Realizar la colecta del material sedimentable en diferentes puntos de la ciudad de Loja, para conocer áreas de mayor y menor concentración del contaminante, y sus posibles efectos sobre las especies vegetales del sector específico de colecta.
- Considerar en futuras investigaciones, un análisis fisiológico en las especies vegetales frente a las partículas sedimentables, para comprender su efecto en los procesos vitales internos como el transporte de nutrientes y asimilación de contaminantes.
- Realizar más estudios con diferentes especies vegetales, para observar sus efectos. Esto permitirá contar con información más detallada de como el contaminante afecta a diversas especies vegetales.

## 10. Bibliografía

- Adams, P.J., Seinfeld, J.H., Koch, D.M. (1999). Global concentrations of tropospheric sulphate, nitrate, and ammonium aerosol simulated in a general circulation model. *Journal of Geophysical Research* 104.
- Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology. Elsevier Academic Press,
- Angamarca, M.A. (2017). *Fuentes de contaminación atmosférica en Loja*. Universidad Técnica Particular De Loja. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/367453697/Contaminacion-Atmosferica-en-Loja>
- Alastuey, A., Mantilla, E., Querol, X., y Rodríguez, S. (2000). Study and evaluation of atmospheric pollution in Spain: Necessary measures arising from the EC Directive on PM10 and PM2.5 in the ceramic industry. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol. 39, núm, 1, pp. 141-148.
- Andreu, R., Carlos, M., Cupull, S., Pérez, P., Morales, G., y Yolanda. (2012). Efectos del ozono troposférico sobre cultivos de ajo, *Allium sativum* y tabaco, *Nicotiana tabacum* en Cuba. *Centro de Investigaciones Agropecuarias UCLV (Cuba)*. Vol. 1, pp. 49-54.
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de Material Particulado (PM 10), Con Interrelación de Factores Meteorológicos y Topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*. Vol. 16, núm, 2. Doi: 10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5445.
- ASTM International (2010). D1739-98 (Reaprobado en 2010): Método de prueba estándar para la recolección y medición de la caída de polvo (partículas sedimentables); *West Conshohocken, Pensilvania, Pensilvania*.
- Astudillo, A.M., Ramírez, N., García, G., González, I., Gutiérrez, N., y Bailón. (2015). “Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549,” *Rev. Toxicol*. Vol. 32, núm. 2, pp. 121-126.
- Ávila, G. M. (2016). “*Partículas Sedimentables del Aire y su Influencia en las Infecciones Respiratorias Agudas En La Ciudad de Tayabamba*”. Tingo María – Perú.

- Bengochea, M., y Cruz, M. (2007). Composición y fuentes del material particulado atmosférico en la zona cerámica de Castellón. Impacto de la introducción de las Mejores Técnicas Disponibles. Universidad Jaume I. Departament d'Enginyeria Química., pp. 10-25. <http://hdl.handle.net/10803/10385>
- Betancourt, J.R. (2015). *Propuesta de un programa de educación ambiental para mejorar la calidad del aire en la ciudad de Loja*. Universidad Nacional De Loja. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11110>
- Capdesuñer, Y., Rivas, M., Quiñones, G.J., Gallo, M., Rodríguez, E., Pérez, J.L., Yanes, P.E., y Hernández, M. (2016). Análisis comparativo de indicadores químicos de la hoja y diterpenos de exudados foliares *Nicotiana tabacum* L. Cultivos Tropicales. Vol. 37, pp. 127-135. Doi: 10.13140/RG.2.1.3186.1369
- Carrión, M. y Rengel, E. (2011). *Estudio preliminar del material particulado PM10 y PM2.5 en aire ambiente de la ciudad de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Castañares, J.L. (2022). Tipburn en hortalizas de hoja en hidroponía: posibles causas y control. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Vol. 48, núm. 1, pp. 2-8. ISSN: 0325-8718.
- Charpantier, F. (1988). Aspectos agroecológicos y zonificación del cultivo del tabaco (*Nicotina tabacum*). *Secretaría ejecutiva de planificación sectorial Agropecuaria y de recursos naturales renovables*. San José: SEPSA.
- Chavarria, J.A. (2007). Curva de absorción de nutrientes en tabaco (*Nicotiana tabacum*), bajo condiciones de campo en Jalapa, Nicaragua. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Universidad Zamorano. Honduras.
- Clair, S.B., Mangelson, N.F., y Weber, D.J. (2002). Influence of growth form on the accumulation of airborne copper by lichens. *Atmos. Rev.* 36, pp. 5637-5644.
- Courtis, A. (2014). Guía de estudio; Crecimiento y Desarrollo. Cátedra de fisiología vegetal. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE
- Diario la Hora. (2021). Parque automotor de Loja cada vez en crecimiento. Disponible en: Parque automotor de Loja cada vez en crecimiento – Diario La Hora (visitado mayo, 2023).

- Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N., y Heederik, D. (2003). Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene*. Vol. 47, núm. 3, pp. 187-200.
- Emiliano, A., José, M.O., Javier, S., Nuria, A., Rosalía, F., Ana, G., y Iñaki, G. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*. Madrid (España). Vol. 73, núm. 2, pp. 123-132.
- Egas, C., Naulin, P., y Préndez, M. (2018). Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile. *Scielo*. Vol. 29, núm. 4, pp. 111-118. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400111>
- Gallo, A., y Paredes, C. (2019). *Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del cantón Chambo*. Universidad nacional de Chimborazo.
- Gaffney, J.S., Marley, N.A., Cunningham, M.M., Martello, D.V. y Anderson N.J. (2002). Using natural <sup>210</sup>Pb and its daughters (<sup>210</sup>Bi and <sup>210</sup>Po) to estimate aerosol residence times. Proceedings de la NETL Conference "PM2.5 and electric power generation: recent findings and implications", *Pittsburg, PA*.
- Gaviria, C.F., Benavides, P.C., Tangarife, C.A. (2009). Contaminación por material particulado (pm<sub>2,5</sub> y pm<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín. Universidad de Antioquía Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol. 29, núm. 3, pp. 241-250. <https://www.redalyc.org/pdf/120/12021452003.pdf>
- González, J.M., y Gurdían, W. (1998). Cultivo de tabaco *Nicotiana tabacum L.* Escuela agrícola Panamericana departamento de protección vegetal. 210876. Obtenido de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ed435b7f-76d8-46c9-9298-cd8aa0053123/content>
- González, Y. (2012). *Caracterización físico-química del material particulado atmosférico de origen industrial en Andalucía: memoria para optar al grado de doctora*. Universidad de Huelva, Huelva.

- Hernández, A.H., Álvarez, H., Thuesman, M., Jorge, M., Miguel A.C., Carlos S.O., José C.G., Byron S.C. (2016). Método de selección para la ubicación de puntos de monitoreo de gases de combustión provenientes de fuentes fijas puntuales en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL–RTE*. Vol. 29, núm. 2, pp. 38-52. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/497/346/1699>
- Hernández, A.M, (2017). *Captura de material particulado en hojas de árboles del municipio de Toluca, Estado de México*. Universidad Autónoma del Estado de México: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66256/UAEM-FAPUR-Arturo%20Mart%EDnez%20Hern%E1ndez-split-merge.pdf?sequence=3>
- Hernández, H.H., Pérez, L.F., Enciso, E., Leija, M., Paola, L.P., Medrano, J., y González, M. (2017). Mitigación del estrés en las plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura. México. Doi: 10.13140/RG.2.2.10452.09609.
- Hussain, M., Saeed, A., Shakeel, M., Rauf, A., Mohibulla, M., Munir, F., y Yasin, M. (2023). Dynamics of lead tolerance in tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.) genotypes. *Sabrao J. Breed. Genet.* Vol. 55, núm. 4, pp. 1321- 1331. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.4.25>.
- Instituto Nacional de Salud Pública México. (2010). *Importancia de las partículas PM 2.5*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/695/importancia.pdf>.
- Jiang, M., Marr, L.C., Dunlea, E.J., Herndon, S.C., Jayne, J.T., Kolb, C.E., Knighton, W.B., Rogers, T.M., Zavala, M., Molina, L.T., y Molina, M.J. (2005). Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, and other pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico City. *Atmospheric Chemistry and Physics* 5, pp. 3377-3387.
- Jurán, S., Grace, J., y Urban, O. (2021). Temporal Changes in Ozone Concentrations and Their Impact on Vegetation, Atmosphere. Vol. 12, núm, 82. <https://doi.org/10.3390/atmos12010082>.
- Kett, A., Dong, S., Andrachuk, H., y Craig, B. (2005). Aprendiendo con Líquenes. Uso de Líquenes Epifitos como Indicadores Biológicos de Contaminación del Aire Trad. español: Felipe Ibarra-Martinez.

- Langhans, R.W., y Tibbitts, T.W. (1997). Plant Growth Chamber Handbook. North Central Regional Research Publication Núm. 340, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Report. Núm. 99.
- Machado, J., y González, L. (1984). El Cultivo de Tabaco en Cuba. La Habana, Cuba, Pueblo y Educación, pp. 122.
- Mathews, K.C, Holde, K.E., Appling, D.R., y Spencer, J.A. (2013) Bioquímica. Editado por Pearson Educación Madrid, pp. 678-679
- Meszáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2010). Plan Nacional De La Calidad De Aire. *Republica del Ecuador-Quito.*, pp. 4-11.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE). (2015). TULSMA Reforma 097-A. In Registro oficial órgano del gobierno del Ecuador. Obtenido de: <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativareforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Montoya, M., Rodríguez, N., Pérez-Almeida, I., Cova, J., y Alemán, L. (2007). Caracterización morfológica de 13 variedades de arroz venezolanas. *Agronomía Tropical*. Vol. 57, núm, 4. Obtenido de: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2007000400006](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000400006)
- Moreno, C.E., Silva, R.A., Camacho, C.A., Rodríguez, M.R. (2020). Modelo productivo de tabaco (*Nicotiana tabacum*) variedades Burley y Negro en Santander. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Obtenido de: <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36374/Ver%20documento%2036374.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mori, A. Fini, M. Galimberti, M. Ginepro, G. Burchi, D.Massa y Ferrini, F. (2018). “Air pollution deposition on a roadside vegetation barrier in a Mediterranean environment: Combined effect of evergreen shrub species and planting density”, *Science of the Total Environment*. Vol. 643, pp. 725-737.



- Municipio de Loja. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Loja (PDOT). Municipio de Loja. Ecuador.
- Orlando, H., Álvarez, H., Thuesman, M., Jorge, M., Miguel A.C., Carlos S.O., José C.G., Byron S.C. (2016). Método de selección para la ubicación de puntos de monitoreo de gases de combustión provenientes de fuentes fijas puntuales en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL–RTE*. Vol. 29, núm. 2, pp. 38-52. Disponible en: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/497/346/1699>
- GEO-LOJA. (2008). *Geo-Loja: Perspectivas del Medio Ambiente Urbano de Loja*. Loja, Ecuador.
- PNUMA y OMS. (2002). Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano Traducción del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). Vol. 1.
- Préndez, M., Peña-Rojas, K., y González, E. (2022). Quillaja saponaria Mol. under high air pollution and two different irrigation conditions. *Información tecnológica*. Vol. 33, núm, 3, pp. 31-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000300031>
- Pósfai, M. y Molnár, A. (2000). Aerosol particles in the troposphere: a mineralogical introduction. *Environmental Mineralogy*. David J. Vaughan y Roy A. Wogelius., pp. 434.
- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., Langenfeld-Heyser, R. y Polle, A. (2010). Influence of environmental pollution on leaf properties of Urban Plane Treas, *Platanus orientalis* L. *Bull Environ Contam Toxicol*. Vol. 85, pp. 251-255.
- Ramos, M. (2012). Flujo vehicular y respuestas eco-fisiológicas del arbolado urbano en Bogotá D.C. I Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana “Desafíos y escenarios de desarrollo para las ciudades latinoamericanas”., pp. 1696-1704.
- Roque, R. (2017). *Efecto de distanciamiento de siembra sobre el rendimiento de tabaco negro variedad Ky 160; Tiquisate, Escuintla. Investigativo. s.l.* Universidad Rafael Landívar., pp. 54. Consultado 1 agosto. 2023. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/publijrcifuentes/TESIS/2018/06/17/Roque-Rosendo.pdf>

- Seoáñez, M. (2002). Tratado de contaminación atmosférica. *Mundi-prensa S.A., Madrid*, p. 1110.
- Taiz, L., y Zelger, E. (2006). Fisiología vegetal. Colección «*Ciencias experimentales*». España. Vol. 2, núm. 10.
- Tiwary, A., y Colls, J. (2010). Air Pollution: Measurement, modelling and mitigation. New York: Routledge. Edi, 3.
- Truco, R.F. (2018). Determinación de la relación hoja tallo y del contenido de carbohidratos en alfalfa (medicago sativa l.). Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional del Litoral.
- TULSMA-MAATE. (2017). *NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE. LIBRO VI, ANEXO 4*. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003
- Vallejo, P.C., González, C.M., y Mena, F.M. (2016). *Cálculo referencial de material particulado en el aire como factor de contaminación ambiental en el área urbana de la ciudad de Pujilí*. Universidad Tecnológica Equinoccial. Vol. 7, núm. 2, pp. 109-119. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n2.99>
- Venegas, L., y Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera., núm. 11.
- Villajos, S.O. (2023). Introducción sintética a las enfermedades de las plantas. Madrid. España. Edi. 1. ISBN: 978-84-09-50046-8
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb, K.S., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Capstick, S., Chambers, J., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., y Montgomery, H. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *The Lancet.*, pp. 1836-1878. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32596-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32596-6)
- WHO. (2013). Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. Dinamarca: World Health Organization.

## 11. Anexos

Esta sección abarca información adicional del estudio.

### Anexo 1. Colocación de colectores pasivos de PVC y madera



**Anexo 2.** Concentración de MPS en cada colector luego 10 días de muestreo



**Anexo 3.** Concentración de polvo en la sección baja, media y alta de la Avenida



**Anexo 4.** Preparación de suelo en volumen de 50% tierra, 25 % arena y 25% sustrato



**Anexo 5.** Temperaturas mínimas y máximas del invernadero



**Anexo 6.** Mediciones obtenidas del desarrollo fenotípico de *Nicotiana tabacum* L.

<b>Trat.</b>	<b>Grupos</b>	<b>Individuo</b>	<b>Fecha</b>	<b>LT</b>	<b>DT</b>	<b>LH1</b>	<b>LH2</b>	<b>AH1</b>	<b>AH2</b>
T1	GrA:1	I1	7/5/2024	1,10	0,50	21,21	15,12	17,89	6,09
T1	GrA:2	I2	7/5/2024	1,00	0,35	15,34	17,97	6,46	2,53
T1	GrA:3	I3	7/5/2024	1,32	0,62	13,03	21,81	7,47	7,38
T1	GrA:4	I4	7/5/2024	0,93	0,36	13,78	13,26	12,83	3,62
T1	GrA:5	I5	7/5/2024	1,23	0,20	10,41	19,29	4,65	7,00
T1	GrA:6	I6	7/5/2024	1,52	0,31	7,48	15,88	2,77	8,04
T1	GrA:7	I7	7/5/2024	0,91	0,35	24,25	16,39	6,50	5,00
T1	GrA:8	I8	7/5/2024	1,20	0,22	16,91	12,07	6,46	4,41
T1	GrA:9	I9	7/5/2024	0,85	0,30	15,21	16,45	4,00	4,16
T1	GrA:10	I10	7/5/2024	0,96	0,19	19,70	15,27	9,30	9,33
T2	GrB:1	I1	7/5/2024	1,34	0,22	20,75	10,29	6,48	4,96
T2	GrB:2	I2	7/5/2024	1,71	0,11	10,71	17,23	7,34	4,96
T2	GrB:3	I3	7/5/2024	1,55	0,20	20,39	21,34	6,93	5,17
T2	GrB:4	I4	7/5/2024	2,42	0,06	15,27	14,58	8,01	4,81
T2	GrB:5	I5	7/5/2024	1,65	0,03	7,45	20,51	5,91	3,25
T2	GrB:6	I6	7/5/2024	0,85	0,27	13,34	19,72	8,20	3,54
T2	GrB:7	I7	7/5/2024	0,46	0,35	13,11	13,70	9,36	8,69
T2	GrB:8	I8	7/5/2024	1,29	0,47	11,73	27,28	4,26	3,82
T2	GrB:9	I9	7/5/2024	0,66	0,18	10,03	12,22	4,87	5,14
T2	GrB:10	I10	7/5/2024	0,25	0,29	12,50	18,64	11,76	4,41
T3	GrC:1	I1	7/5/2024	1,36	0,30	4,88	5,44	4,16	4,64
T3	GrC:2	I2	7/5/2024	2,96	0,17	1,41	3,52	4,30	2,73
T3	GrC:3	I3	7/5/2024	0,93	0,12	13,42	4,39	4,04	3,19
T3	GrC:4	I4	7/5/2024	1,58	0,07	11,74	9,99	4,63	4,63
T3	GrC:5	I5	7/5/2024	2,59	0,13	10,28	11,24	5,69	9,02
T3	GrC:6	I6	7/5/2024	1,01	0,11	3,74	8,34	5,31	7,55
T3	GrC:7	I7	7/5/2024	0,56	0,33	17,43	8,53	10,24	6,06
T3	GrC:8	I8	7/5/2024	0,45	0,06	18,72	9,54	6,40	6,44
T3	GrC:9	I9	7/5/2024	1,13	0,15	7,11	8,53	4,52	3,69
T3	GrC:10	I10	7/5/2024	1,66	0,08	10,52	10,09	8,08	7,34
T1	GrA:1	I1	17/5/2024	0,90	1,03	17,12	32,62	13,09	10,47
T1	GrA:2	I2	17/5/2024	3,08	0,14	4,48	13,58	2,38	7,65
T1	GrA:3	I3	17/5/2024	1,19	0,33	7,15	4,97	1,97	5,50
T1	GrA:4	I4	17/5/2024	3,27	0,25	15,79	29,75	7,33	15,48
T1	GrA:5	I5	17/5/2024	1,12	0,32	11,69	26,14	7,81	13,65
T1	GrA:6	I6	17/5/2024	0,64	0,44	30,53	52,34	14,21	16,69
T1	GrA:7	I7	17/5/2024	1,22	0,11	35,62	15,51	17,13	10,23
T1	GrA:8	I8	17/5/2024	1,40	0,35	15,95	63,80	7,06	25,65

T1	GrA:9	I9	17/5/2024	1,46	0,40	13,84	23,28	1,19	7,96
T1	GrA:10	I10	17/5/2024	1,77	0,29	6,51	28,01	2,99	10,88
T2	GrB:1	I1	17/5/2024	3,64	0,34	36,61	26,02	17,96	6,83
T2	GrB:2	I2	17/5/2024	5,44	0,46	3,71	26,14	3,42	8,28
T2	GrB:3	I3	17/5/2024	2,45	0,18	19,45	30,26	11,01	15,64
T2	GrB:4	I4	17/5/2024	1,24	0,11	11,19	28,33	7,68	13,74
T2	GrB:5	I5	17/5/2024	0,85	0,12	4,50	9,82	1,38	4,63
T2	GrB:6	I6	17/5/2024	0,97	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	GrB:7	I7	17/5/2024	1,27	0,13	54,55	17,90	17,03	10,78
T2	GrB:8	I8	17/5/2024	0,85	0,05	22,57	29,04	13,01	22,41
T2	GrB:9	I9	17/5/2024	0,27	0,14	28,85	49,47	11,47	15,31
T2	GrB:10	I10	17/5/2024	1,20	0,33	42,06	71,36	16,91	26,13
T3	GrC:1	I1	17/5/2024	5,49	0,45	30,73	20,99	13,79	5,41
T3	GrC:2	I2	17/5/2024	5,54	0,81	6,81	18,17	4,27	9,42
T3	GrC:3	I3	17/5/2024	0,54	0,12	30,06	31,95	9,03	13,84
T3	GrC:4	I4	17/5/2024	0,60	0,18	48,26	32,51	19,26	23,05
T3	GrC:5	I5	17/5/2024	0,10	0,04	5,75	9,15	17,92	7,72
T3	GrC:6	I6	17/5/2024	0,69	0,13	9,70	31,55	3,19	10,28
T3	GrC:7	I7	17/5/2024	0,26	0,30	10,48	36,60	1,26	17,18
T3	GrC:8	I8	17/5/2024	0,33	0,08	24,93	56,36	12,45	24,75
T3	GrC:9	I9	17/5/2024	1,06	0,04	14,44	25,55	11,00	10,19
T3	GrC:10	I10	17/5/2024	0,20	0,31	12,65	48,00	6,04	6,78
T1	GrA:1	I1	27/5/2024	0,56	0,31	5,51	21,20	2,16	9,68
T1	GrA:2	I2	27/5/2024	0,35	0,10	4,09	4,35	1,49	1,73
T1	GrA:3	I3	27/5/2024	0,29	0,23	11,34	23,59	6,68	10,41
T1	GrA:4	I4	27/5/2024	0,55	0,09	3,37	8,17	1,83	1,55
T1	GrA:5	I5	27/5/2024	0,42	0,13	7,18	11,11	2,37	4,34
T1	GrA:6	I6	27/5/2024	0,39	0,09	6,77	4,89	2,80	4,14
T1	GrA:7	I7	27/5/2024	0,52	0,10	4,13	13,37	0,84	5,02
T1	GrA:8	I8	27/5/2024	0,70	0,11	6,34	10,02	0,40	0,66
T1	GrA:9	I9	27/5/2024	0,45	0,13	5,06	3,47	0,81	0,85
T1	GrA:10	I10	27/5/2024	0,47	0,18	1,35	4,75	1,31	1,00
T2	GrB:1	I1	27/5/2024	1,24	0,12	0,32	9,11	0,63	3,72
T2	GrB:2	I2	27/5/2024	1,27	0,23	0,96	0,44	0,82	4,08
T2	GrB:3	I3	27/5/2024	0,29	0,06	0,92	6,61	0,19	2,18
T2	GrB:4	I4	27/5/2024	1,73	0,10	4,77	1,89	1,33	3,40
T2	GrB:5	I5	27/5/2024	0,64	0,23	1,19	0,69	0,82	1,56
T2	GrB:6	I6	27/5/2024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	GrB:7	I7	27/5/2024	1,75	0,06	7,27	36,23	0,28	7,45
T2	GrB:8	I8	27/5/2024	1,07	0,14	1,45	7,47	1,37	1,17

T2	GrB:9	I9	27/5/2024	0,80	0,30	12,10	5,62	1,15	4,10
T2	GrB:10	I10	27/5/2024	0,78	0,40	2,82	3,03	1,37	3,05
T3	GrC:1	I1	27/5/2024	0,37	0,24	2,33	16,20	1,37	9,04
T3	GrC:2	I2	27/5/2024	0,98	0,07	1,43	1,42	0,49	1,01
T3	GrC:3	I3	27/5/2024	0,47	0,09	1,07	9,80	1,17	3,61
T3	GrC:4	I4	27/5/2024	0,37	0,03	8,86	13,77	1,56	1,95
T3	GrC:5	I5	27/5/2024	0,31	0,45	13,31	26,76	5,72	12,55
T3	GrC:6	I6	27/5/2024	0,49	0,19	0,10	6,98	0,32	1,24
T3	GrC:7	I7	27/5/2024	0,17	0,16	1,00	15,26	0,51	5,35
T3	GrC:8	I8	27/5/2024	0,95	0,06	1,39	9,90	0,48	5,29
T3	GrC:9	I9	27/5/2024	0,63	0,30	6,61	10,12	0,25	6,88
T3	GrC:10	I10	27/5/2024	0,43	0,11	6,71	5,24	1,07	8,71
T1	GrA:1	I1	6/6/2024	0,64	0,39	8,17	12,75	1,10	3,05
T1	GrA:2	I2	6/6/2024	0,34	0,13	3,63	6,80	0,34	1,16
T1	GrA:3	I3	6/6/2024	0,51	0,34	3,69	7,52	0,34	2,22
T1	GrA:4	I4	6/6/2024	0,37	0,13	4,60	5,48	0,33	2,91
T1	GrA:5	I5	6/6/2024	0,76	0,34	3,13	2,79	0,90	1,12
T1	GrA:6	I6	6/6/2024	0,35	0,11	8,45	10,32	1,34	0,34
T1	GrA:7	I7	6/6/2024	0,34	0,13	2,71	4,00	0,54	1,41
T1	GrA:8	I8	6/6/2024	0,90	0,11	2,40	3,39	0,50	1,73
T1	GrA:9	I9	6/6/2024	0,16	0,17	3,24	2,70	1,01	0,77
T1	GrA:10	I10	6/6/2024	0,66	0,13	2,35	5,35	0,74	0,79
T2	GrB:1	I1	6/6/2024	0,04	0,06	0,32	4,31	0,66	1,55
T2	GrB:2	I2	6/6/2024	0,25	0,08	0,46	6,80	0,28	0,10
T2	GrB:3	I3	6/6/2024	0,11	0,15	3,64	1,21	0,87	0,31
T2	GrB:4	I4	6/6/2024	0,12	0,07	1,46	0,62	0,55	0,32
T2	GrB:5	I5	6/6/2024	0,35	0,20	0,06	0,85	0,11	0,13
T2	GrB:6	I6	6/6/2024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	GrB:7	I7	6/6/2024	0,88	0,30	0,18	9,15	0,69	2,21
T2	GrB:8	I8	6/6/2024	0,60	0,38	4,00	4,23	0,13	1,40
T2	GrB:9	I9	6/6/2024	0,53	0,30	2,25	6,12	2,12	1,94
T2	GrB:10	I10	6/6/2024	0,37	0,51	2,77	9,30	0,43	1,07
T3	GrC:1	I1	6/6/2024	0,23	0,06	7,26	15,63	0,47	1,08
T3	GrC:2	I2	6/6/2024	0,98	0,05	0,03	5,49	0,23	0,14
T3	GrC:3	I3	6/6/2024	0,25	0,08	4,03	5,70	0,05	2,89
T3	GrC:4	I4	6/6/2024	0,06	0,07	0,26	0,46	0,04	0,90
T3	GrC:5	I5	6/6/2024	0,06	0,05	0,11	17,04	0,29	2,03
T3	GrC:6	I6	6/6/2024	0,06	0,05	1,31	3,94	0,06	0,78
T3	GrC:7	I7	6/6/2024	0,56	0,09	7,01	12,70	1,12	1,59
T3	GrC:8	I8	6/6/2024	0,66	0,07	2,33	4,55	0,05	1,21



T3	GrC:9	I9	6/6/2024	0,13	0,11	3,61	8,39	0,05	3,42
T3	GrC:10	I10	6/6/2024	0,07	0,07	1,42	1,81	0,61	0,21
T1	GrA:1	I1	16/6/2024	2,41	0,21	1,59	4,88	0,26	0,49
T1	GrA:2	I2	16/6/2024	0,59	0,07	3,17	2,96	0,16	0,62
T1	GrA:3	I3	16/6/2024	0,30	0,14	0,32	2,59	0,54	0,29
T1	GrA:4	I4	16/6/2024	0,36	0,08	1,12	1,88	0,65	0,87
T1	GrA:5	I5	16/6/2024	0,44	0,14	2,14	2,92	0,52	1,13
T1	GrA:6	I6	16/6/2024	2,12	0,26	1,83	1,58	0,35	1,34
T1	GrA:7	I7	16/6/2024	0,98	0,13	1,95	3,04	0,21	0,18
T1	GrA:8	I8	16/6/2024	0,80	0,26	1,69	0,88	0,16	0,95
T1	GrA:9	I9	16/6/2024	0,16	0,15	1,89	1,60	0,54	0,24
T1	GrA:10	I10	16/6/2024	0,26	0,08	2,00	1,20	0,48	0,22
T2	GrB:1	I1	16/6/2024	0,04	0,06	1,62	1,83	0,15	0,21
T2	GrB:2	I2	16/6/2024	0,06	0,06	2,68	0,60	0,18	1,13
T2	GrB:3	I3	16/6/2024	0,05	0,04	1,19	2,89	0,55	0,11
T2	GrB:4	I4	16/6/2024	0,05	0,04	2,02	3,39	0,13	0,75
T2	GrB:5	I5	16/6/2024	0,10	0,05	0,38	1,12	0,06	0,40
T2	GrB:6	I6	16/6/2024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	GrB:7	I7	16/6/2024	3,25	0,09	2,43	11,61	0,86	0,12
T2	GrB:8	I8	16/6/2024	0,23	0,02	0,27	2,06	0,11	0,20
T2	GrB:9	I9	16/6/2024	0,30	0,11	3,10	4,59	0,73	0,24
T2	GrB:10	I10	16/6/2024	0,11	0,12	2,23	4,89	0,29	0,46
T3	GrC:1	I1	16/6/2024	0,08	0,03	5,46	5,80	1,00	0,20
T3	GrC:2	I2	16/6/2024	0,43	0,04	1,02	3,99	0,32	0,17
T3	GrC:3	I3	16/6/2024	0,48	0,04	3,10	10,76	0,76	1,05
T3	GrC:4	I4	16/6/2024	0,04	0,05	1,29	1,81	0,24	1,12
T3	GrC:5	I5	16/6/2024	0,04	0,03	2,69	4,52	0,18	0,57
T3	GrC:6	I6	16/6/2024	0,03	0,03	2,04	0,31	0,44	0,35
T3	GrC:7	I7	16/6/2024	0,10	0,05	3,21	2,34	0,21	0,44
T3	GrC:8	I8	16/6/2024	0,56	0,06	3,32	2,76	0,10	1,76
T3	GrC:9	I9	16/6/2024	0,18	0,06	10,89	12,38	1,28	2,60
T3	GrC:10	I10	16/6/2024	0,04	0,03	3,56	5,60	0,40	2,64
T1	GrA:1	I1	26/6/2024	1,92	0,11	2,79	2,16	1,47	0,34
T1	GrA:2	I2	26/6/2024	0,53	0,16	1,96	2,83	0,21	0,64
T1	GrA:3	I3	26/6/2024	0,70	0,21	2,13	0,71	0,23	0,40
T1	GrA:4	I4	26/6/2024	0,61	0,13	0,27	3,31	0,21	1,17
T1	GrA:5	I5	26/6/2024	0,50	0,11	1,65	1,20	0,34	0,30
T1	GrA:6	I6	26/6/2024	0,93	0,27	0,67	1,67	0,26	0,25
T1	GrA:7	I7	26/6/2024	0,63	0,14	2,45	5,00	0,26	2,54
T1	GrA:8	I8	26/6/2024	0,77	0,13	4,00	3,12	0,25	0,16

T1	GrA:9	I9	26/6/2024	0,43	0,10	1,13	2,89	0,27	0,23
T1	GrA:10	I10	26/6/2024	0,94	0,13	1,43	2,13	0,24	0,63
T2	GrB:1	I1	26/6/2024	0,22	0,07	1,40	3,73	0,20	0,19
T2	GrB:2	I2	26/6/2024	0,27	0,06	1,65	1,00	0,06	0,14
T2	GrB:3	I3	26/6/2024	0,33	0,06	1,65	2,56	0,34	0,48
T2	GrB:4	I4	26/6/2024	0,40	0,09	2,19	1,39	0,11	1,80
T2	GrB:5	I5	26/6/2024	0,17	0,08	0,66	1,03	0,08	0,07
T2	GrB:6	I6	26/6/2024	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	GrB:7	I7	26/6/2024	0,84	0,11	2,69	5,44	0,05	0,15
T2	GrB:8	I8	26/6/2024	0,29	0,04	3,09	3,02	0,10	0,13
T2	GrB:9	I9	26/6/2024	0,25	0,07	1,50	2,10	1,00	0,79
T2	GrB:10	I10	26/6/2024	0,30	0,08	1,13	2,03	0,14	0,17
T3	GrC:1	I1	26/6/2024	0,12	0,06	0,97	3,46	0,20	0,21
T3	GrC:2	I2	26/6/2024	0,24	0,04	0,25	0,40	0,15	0,13
T3	GrC:3	I3	26/6/2024	0,15	0,04	2,29	3,63	0,05	0,88
T3	GrC:4	I4	26/6/2024	0,21	0,03	1,78	1,45	0,16	0,10
T3	GrC:5	I5	26/6/2024	0,19	0,06	3,85	3,49	0,51	0,84
T3	GrC:6	I6	26/6/2024	0,20	0,04	0,76	0,41	0,05	0,15
T3	GrC:7	I7	26/6/2024	0,16	0,06	1,47	0,72	1,45	0,37
T3	GrC:8	I8	26/6/2024	0,10	0,03	2,91	2,12	0,30	0,26
T3	GrC:9	I9	26/6/2024	0,09	0,07	1,11	1,03	0,55	1,87
T3	GrC:10	I10	26/6/2024	0,12	0,09	2,56	5,26	1,33	0,99

**Anexo 7.** Largo del tallo en últimas mediciones de ciertos individuos del Grupo A

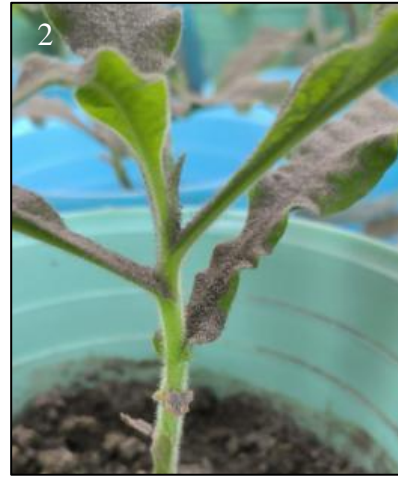




**Anexo 8.** Largo del tallo en últimas mediciones de ciertos individuos del Grupo B



**Anexo 9.** Largo del tallo en últimas mediciones en ciertos individuos del Grupo C



**Anexo 10.** Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo A



**Anexo 11.** Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo B



**Anexo 12.** Presencia de hojas amarillas en tres individuos del Grupo C



**Anexo 13.** Presencia de hojas arrugadas en los individuos 3, 4, 8 y 9 del Grupo B



**Anexo 14.** Presencia de hojas arrugadas en individuos 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9 del Grupo C



## **Anexo 15.** Certificado de traducción del resumen

Loja, 10 de enero de 2025

Mgtr.

Edgar M. Castillo C.

**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DEL IDIOMA INGLÉS  
COMO LENGUA EXTRANJERA**

**Certifica. -**

Haber traducido de español a inglés el resumen del trabajo de integración curricular:  
**Respuesta fenotípica de *Nicotiana tabacum* L., frente a partículas sedimentables  
colectadas en un punto de alto tráfico vehicular de la ciudad de Loja,** de la autoría del  
estudiante Maximo Joel Medina Cuenca, C.I.: 1401062102.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso  
del presente documento cuando lo considere conveniente.



firmado digitalmente por:  
**EDGAR MARIANO  
CASTILLO CUESTA**

Edgar M. Castillo C.  
**EFL TEACHER**

*Nro. Reg. Senescyt: 1031-07-785748*