

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la calidad del aire mediante Biomonitorio pasivo en la
Especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de
Chanchamayo**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Jamil Javier ALLEN RODRIGUEZ

Asesor:

Dr. Hiltser Juan CASTILLO PAREDES

Oxapampa - Perú – 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la
Especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de
Chanchamayo**

Sustentada y aprobada antes los miembros del jurado:

**Mg., Anderson MARCELO MANRIQUE
PRESIDENTE**

**Mg., Jesús Marino GOMEZ MIGUEL
MIEMBRO**

**Mg., Edson Valery RAMOS PEÑALOZA
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 100-2023-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. ALLEN RODRIGUEZ, Jamil Javier

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería Ambiental

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la Especie Ficus benjamina "ficus" en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo

Asesor:

Dr. CASTILLO PAREDES, Hitlser Juan

Indici de Similitud

29 %

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 22 de agosto del 2023


UNDA - UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villar Reguís Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación la dedico a Dios por guiarme en cada momento de mi vida, darme fuerzas para continuar y no desmayar frente a los problemas que se me presentaba.

A mi madre por brindarme su apoyo incondicional y motivación emocional, siempre muchos de mis logros se la debo a ella.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Hitlser Juan Castillo Paredes, asesor de tesis, por brindarme su apoyo absoluto en el desarrollo de la investigación.

Al Mg. Edson Valery Peñaloza Ramos y Blgo. José Antonio Ramírez Peralta por sus sugerencias y aportes en los análisis realizados.

A mis asesores, profesionales y amigos, por brindarme su apoyo y ánimos para culminar con esta investigación.

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados respecto al tiempo, zonas de muestreo y flujo vehicular mediante biomonitorio pasivo en la especie *Ficus benjamina*. Se tuvo en cuenta cinco estaciones de biomonitorio dentro de la zona urbana del distrito de Chanchamayo, en el cual se realizaron tres monitoreos: periodo I, periodo II y periodo III. El pretratamiento consistió en lavar las hojas de la especie, para luego ser recolectadas y enjuagadas, así poder cuantificar la concentración de partículas utilizando el método gravimétrico, seguidamente se determinó su área foliar y finalmente se envió las muestras para la determinación de metales pesados. La concentración de PAS mostró diferencia significativa ($P < 0.001$ que es < 0.05) en relación a las estaciones de biomonitorio, detallándose que la mayor concentración de PAS se obtuvo en el periodo III en la estación "P4" durante todo los periodos de monitoreo. Por el contrario, la concentración de Hierro (Fe) no presentó diferencia significativa en relación al periodo y estaciones de biomonitorio. Por otro lado, la concentración de Manganeso (Mn) mostró diferencia significativa ($P = 0.010 < 0.05$) respecto al periodo de monitoreo, observándose que la mayor concentración de Manganeso (Mn) se obtuvo en el periodo II en la estación "P5". Con respecto al flujo vehicular mostró diferencia significativa ($P < 0.001$ que es < 0.05) en relación al periodo y estaciones de biomonitorio, precisando que el mayor flujo vehicular se produjo en el periodo III en la estación "P5". Por lo que se puede concluir que existe variación de la concentración de PAS y metales pesados respecto al tiempo, zona de muestreo y flujo vehicular.

Palabras claves: Biomonitorio, flujo vehicular, área foliar, característica socioambiental, morfoanatomía.

ABSTRACT

In the present investigation, the variation of the concentration of sedimentable atmospheric particles (PAS) and heavy metals with respect to time, sampling areas and vehicular flow was evaluated through passive biomonitoring in the species *Ficus benjamina*. Five biomonitoring stations were taken into account within the urban area of the Chanchamayo district, in which three monitoring were carried out: period I, period II and period III. The pretreatment consisted of washing the leaves of the species, to later be collected and rinsed, in order to quantify the concentration of particles using the gravimetric method, then their leaf area was determined and finally the samples were sent for the determination of heavy metals. The PAS concentration showed a significant difference ($P < 0.001$, which is < 0.05) in relation to the biomonitoring stations, detailing that the highest PAS concentration was obtained in period III at the "P4" station during all the monitoring periods. On the contrary, the concentration of Iron (Fe) did not present a significant difference in relation to the period and biomonitoring seasons. On the other hand, the concentration of Manganese (Mn) showed a significant difference ($P = 0.010 < 0.05$) with respect to the monitoring period, observing that the highest concentration of Manganese (Mn) was obtained in period II at station "P5". Regarding the vehicular flow, it showed a significant difference ($P < 0.001$, which is < 0.05) in relation to the biomonitoring period and stations, specifying that the highest vehicular flow occurred in period III at station "P5". Therefore, it can be concluded that there is variation in the concentration of PAS and heavy metals with respect to time, sampling area and vehicular flow.

Keywords: Biomonitoring, vehicular flow, leaf area, socioenvironmental characteristic, morphoanatomy.

INTRODUCCIÓN

La era del antropoceno inicio con la revolución industrial donde surgieron cambios drásticos tanto en la economía como en el ambiente. Asimismo, en este periodo la contaminación del aire se empezó a percibir en mayor medida (Romero et al., 2006). Hoy en día el desarrollo económico y urbano de las ciudades generan alteraciones en el ambiente, como la contaminación del aire por partículas atmosféricas sedimentables (PAS); que se viene dando en mayor medida por actividades antropogénicas asociadas a factores de contaminación industrial, doméstica y vehicular (Rai, 2016).

En el Perú, la ciudad de Lima considerada dentro de las 50 ciudades más pobladas del mundo concentra alrededor de 10 072 millones de habitantes y es catalogada por la OMS como una de las ciudades más contaminadas del mundo, superando ampliamente los límites máximos permisibles recomendados por la OMS y los estándares nacionales de calidad del aire, debido a la elevada actividad industrial y principalmente el gran parque automotor con 2.2 millones de vehículos (Silva et al., 2017).

Además que la presencia de partículas atmosféricas sedimentables emitidas por los factores de contaminación al ambiente, genera afecciones graves para la salud, así como también la alteración de la composición natural de la atmósfera (Rai, 2016). La población más susceptible a los contaminantes del aire son los infantes, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes, puesto que la exposición a este contaminante aumenta la tasa de morbilidad, mortalidad e incrementa la cantidad de hospitalización por afecciones respiratorias y cardiacas (Oyarzún, 2010).

En vista de esta problemática que se viene desarrollando, surgieron diferentes métodos para estimar y diagnosticar el grado de contaminación del aire en las ciudades, como son los métodos fisico-químicos, que consiste en cuantificar las concentraciones de contaminantes con equipos de monitoreo; no obstante, estos no permiten alcanzar

conclusiones sobre los efectos que tienen los contaminantes atmosféricos sobre los seres vivos (Klumpp & Klumpp, 2004). Para ello, el método de biomonitorio se destaca por evaluar y cuantificar los contaminantes o concentraciones de sustancias con la finalidad de determinar la calidad del aire de un lugar determinado empleando especies o órganos de los mismos, no obstante existen dos tipos de biomonitoreos: biomonitoreos activos y pasivos (Anze et al., 2007)

Se denomina biomonitorio activo cuando se utiliza especies introducidas y de exposición controlada para cuantificar la contaminación de un lugar determinado; por lo contrario, el biomonitorio pasivo se realiza cuando las especies utilizadas están presentes en el ecosistema a evaluar (Klumpp & Klumpp, 2004; Kretinin & Selyanina, 2006).

Debido al alto costo de los equipos de monitoreo atmosféricos, surge la alternativa económica y eficaz, como es el empleo de biomonitorio que ha venido ganando terreno en las últimas décadas en países desarrollados y en vías de desarrollo, como herramienta de diagnóstico para evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en el ecosistema y la salud humana (Anze et al., 2007).

No hay duda que la contaminación de la atmósfera es más notorio en las grandes urbes de nuestro país como es Lima, no obstante también se ha empezado a percibirse en ciudades del interior del país en vía de desarrollo, que se atribuye al rápido incremento del parque automotor y actividades productivas que generan partículas. El distrito de Chanchamayo como capital de la provincia del mismo nombre, no está exento a la presencia de partículas atmosféricas sedimentables, a pesar que la industrialización es limitada, existen otros elementos contaminantes de la atmósfera como lo son; el excesivo incremento del parque automotor, vías sin pavimentar, falta de limpieza de vías, entre otros. Asimismo, se cuenta con escasa información sobre este contaminante, razón por la

cual es de necesidad investigar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados.

Bajo estas consideraciones, la presente investigación tuvo como objetivo general determinar la variación de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados (Cadmio, Manganeseo, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito de Chanchamayo, mediante biomonitorio pasivo en la especie *Ficus benjamina* “ficus”.

Mientras que los objetivos específicos fueron:

- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo.
- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo.
- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	4
1.2.1. Delimitación espacial	4
1.2.2. Delimitación temporal	5
1.2.3. Delimitación conceptual	5
1.3. Formulación del problema	6
1.3.1. Problema general	6
1.3.2. Problemas específicos.....	6
1.4. Formulación de Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Justificación de la investigación	7
1.6. Limitaciones de la investigación.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	9
2.2. Bases teóricas – científicas	14
2.2.1. Contaminación del aire	14
2.2.2. Principales contaminantes del aire	14
2.2.2.1. Monóxido de carbono.....	14
2.2.2.2. Dióxido de azufre	14
2.2.2.3. Óxidos de nitrógeno	15

2.2.2.4. Ozono troposférico	15
2.2.2.5. Material particulado	15
2.2.3. Partículas atmosféricas sedimentables.....	16
2.2.4. Fuentes de contaminantes del aire	16
2.2.4.1. Fuente natural	16
2.2.4.2. Fuente antropogénica	16
2.2.5. Clasificación de las partículas atmosféricas sedimentables	17
2.2.5.1. Por su origen.....	17
2.2.5.2. Por su composición	18
2.2.5.3. Por su tamaño	19
2.2.5.4. Por su morfología	20
2.2.6. Dinámica de las partículas atmosféricas sedimentables	22
2.2.6.1. Temperatura.....	22
2.2.6.2. Precipitación.....	22
2.2.6.3. Dirección y velocidad del viento.....	22
2.2.7. Mecanismos de deposición de partículas atmosféricas sedimentables.....	23
2.2.8. Efectos de las partículas atmosféricas en la salud y la vegetación	24
2.2.8.1. Efecto en la salud	24
2.2.8.2. Efectos en la vegetación	25
2.2.9. Retención de partículas atmosféricas por la vegetación urbana	26
2.2.10. <i>Ficus benjamina</i>	28
2.2.11. Normativa internacional y nacional de referencia de las partículas atmosféricas sedimentables	29
2.3. Definición de términos básicos	29
2.4. Formulación de Hipótesis	31
2.5.1. Hipótesis General	31
2.5.2. Hipótesis Específicas	31
2.5. Identificación de Variables	31
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	32

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	33
3.2. Nivel de investigación.....	33
3.3. Métodos de investigación.....	33
3.4. Diseño de la investigación	34
3.5. Población y muestra	34
3.5.1. Población	34
3.5.2. Muestra	34
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	37
3.6.2. Instrumentos mecánicos de investigación	37
3.6.3. Instrumentos auxiliares de recolección de datos	38
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	38
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	38
3.9. Tratamiento Estadístico.....	39
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	40
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	46
4.2.1. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación al tiempo	46
4.2.1.1. Concentraciones de PAS del periodo I.....	46
4.2.1.2. Concentración de metales pesados del periodo I.....	47
4.2.1.3. Concentración de PAS del periodo II.....	49
4.2.1.4. Concentración de metales pesados del periodo II	49
4.2.1.5. Concentración de PAS del periodo III	51
4.2.1.6. Concentración de metales pesados del periodo III.....	52
4.2.1.7. Concentración promedio temporal del PAS en relación al tiempo	53

4.2.1.8.	Comparación de las concentraciones obtenidas con los estándares de calidad ambiental.....	54
4.2.1.9.	Comparación de las concentraciones de PAS en relación a las condiciones meteorológicas	55
4.2.2.	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación a las zonas de muestreo	61
4.2.2.1.	Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1)	62
4.2.2.2.	Concentración de metales pesados en la Avenida Castilla (P1)....	63
4.2.2.3.	Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2)	65
4.2.2.4.	Concentración de metales pesados en la Avenida Los Pioneros (P2)	66
4.2.2.5.	Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3).....	67
4.2.2.6.	Concentración de metales pesados en la Avenida Circunvalación (P3)	69
4.2.2.7.	Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4).....	70
4.2.2.8.	Concentración de metales pesados en la Avenida Aguirrezabal (P4)	72
4.2.2.9.	Concentración de PAS en Prolongación Tarma (P5)	73
4.2.2.10.	Concentración de metales pesados en Prolongación Tarma	75
4.2.3.	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación al flujo vehicular.....	77
4.2.3.1.	Concentración de PAS en relación al flujo vehicular.....	77
4.2.3.2.	Concentración de metales pesados en relación al flujo vehicular en el periodo de estudio.....	80
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	83
4.3.1.	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación al tiempo y zonas de muestreo.....	83
4.3.1.1.	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación al tiempo	83
4.3.1.2.	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación a las zonas de muestreo	84
4.3.2.	Concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo y zonas de muestreo..	87
4.3.2.1.	Concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo	87

4.3.2.2. Concentración de Hierro (Fe) en relación a las zonas de muestreo	88
4.3.3. Concentración de Manganeso (Mn) en relación al tiempo y zonas de muestreo.....	92
4.3.3.1. Concentración de Manganeso (Mn) en relación al tiempo.....	92
4.3.3.2. Concentración de Manganeso (Mn) en relación a las zonas de muestreo	92
4.3.4. Flujo vehicular en relación al tiempo y zonas de muestreo.....	96
4.3.4.1. Flujo vehicular en relación al tiempo	96
4.3.4.2. Flujo vehicular en relación a las zonas de muestreo	96
4.4. Discusión de resultados.....	100

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas internacionales sobre calidad del aire	29
Tabla 2. Normas nacionales sobre calidad del aire	29
Tabla 3. Definición operacional de variables e indicadores.....	32
Tabla 4. Sitios de biomonitoreo.....	35
Tabla 5. Periodos de biomonitoreos	40
Tabla 6. Concentración de PAS del periodo I	47
Tabla 7. Concentración de metales pesados del periodo I.....	48
Tabla 8. Concentración de PAS del periodo II.....	49
Tabla 9. Concentración de metales pesados del periodo II	50
Tabla 10. Concentración de PAS del periodo III.....	51
Tabla 11. Concentración de metales pesados del periodo III	52
Tabla 12. Promedio de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) por periodo de monitoreo y fecha de registro	53
Tabla 13. Concentración de PAS según temperatura y periodo de monitoreo.....	55
Tabla 14. Concentración de PAS según precipitación y periodo de monitoreo	56
Tabla 15. Concentración de PAS según velocidad y dirección de viento, y periodo de monitoreo.....	58
Tabla 16. Características socioambientales por las zonas de muestreo.....	61
Tabla 17. Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo y el ECA	62
Tabla 18. Concentración de metales pesados en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo	64
Tabla 19. Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo	65
Tabla 20. Concentración de metales pesados en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo	67_Toc140644904
Tabla 21. Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo	68
Tabla 22. Concentración de metales pesados en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo	70
Tabla 23. Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo	71

Tabla 24. Concentración de metales pesados en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo	73
Tabla 25. Concentración de PAS en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo	74
Tabla 26. Concentración de metales pesados en Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo	76
Tabla 27. Concentración de PAS según flujo vehicular por estaciones de biomonitoreo y periodo de monitoreo	78
Tabla 28. Concentración de metales pesados según flujo vehicular, estaciones de biomonitoreo y periodos de monitoreo	82
Tabla 29. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk de la concentración de PAS en relación al tiempo.....	85
Tabla 30. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de la concentración de PAS en relación a las estaciones de biomonitoreo.....	85
Tabla 31. Prueba de ANOVA para la concentración de PAS en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo	86
Tabla 32. Test de Duncan para concentración de PAS respecto a las estaciones de biomonitoreo	87
Tabla 33. Prueba de normalidad de la concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo.....	89
Tabla 34. Prueba de normalidad de la concentración de Hierro (Fe) en relación a las estaciones de biomonitoreo	89
Tabla 35. Prueba de ANOVA para la concentración de Hierro en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo	90
Tabla 36. Test de Duncan para concentración de Hierro respecto al tiempo	91
Tabla 37. Test de Duncan para concentración de Hierro respecto a las estaciones de biomonitoreo	91
Tabla 38. Prueba de normalidad de la concentración de Manganeseo (Mn) en relación al tiempo.....	93
Tabla 39. Prueba de normalidad de la concentración de Manganeseo (Mn) en relación a las estaciones de biomonitoreo	93
Tabla 40. Prueba de ANOVA para la concentración de Manganeseo en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo.....	95
Tabla 41. Test de Duncan para concentración de Manganeseo respecto al tiempo	95

Tabla 42. Prueba de normalidad del flujo vehicular en relación al tiempo	97
Tabla 43. Prueba de normalidad del flujo vehicular en relación a las estaciones de biomonitorio	97
Tabla 44. Prueba de ANOVA para el flujo vehicular en relación al tiempo y estaciones de biomonitorio	99
Tabla 45. Test de Duncan para el flujo vehicular respecto al tiempo	99
Tabla 46. Test de Duncan para flujo vehicular respecto a las estaciones de biomonitorio	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto de investigación	5
Figura 2. Fuente de contaminación de la atmósfera	17
Figura 3. Clasificación de partículas según su diámetro aerodinámico	20
Figura 4. Micrografía de una partícula de carbono	21
Figura 5. Proceso de emisión, transporte y deposición atmosférica.....	23
Figura 6. Deposición de las partículas en el aparato respiratorio según el tamaño.....	25
Figura 7. Localización de estaciones de biomonitoreo	36
Figura 8. Concentración de PAS – periodo I.....	47
Figura 9. Concentración de metales pesados – periodo I.....	48
Figura 10. Concentración de PAS – periodo II	49
Figura 11. Concentración de metales pesados – periodo II.....	50
Figura 12. Concentración de PAS – periodo III.....	51
Figura 13. Concentración de metales pesados – periodo III	52
Figura 14. Concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) por periodo de monitoreo	53
Figura 15. Comparación del PAS con los estándares de calidad ambiental.....	54
Figura 16. Concentración de PAS según temperatura y periodo de monitoreo	56
Figura 17. Concentración de PAS según precipitación y periodo de monitoreo.....	57
Figura 18. Rosa de viento del periodo de monitoreo.....	60
Figura 19. Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo y el ECA	63
Figura 20. Concentraciones de metales pesados en la Av. Castilla (P1) según periodo de monitoreo	64
Figura 21. Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo	66
Figura 22. Concentraciones de metales pesados en la Av. Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo	67
Figura 23. . Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo	69
Figura 24. Concentraciones de metales pesados en la Av. Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo	70

Figura 25. Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo	72
Figura 26. Concentraciones de metales pesados en la Av. Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo	73
Figura 27. Concentración de PAS en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo	75
Figura 28. Concentraciones de metales pesados en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo	76
Figura 29. Concentración de PAS según flujo vehicular por estaciones de biomonitoreo y periodo de monitoreo	79
Figura 30. Concentración de metales pesados según flujo vehicular, estaciones de biomonitoreo y periodos de monitoreo	83
Figura 31. Pretratamiento de los folios.....	159
Figura 32. Recolección de folios de la especie <i>Ficus benjamina</i>	160
Figura 33. Pesado de la muestra foliar	161
Figura 34. Rotulado de vaso precipitado	162
Figura 35. Secado del vaso precipitado por 15 min a 70 °C	163
Figura 36. Pesado del vaso precipitado	164
Figura 37. Lavado de folios.....	165
Figura 38. Concentrado de PAS de cada zona de muestreo	166
Figura 39. Secado del concentrado de PAS por 24 horas a una temperatura de 70 °C	167
Figura 40. Pesado del vaso precipitado con PAS	168
Figura 41. Secado de hojas de <i>Ficus benjamina</i> para determinar su área	169
Figura 42. Escaneo de folios para determinación de área foliar.....	170
Figura 43. Determinación del área foliar en el software ImageJ.....	171

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La contaminación del aire se inició con el dominio del fuego por parte del hombre; no obstante, ésta en la revolución industrial se empezó a percibir en mayor medida debido a que las industrias tenían como combustible a la hulla y el carbón, como consecuencia, surgieron drásticos cambios en el ambiente (Romero et al., 2006).

El aire sobrecargado de partículas atmosféricas afecta a más personas que ningún otro contaminante, además se estima que 4 200 000 muertes prematuras son atribuidas a este contaminante en zonas urbanas y rurales de países en vías de desarrollo y bajos recursos (OMS, 2021). En la actualidad, el crecimiento desmedido de las ciudades induce al desarrollo de nuevas áreas urbanizadas, industrias y construcción de infraestructuras viales para su interconexión; a su vez,

el alto flujo vehicular son las principales causas de contaminación del aire, especialmente por partículas atmosféricas sedimentables (Kończak et al., 2021). El origen de las partículas atmosférica sedimentables se produce por actividades naturales y antropogénicas, entre las naturales se tienen a las emisiones volcánicas, incendios forestales y partículas transportadas por el viento (Arciniégas, 2012). Mientras que, en las actividades antropogénicas se tienen a los procesos industriales, remoción de material agregado, fábricas de cemento, erosión del suelo, emisiones de tubos de escape de vehículos y abrasión de neumáticos de los vehículos (Appleton et al., 2020). Generalmente las partículas de origen antropogénico son más pequeñas y más nocivas, en comparación con las partículas de origen natural, por ende, las partículas antropogénicas están asociadas a procesos de combustión, y causan afecciones graves a la salud humana (K et al., 2000b).

La población más susceptible a los contaminantes del aire son los infantes, adultos mayores, así como personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes, dado a la exposición a estos contaminantes aumenta la tasa de morbilidad, mortalidad e incrementa la cantidad de hospitalización por afecciones respiratorias y cardíacas (Kończak et al., 2021). E inclusive, puede provocar enfermedades graves como cáncer pulmón, laringe o sistema circulatorio (Oyarzún, 2010). Puesto que, las partículas atmosféricas al ingresar al sistema respiratorio causan inflamación pulmonar generando así daños funcionales y estructurales en el pulmón (Matus & Oyarzún, 2019). Por esta razón, se prevé que el número de muertes prematuras provocadas por la exposición al material particulado duplicarán las cifras actuales para el año 2 050 (OCDE, 2012).

Por lo que, la importancia de realizar monitoreos atmosféricos, permite conocer los niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera; así como,

la composición química, origen, y los factores meteorológicos que influyen sobre las partículas atmosféricas, para así comparar los niveles con las normas ambientales vigentes, a fin de salvaguardar la salud de la población y establecer acciones de control y vigilancia epidemiológica según los niveles de concentración que se presenten (Salcido et al., 2019). No obstante, los altos costos de los equipos y de operación imposibilitan realizar monitoreos constantes en diversas zonas de una ciudad. Ante esto, se busca métodos alternativos como la utilización del follaje de los árboles que cumple el rol de receptor de partículas atmosféricas y ayuda a diagnosticar el grado de contaminación (Dalmasso et al., 1997).

De igual modo, el empleo de métodos alternativos como el método de biomonitoreo pasivo que ha venido ganando terreno en las últimas décadas en países desarrollados y en vías de desarrollo, es una herramienta de diagnóstico para evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en el ecosistema y la salud humana (Anze et al., 2007).

En el Perú, la ciudad de Lima está considerada dentro de las 50 ciudades más pobladas del mundo, concentra alrededor de 10 072 000 habitantes, catalogada por la OMS como una de las ciudades más contaminadas del mundo ocupando los puestos 12 y 16 referidos a PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente, superando ampliamente los límites máximos permisibles recomendados por la OMS y los estándares nacionales de calidad del aire, debido a la elevada actividad industrial y principalmente al gran parque automotor con 2 200 000 vehículos automotores (Silva et al., 2017).

El distrito de Chanchamayo no es ajeno a esta problemática de contaminación del aire, donde las industrias tostadoras de café liberan emisiones a la atmósfera sin control alguno, existen plantas de extracción de material de

agregados clandestinos que resuspenden las partículas del suelo, además existen ladrilleras informales asentadas en la zona urbana, como también las emisiones ocasionadas por actividades gastronómicas y de construcción. Además, la calidad del aire se ve disminuida debido a la existencia de hábitos inadecuados de la población como la quema de residuos sólidos e incendios forestales provocados en las zonas aledañas al distrito con fines agropecuarios en temporada seca. Asimismo, el distrito de Chanchamayo se ubica en una zona de alto flujo vehicular, por ser la única vía de ingreso a la selva central, por ende, el tránsito de los vehículos genera partículas atmosféricas producto de la combustión en los motores las cuales son eliminadas por el tubo de escape y la resuspensión de las partículas del suelo provocado por la abrasión de neumáticos con el pavimento. En consecuencia, se pretendió evaluar la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo.

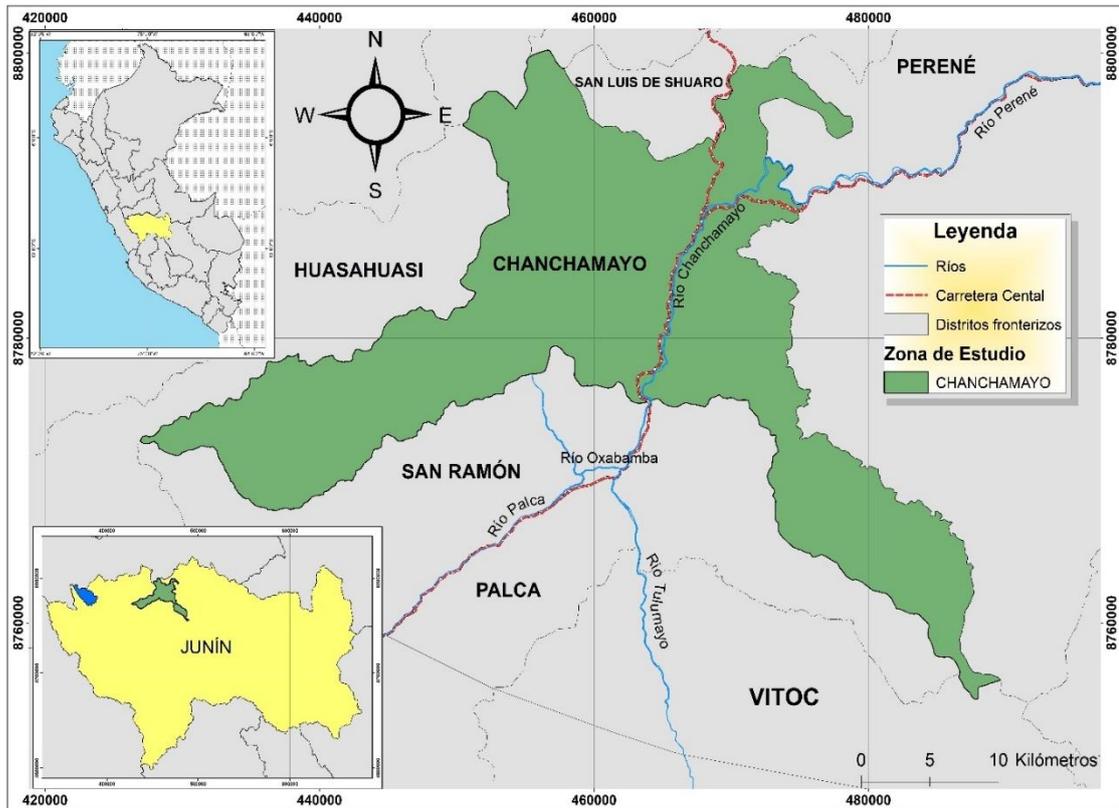
1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El área de influencia del proyecto fue la zona urbana del distrito de Chanchamayo, provincia de Chanchamayo, región Junín, **Figura 1.**

Figura 1.

Mapa de ubicación del proyecto de investigación



Nota: se aprecia ubicación del distrito de Chanchamayo lugar donde se realizó la investigación. Fuente: elaboración propia en base al Instituto Geográfico Nacional (2021).

1.2.2. Delimitación temporal

La duración de la investigación comprendió un tiempo de tres meses realizado en las estaciones de otoño e invierno, donde se realizaron tres muestreos de material foliar.

1.2.3. Delimitación conceptual

Se estudió la concentración de partículas atmosféricas en la zona urbana del distrito de Chanchamayo, mediante biomonitorio empleando *Ficus benjamina*; asimismo, se evaluó aspectos como el flujo vehicular y la presencia de metales pesados.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo varía las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados (Cadmio, Manganeso, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito de Chanchamayo?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo?
- ¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo?
- ¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la variación de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados (Cadmio, Manganeso, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito de Chanchamayo, mediante biomonitoreo pasivo en la especie *Ficus benjamina* “ficus”.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo.

- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo.
- Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular.

1.5. Justificación de la investigación

En las últimas décadas la calidad del aire se ha visto deteriorada por la presencia de altas concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables en las ciudades, producto de la expansión urbanística sin ninguna planificación, presencia de industrias y aumento desmedido del parque automotor; las cuales, hacen que la calidad de vida de la población se vea afectada debido a la presencia de partículas atmosféricas sedimentables que pueden ocasionar enfermedades graves desde asma, bronquitis, conjuntivitis, cáncer de pulmón hasta incluso puede causar la muerte (Matus & Oyarzún, 2019). Por otro lado, en la actualidad no se tiene registro de la existencia de ningún trabajo de investigación en el distrito de Chanchamayo respecto a la calidad del aire. De ahí la importancia del trabajo de investigación.

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación permitió realizar biomonitoreos pasivos con la especie *Ficus benjamina*, la cual presenta características idóneas para tal estudio, como son: adaptabilidad a zonas con alto estrés ambiental, especie perennifolia, hojas fáciles de medir y presenta características morfo-anatómicas en sus hojas como es la exudación de látex en la superficie foliar la cual la hace una especie idónea para la retención de partículas en las superficies de las hojas, con la finalidad de determinar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en las principales vías de tránsito vehicular,

del mismo modo los resultados del análisis de las concentraciones de metales pesados (Cadmio, Manganeso, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito servirán para la toma de decisiones de parte de los gobiernos locales y de gestionar de una manera más óptima las áreas verdes y el arbolado urbano sin caer en el monocultivo, de tal manera que la población disfrute de los servicios ecosistémicos que nos brindan los árboles.

1.6. Limitaciones de la investigación

Dentro de las limitaciones para la realización de este proyecto de investigación, se tendrán aspectos económicos para realizar análisis químicos de las muestras del material foliar, asimismo, otro de los aspectos es la ausencia de información sobre el inventario y distribución del arbolado urbano.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Kończak *et al.* (2021) en el trabajo de investigación: “*Evaluación de la capacidad de la vegetación al borde de la carretera para eliminar partículas del aire urbano*” realizaron una caracterización de la composición elemental de las partículas depositadas en la superficie de las hojas de las especies presentes al borde de la carretera de alto tránsito en el norte de Katowice (Polonia). Las especies muestreadas fueron: un árbol de coníferas de la familia de cipreses *Thuja occidentalis*, siete especies de árboles: *Quercus rubra*, *Tilia Cordata Mill.*, *Prunus cerasifera*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer pseudoplatanus*, *Betula péndula* “*youngii*”, *Platanus orientalis*, tres especies de arbustos: *Crataegus monogyna*, *Forsythia intermedia*, *Ligustrum vulgare* y tres especies de enredaderas: *Hedera hélix L.*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Parthenocissus tricuspidata*. Para

determinar la masa de PM retenidas en la superficie foliar, lo realizó por el método de gravimetría a través de filtros de papel; adicionalmente examinaron las hojas para obtener la composición elemental a través del microscopio electrónico de barrido (SEM/EDS). Los resultados señalaron que las especies, *Betula péndula* “yonguii” y *Parthenocissus quiuefolia* acumularon mayor cantidad de PM en sus hojas, y en cuanto a la composición de elementos encontrados fueron de la siguiente orden C>O>Si>Fe, y metales pesados Ba>Pb>Cr y Ti>Sn>Ni, entre ellos, elementos de tierras raras (REE). Llegando a la conclusión que el arbolado presente al borde de la carretera tenía mayor potencial de retención de PM.

Luzuriaga (2019) en su investigación, titulada “*Evaluación del potencial de la vegetación para retención del polvo sedimentable en la zona urbana de la ciudad de Loja*” con el propósito de evaluar el potencial de retención de la vegetación y estimar los niveles de concentración de polvo sedimentable, a través de dos metodologías: colectores pasivos y biomonitorio pasivo; para el desarrollo se colocó 18 muestreadores pasivos y se colectaron 173 especies entre árboles y arbustos; las especies utilizadas para el biomonitorio fueron: *Salix humboldtiana Willd*, *Fraxinus chinensis Roxb* y *Hibiscus rosa-sinensis Linneo* durante un período de cuatro meses (marzo-junio del 2018), los datos obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), donde los límites máximos permisibles son de 0.5 y 1.0 mg/cm²/30 días respectivamente. Los resultados mostraron que la especie *Hibiscus rosa-sinensis Linneo* posee una mayor capacidad de retención de polvo con 3 114.82 mg/cm²/30 días, en cambio, los colectores pasivos solo retuvieron 3.04

mg/cm²/30 días; concluyendo que el biomonitoreo pasivo resulta más efectivo al momento de retener el polvo atmosférico en comparación a los colectores pasivos.

Angulo (2018) en la tesis titulada “*Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arbórea Ficus benjamina en el Parque zonal “Mayta Cápac”, San Martín de Porres*”, realizó una serie de monitoreos usando como biomonitor la especie *Ficus benjamina* durante dos meses (noviembre - diciembre del 2017), con el objetivo de conocer la capacidad de adsorción del material particulado. Para ello, comparó una zona con cobertura de *Ficus benjamina* y otra zona sin presencia de esta especie, en esta zona se utilizó placas receptoras para determinar la concentración de material particulado. Además, se clasificó la zona con presencia de *Ficus benjamina* según su follaje en: frondoso, intermedio y ralo. Asimismo, se obtuvo la concentración de polvo sedimentable a través de la metodología de gravimetría. Sus resultados mostraron que la especie con follaje frondoso obtuvo 6 829.624 mg/árbol/mes de capacidad de adsorción; mientras que las especies con follaje intermedio y ralo, obtuvieron 1 601.294 y 405.472 mg/árbol/mes respectivamente de capacidad de adsorción de material particulado. Concluyéndose que la capacidad de adsorción de la especie *Ficus benjamina* para el estudio fue de 0.5368 mg/cm²/30 días en el área de cobertura de esta especie; mientras que para el área sin cobertura de *Ficus benjamina* se obtuvo la concentración de polvo sedimentable mediante placas receptoras fue de 4.5414 mg/cm²/30 días.

Martínez (2017) en la investigación, titulada: “*Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México*”, con el objetivo de identificar la especie más idónea para la captura de material particulado en las hojas de los árboles de abundante distribución en el municipio de

Toluca, las especies muestreadas fueron *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum*, *Liquidambar styraciflua* y de la familia Cupressaceae (ciprés, enebro y tulia). Los resultados mostraron que la familia Cupressaceae obtuvo un depósito seco superior a 10 g kg^{-1} de depósito seco, mientras que las especies liquidámbar obtuvieron un depósito seco inferior a los 5 g kg^{-1} y las especies fresno y trueno obtuvieron valores inferiores a 10 g kg^{-1} . Concluyendo que esta especie de la familia Cupressaceae es idónea para ser plantadas en camellones, paraderos de buses, acera, etc.

Merino (2017) en el trabajo, titulado: “*Retención de polvo atmosférico sedimentable en las especies Ficus benjamina y Schinus terebinthifolius en las zonas residencia y comercial de la Avenida Brasil-Pueblo Libre 2017*”, estimó la capacidad de retención de polvo atmosférico sedimentable en las especies *Ficus benjamina* y *Schinus terebinthifolius* en la zona comercial y residencial de la avenida Brasil en los meses de septiembre y octubre del año 2017. La metodología empleada para la obtención de la concentración de polvo atmosférico sedimentable fue por gravimetría y espectrometría de absorción atómica para determinar la concentración de metales pesados. Los resultados indicaron que la especie *Ficus benjamina* retuvo un total de 64.08 mg/kg de materia seca en la zona comercial, mientras que para la zona residencial retuvo un total de 152.54 mg/kg de materia seca. En cuanto a la especie *Schinus terebinthifolius* retuvo un total de 91.50 mg/kg de materia seca en la zona comercial, mientras que para la zona residencial retuvo un total de 82.88 mg/kg de materia seca. Con respecto a los metales se hallaron metales pesados como: Arsénico, Hierro, Manganeso, Zinc, Cadmio, Cobre y Plomo.

Alcalá-Jáuregui *et al.*(2010) en la investigación, titulado: “*Potencial de retención de polvo atmosférico en tres especies vegetativas del ecosistema semiárido, San Luis Potosí, México*”, que consistió en recolectar muestras de hojas de las especies *Prosopis leavigata*, *Acacia farnesiana* y *Schinus molle*, con el objetivo de evaluar la capacidad de retención de polvo atmosférico. Para ello, considero 18 puntos de monitoreo a lo largo de un corredor ecológico en función al uso de suelos, los muestreos se realizaron durante el 2009 y 2010 considerando todas las estaciones del año. Los resultados obtenidos revelan que los efectos de especie y temporada tiene significancia al momento de retener el polvo atmosférico sedimentable, obteniéndose que la especie *Acacia farnesiana* obtuvo la mayor capacidad de retención con una media de 0.16 ± 0.01 (g kg^{-1} de peso seco) y la temporada con mayor cantidad de polvo atmosférico fue el invierno del 2010 con una media de 0.18 ± 0.02 (g kg^{-1} de peso seco).

Dalmaso *et al.* (1997) en la investigación intitulada “*La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico*” con el objetivo de analizar partículas depositadas sobre las hojas de árboles cercanas a las industrias cementeras en el Municipio de Malagueño - La Calera, Argentina. Para ello, se muestrearon 64 árboles de 9 especies entre originarios e introducidas. El muestreo se realizó a diferentes distancias de la fuente de emisión (chimenea) entre 200, 1 000 y 3 000 m. Las hojas fueron llevadas al laboratorio donde se lavaron, filtraron y pesaron, hallándose la cantidad de polvo sedimentable en función de la materia seca foliar ($\text{g de polvo sedimentable/kg de MS foliar}$). Las conclusiones señalan que la especie *Acacia caven* resultó ser una especie ideal para la acumulación de polvo atmosférico.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Contaminación del aire

Según Yassi *et al.* (2002) definen como la emisión de sustancias al aire, que exceden la capacidad de transformación por los procesos naturales de la atmósfera.

2.2.2. Principales contaminantes del aire

2.2.2.1. Monóxido de carbono

Es un gas que se encuentra de forma natural y antropogénica en la atmósfera, la principal generación de monóxido de carbono se da por una combustión incompleta de motores (vehículos, calefacción, hornos, etc.). Además, este gas posee algunas características químicas como: incoloro, inodoro, insípido y es más denso que el aire (Inche, 2004).

2.2.2.2. Dióxido de azufre

El dióxido de azufre se produce de forma natural y antropogénica, sin embargo, las actividades del hombre generan mayor contaminación, debido a la combustión de fósiles y quema de carbón. Asimismo, la formación de este contaminante en la atmósfera forma sulfatos en el proceso de oxidación, con lo cual, al desarrollarse el ciclo del sulfato en la atmósfera, esta forma parte del material particulado PM₁₀, aparte de ser el responsable de las lluvias ácidas. Por otro lado, el dióxido de azufre presenta una doble densidad en comparación con la densidad del aire, no es inflamable, presenta estabilidad, alta solubilidad en agua y no es explosivo (Instituto para la Salud Geoambiental, 2020).

2.2.2.3. Óxidos de nitrógeno

Inche (2004) menciona que los óxidos de nitrógeno se originan de manera natural y antropogénica, en las primeras se dan a través de erupciones volcánicas o fenómenos atmosféricos y por actividades antropogénicas como el transporte, debido a la combustión interna de los vehículos. Además de ser un gas altamente tóxico, incoloro e inodoro, por lo que en concentración elevadas provoca afección a la salud.

2.2.2.4. Ozono troposférico

El ozono troposférico se forma muy próximo a la superficie terrestre a partir de contaminantes, producto del parque automotor y actividades industriales, estas al entrar en combinación de otros gases llamados precursores y en presencia de la radiación solar, forman el ozono. Se considera un gas nocivo para la salud humana en altas concentraciones (Ceballos et al., 2018).

2.2.2.5. Material particulado

A nivel urbano el material particulado es el principal contaminante del aire, entre estas se incluye a partículas sólidas y líquidas de origen natural como antropogénico, en esta última se incluye a las emisiones de hollín de vehículos que utilizan combustible diésel, polvo de actividades agrícolas y procesos industriales (Fang et al., 2003). Mientras que, dentro de las partículas de origen natural se tiene a las emisiones volcánicas, incendios forestales y las partículas transportadas por el viento, etc. Las partículas al tener un tamaño, forma y composición compleja, se identifican en función al diámetro aerodinámico, que van desde nanómetros (nm) hasta micras (μm) (Arciniégas, 2012). De igual modo, según Pérez-Vidal (2010)

los subdivide en: “partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 micras, inhalables o respirables (PM₁₀), cuyo diámetro es menor a 10 micras, finas con diámetro menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) y ultrafinas cuyo diámetro es menor a 1 micra (PM₁)” (p. 151).

2.2.3. Partículas atmosféricas sedimentables

Estas partículas están constituidas por un diámetro mayor o igual a 10 μ , que, debido a su peso influenciado por la gravedad, descienden a la superficie terrestre sedimentándose en forma de polvo, depositándose en superficies como edificios, césped, monumentos, vialidades, etc. donde son nuevamente resuspendidos por los flujos turbulentos originados en ambientes urbanos (Marcos et al., 2008). De este grupo las partículas finas al ser liviano en peso se mantienen mayor tiempo en la atmósfera, mientras que las partículas gruesas al tener mayor tamaño y peso se sedimentan en superficies cercanas a las fuentes de emisión (K et al., 2000a).

2.2.4. Fuentes de contaminantes del aire

2.2.4.1. Fuente natural

Arciniégas (2012) afirma “entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas y las partículas arrastradas por el viento, como el aerosol marino” (p.3). Asimismo se dice que son eventos aislados que contaminan el aire (Inche, 2004), **Figura 2.**

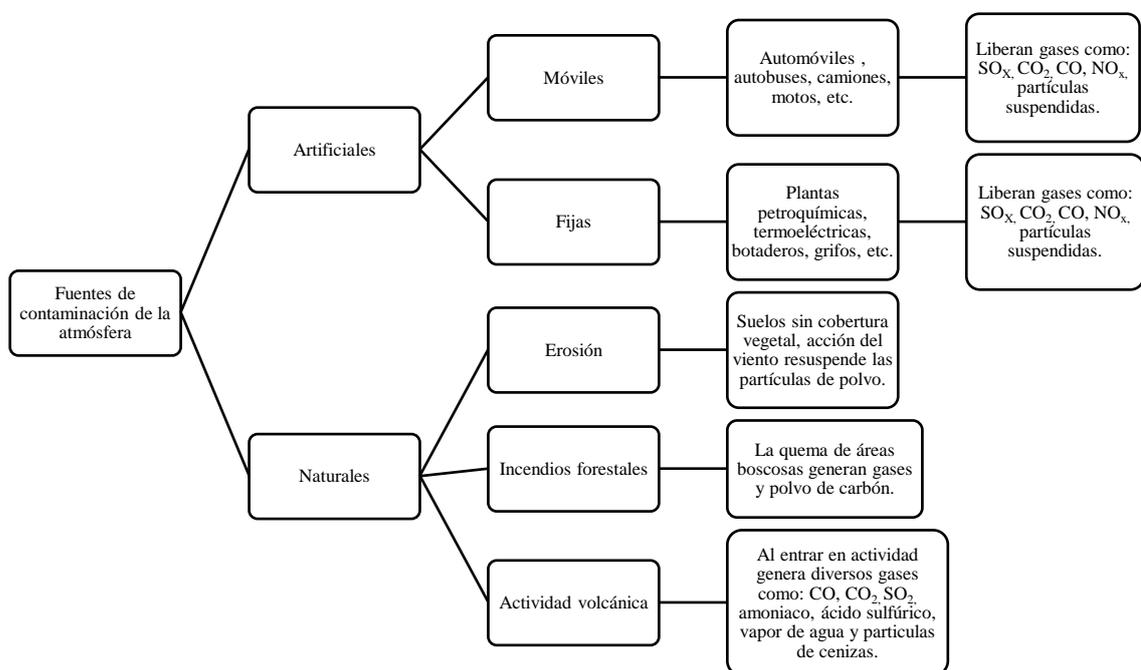
2.2.4.2. Fuente antropogénica

- **Fuente fijas o estacionarias:** Son actividades económicas como las industrias de petróleo, cemento, pintura, papel, vidrio, acero, etc. Las cuales se asientan en un lugar determinado en donde liberan emisiones a la atmósfera contaminándola (Inche, 2004).

- **Fuentes móviles:** Inche (2004), menciona, que se considera al parque automotor que circulan por las ciudades contaminándola. Además las emisiones producidas por fuente móviles, generan partículas pegajosas que se depositan en la superficie de las hojas de árboles ubicados al borde de la carretera (Rai, 2016).

Figura 2.

Fuente de contaminación de la atmósfera



Fuente: elaboración propia en base a lo reportado por Inche (2004).

2.2.5. Clasificación de las partículas atmosféricas sedimentables

2.2.5.1. Por su origen

- **Partículas primarias:** están constituidas por líquidos y sólidos provenientes de la quema de biomasa, combustión incompleta de motores vehiculares e industriales, erupciones volcánicas, polvo resuspendido de carreteras, polvo mineral, sal marina y compuestos

biológicos arrastrados por el viento o por el tráfico (microorganismos, fragmentos de vegetales, polen, etc.) (Pöschl, 2005).

- **Partículas secundarias:** Se originan en la atmósfera a través de una conversión gaseosa a partículas que ocurren en las nubes, debido que al estar las partículas en la troposfera mantienen constante interacción con diversas sustancias antropogénicas y sufren transformaciones físicas y químicas, que se ven reflejadas en el tamaño, composición y estructura (Pöschl, 2005).

2.2.5.2. Por su composición

- **Composición física:** La composición física del material particulado está dado por partículas sólidas y líquidas que se mantienen en suspensión en la atmósfera y su tamaño oscila entre 0.005 a 100 μm de diámetro aerodinámico (Sborato et al., 2007).
- **Composición química:** Los resultados de diversos estudios arrojaron que los elementos más abundantes encontrados fueron C, O, Mg, Al, Si, K, Ca. Las partículas ricas en C son atribuidas principalmente a la quema de biomasa y combustión de motores vehiculares (Kończak et al., 2021). Además la presencia de elementos como Si, Al, Ti y Ca en las partículas atmosféricas proporcionan indicios sobre su origen, estos elementos conforman la composición del suelo, por lo tanto, proceden del polvo de carreteras y construcciones cercanas (Santillán et al., 2021). De igual modo, Rojano *et al.* (2014) refiere que en estudios realizados a partículas PM_{10} y PST encontraron elementos como el Zn, Cu y Co, los cuales son de origen antropogénico principalmente provenientes del

parque automotor. Asimismo, se encontró elementos como Cd, Ca, Cr, Mg, Mn y K que son de origen natural del suelo y aerosoles marinos.

2.2.5.3. Por su tamaño

La existencia de diversos tamaños de partículas en la atmósfera, está dado desde partículas microscópicas hasta partículas de polvo y arena a simple vista, tal como se denota en la **Figura 3** (K et al., 1998). Generalmente las partículas de origen antropogénico son más pequeñas, en comparación con las partículas de origen natural, dado que, las partículas antropogénicas están asociadas a proceso de combustión, y causan afecciones graves a la salud humana (K et al., 2000b).

- **Partículas ultra finas:** se forman a altas temperaturas en los motores de vehículos que funcionan a gasolina y diésel, y se forman por condensación entre un gas y una partícula atmosférica resultando una nueva partícula por adsorción y coagulación (Fang et al., 2006).

Por otro lado Pérez-Vidal *et al.* (2010) mencionan que las partículas ultra finas poseen un diámetro aerodinámico menor a 1 micra ($<PM_1$).

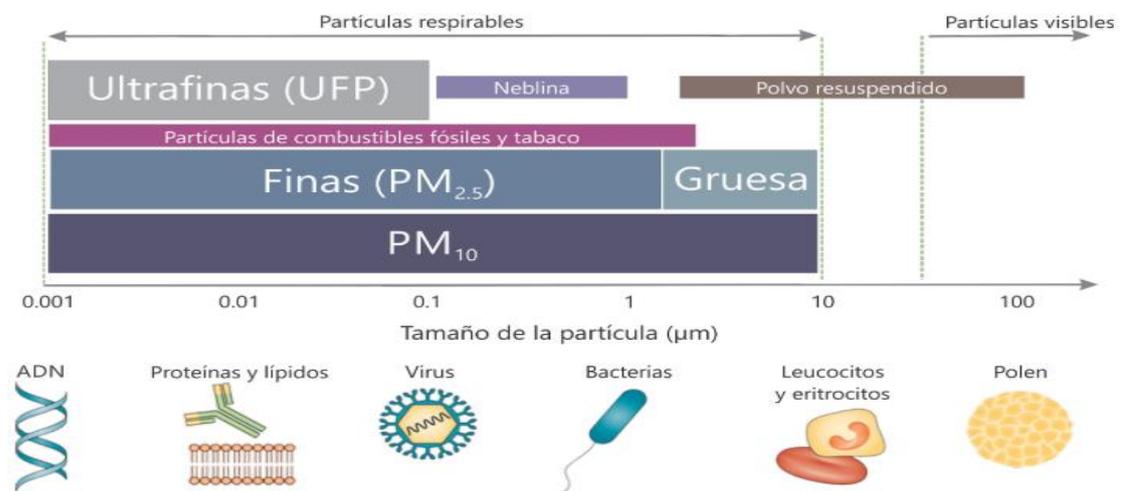
- **Partículas finas:** Según Pérez-Vidal *et al.* (2010) afirman que las partículas finas tienen un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras ($<PM_{2.5}$). De igual manera, estas se originan por reacciones químicas lentas en la atmósfera (Fang et al., 2006). Por otro lado, Vargas & Rojas (2010) mencionan que el aporte a las partículas finas como el $PM_{2.5}$ es menor, debido que estas se originan por reacciones químicas en la atmósfera.

- **Partículas gruesas:** Estas partículas tienen un rango de entre 10 a 100 μm de diámetro aerodinámico (Pérez-Vidal et al., 2010).

Las partículas gruesas, se forman a partir del desgaste del pavimento provocado por la fricción de los neumáticos y los frenos, el polvo de las vías de alto tránsito y las turbulencias provocados por el tráfico. Las partículas gruesas también provocan afecciones a la salud humana (Fang et al., 2006). Del mismo modo, Vargas & Rojas (2010) afirman que las partículas gruesas como el PM_{10} están compuestos por la fracción carbonáceas, que se originan por fuentes de combustión vehicular, mientras que la fracción mineral, está compuesta en su conjunto por el polvo fugitivo o resuspendido ocasionados por el tráfico vehicular o por acción del viento.

Figura 3.

Clasificación de partículas según su diámetro aerodinámico



Nota. Se describe las clases de partículas de acuerdo a su tamaño. Tomada de Cosselman *et al.* (2015) y Martínez (2017).

2.2.5.4. Por su morfología

Se tiene morfologías de tipo regular y esféricas de las partículas encontradas en el material particulado, la cual indican el origen producto de

la combustión incompleta y procesos térmicos de los motores (Santillán et al., 2021).

- **Morfología regular**

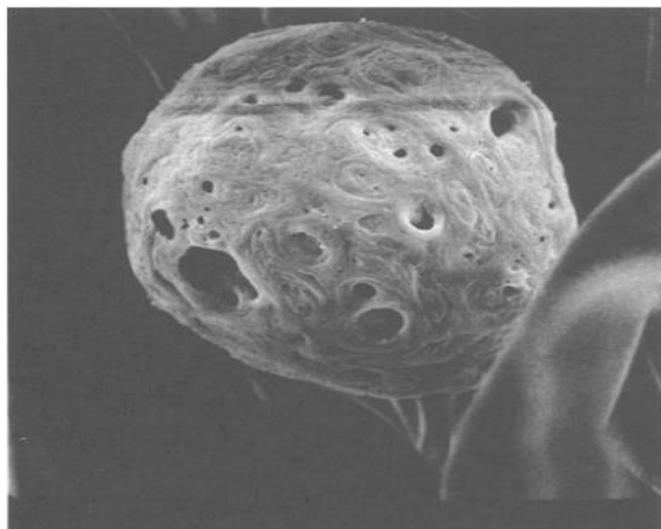
Son originados por fuentes naturales como el polvo en suspensión de las superficies de vías, polen (Radulescu et al., 2017).

- **Morfologías porosas**

Presentan formas esféricas y defectos en sus superficies (porosidad), estas se asocian a fuentes antropogénicas como emisiones de combustión de motores, actividades industriales y comerciales, del mismo modo, las partículas con presencia de porosidad en su superficie se atribuyen a la presencia de gases SO_x producidos a altas temperaturas en procesos de combustión como se muestra en la **Figura 4**. Además, la morfología esférica se asocia a la presencia del Fe producto de la combustión de vehículos automotores (Radulescu et al., 2017).

Figura 4.

Micrografía de una partícula de carbono



Nota: el gráfico representa una partícula con superficie porosa a consecuencia del proceso térmico de su origen. Tomado de Smith & Staskawicz (1977).

2.2.6. Dinámica de las partículas atmosféricas sedimentables

2.2.6.1. Temperatura

Appleton *et al.* (2020) mencionan que las temperaturas elevadas influyen en la velocidad de reacción de las partículas en la atmósfera induciendo a la producción de mayor cantidad de oxidantes fotoquímicos. Asimismo, la temperatura influye en el movimiento vertical de los contaminantes en el cual crean una dinámica de movimiento entre los niveles inferior y superior de la troposfera dispersando la contaminación del aire.

2.2.6.2. Precipitación

La precipitación realiza la función de lavar la atmósfera; por lo que, las gotas de lluvias recolectan las partículas que se mantienen en suspensión en la atmósfera precipitándolas hacia la superficie terrestre mediante la deposición húmeda, por esta razón, se dice que cuando ocurre este fenómeno meteorológico las concentraciones de partículas atmosféricas disminuyen (Martínez, 2017).

2.2.6.3. Dirección y velocidad del viento

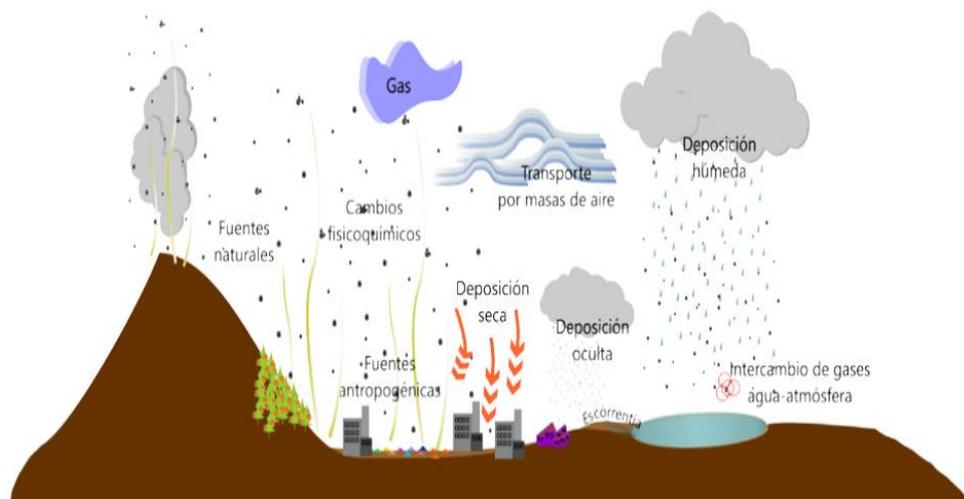
La dirección y velocidad del viento cumple una función importante en la atmósfera urbana al transportar las partículas liberadas de una zona contaminada a otra no contaminada, además influye en el tiempo de suspensión de la partícula en el aire (Martínez, 2017). Por otra parte, Inche (2004) indican que la concentración de contaminantes y la velocidad de viento tienen una relación inversamente proporcional “mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes” (p.60).

2.2.7. Mecanismos de deposición de partículas atmosféricas sedimentables

Muchas veces estas partículas formadas son contenidas por gotitas de las nubes, pero cuando estas forman precipitación las partículas son barridas de la atmósfera hasta llegar a las superficie de la Tierra, a este proceso se le conoce como “deposición húmeda”; mientras que, la deposición sin precipitación o denominada “deposición seca” que se realiza por sedimentación y transporte convectivo a la superficie de la Tierra, estos mecanismos son importante en la determinación de la calidad de aire local, daños en las infraestructuras y los efectos a la salud (Pöschl, 2005). Por otro lado, K *et al.* (1998) manifiestan que la eliminación de partículas de la atmósfera se da por impactación con una superficie a consecuencia de los siguientes procesos: sedimentación, difusión, turbulencia, lavado, deposición oculta. La remoción de partículas producto de la precipitación se denomina deposición húmeda que comprende también a la deposición oculta, mientras que la deposición seca se realiza mediante los tres primeros procesos mencionados como se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5.

Proceso de emisión, transporte y deposición atmosférica



Nota: se observa el ciclo de las partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente. Tomado de EPA (2000) y Martínez (2017).

2.2.8. Efectos de las partículas atmosféricas en la salud y la vegetación

2.2.8.1. Efecto en la salud

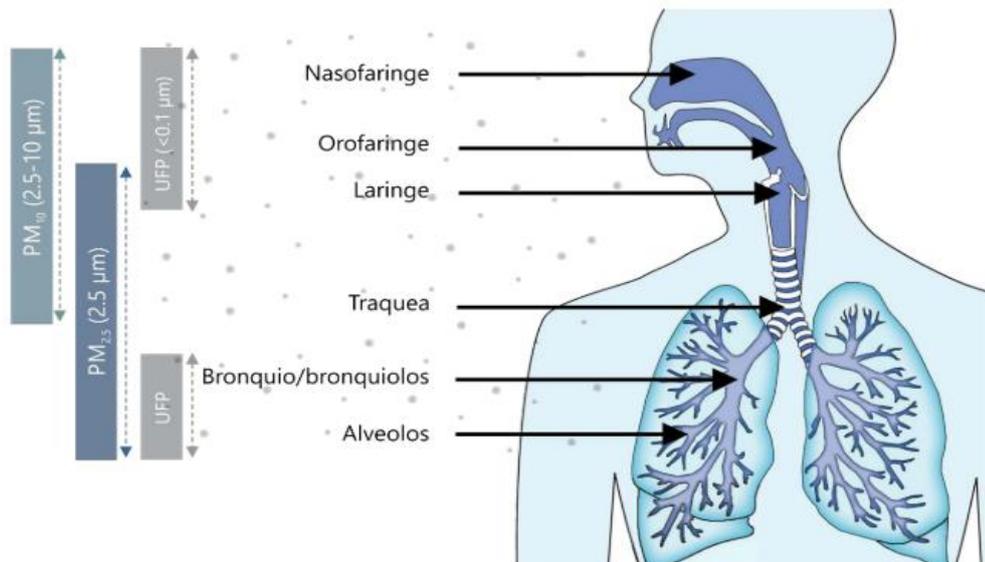
En la actualidad las zonas urbanas vienen siendo afectadas gravemente por la contaminación del aire, especialmente por las partículas, que representan alto riesgo para la salud humana que cualquier otro contaminante del aire (K et al., 2000b). Por lo que, la quema de biomasa provoca partículas muy finas ($<0.1 \mu\text{m}$), debido a su diminuto tamaño estas penetran la barrera mucociliar, llegando hasta los bronquiolos y alvéolos e ingresar al torrente sanguíneo (Oyarzún, 2010). Mientras que las partículas de tamaño pequeño de un diámetro de 2.5 a $10 \mu\text{m}$ representan un riesgo mayor al ser humano; es decir, tienen un alto grado de penetración y pueden depositarse en los bronquios, bronquiolos y tráquea como se aprecia en la **Figura 6**. Por esta razón, las partículas en suspensión representan un grave riesgo para la salud de la población, las partículas grandes tienen un diámetro entre 10 y $100 \mu\text{m}$, estas partículas son eliminadas del cuerpo al toser, su presencia produce irritación de la nariz, laringe y ojos (Kończak et al., 2021).

Por otra parte, la población más susceptible a los contaminantes del aire son los infantes, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes, puesto que la exposición a estos contaminantes aumenta la tasa de morbilidad, mortalidad e incrementa la cantidad de hospitalización por afecciones respiratorias y cardíacas. En cuanto a los niños las actividades propias de los infantes los conllevan a estar periodos prolongados al aire libre y por consiguiente estar expuestos al material particulado respirable; además, en la etapa infantil, el pulmón no

ha desarrollado por completo los mecanismos defensivos, y por ende los niños tienen mayor dificultad en la eliminación de partículas de las vías respiratorias. Mientras que en los adultos mayores las altas concentraciones y el prolongado tiempo de exposición a las partículas, además de la prevalencia de enfermedades respiratorias preexistentes los hace vulnerables a este contaminante agravando así, su salud (Oyarzún, 2010; Matus & Oyarzún, 2019).

Figura 6.

Deposición de las partículas en el aparato respiratorio según el tamaño



Nota: Se aprecia el grado de penetración en el sistema respiratorio según el tamaño de partícula Tomado de Guarnieri & Balmes (2014) y Martínez (2017).

2.2.8.2. Efectos en la vegetación

Las plantas al igual que las personas, también sufren afecciones ocasionadas por el PM, existen dos tipos: agudas y crónicas. En las primeras se da como resultado de una exposición relativamente corta a altas concentraciones de gas, y los síntomas se manifiestan en el follaje (lesiones necróticas) a simple vista. Mientras que, en las lesiones crónicas se da como resultado de una exposición prolongada a concentraciones bajas de gas, y sus síntomas no son visibles, las cuales se manifiestan con reducción en el

crecimiento. Además, las plantas presentes en las urbes al estar expuestas a periodos prolongados de contaminación, estas se han adaptado y en muchos casos acumulan e integran las sustancias tóxicas en sus sistemas (Rai, 2016). Por lo que, el grado de toxicidad que poseen las partículas al momento de sedimentarse en la superficie de las hojas provocan daños en la fisiología y funcionamiento, como obstrucción de los estomas, disminuyendo el intercambio gaseoso y saturación de partículas en la superficie de las hojas, evitando el desarrollo de funciones como la fotosíntesis, brotación, polinización y absorción de la luz (K et al., 1998).

Por otro lado, Kończak *et al.* (2021) señalan que la cera de la cutícula de la hoja se ve afectada por la deposición de material particulado que al saturar toda la superficie de la hoja produce cambios en la humectabilidad lo que impide la transpiración, como también se ve afectado en el intercambio de gases y la fotosíntesis.

2.2.9. Retención de partículas atmosféricas por la vegetación urbana

Los árboles realizan funciones ecosistémicas como la captura de contaminantes trasladados por el aire. No obstante, se dice que el árbol brinda un servicio ecosistémico cuando estas funciones ayudan a mejorar la calidad de aire en beneficio de la salud (Escobedo et al., 2011). Del mismo modo, los árboles en ambientes urbanos cumplen el papel de filtros biológicos, pues eliminan gran cantidad de partículas contaminantes, de modo que, mejoran la calidad del aire y la salud humana (Dalmaso et al., 1997; K et al., 2000b; Nowak et al., 2013; Grote et al., 2016).

Kończak *et al.* (2021) mencionan, los árboles tienen un mayor poder de acumulación de contaminantes atmosférico que el césped, ya que la deposición seca

de los árboles urbanos es de 70% en comparación del césped con solo 25% de deposición total. Esto debido a la gran extensión de superficie foliar y la exposición que tienen hacia la atmósfera, la vegetación actúa como sumidero natural de contaminantes gaseosos y particulados (Rai, 2016).

Por esta razón, las tasas de concentración de contaminantes del aire se ven controladas por los siguientes rasgos funcionales del arbolado como: organización de la vegetación, estructura del dosel y características morfo-anatómicas del follaje (Grote et al., 2016). Las características morfo-anatómicas de las hojas son importantes al momento de retener PM, es decir, las hojas con presencia de tricomas, cera epicuticular y crestas superficiales capturan mayor cantidad de PM, mientras que las hojas con superficies lisas capturan menos PM, puesto que la presencia de tricomas es una de las características más importantes al momento de capturar el PM. De la misma forma, las hojas pequeñas y de forma lobular resultan tener mayor capacidad de captura y retención de partículas, debido a que crean mayor turbulencia del aire por la forma que poseen (Weerakkody et al., 2018).

Otro de los factores que influyen en la captura de partículas es la forma anatómica del dosel del árbol, mientras más compleja sea la estructura del dosel, mayor será la oportunidad de interceptar partículas, puesto que el aire que fluye por la estructura del dosel creará flujos turbulentos (K et al., 2000b). De ahí, diversas investigaciones dan muestra de que el material particulado ($>10 \mu\text{m}$) son capturados próximas a los tricomas de la superficie de las hojas, mientras que el material particulado ($<10 \mu\text{m}$) es retenido en la cutícula y en toda la superficie de las hojas (Kończak et al., 2021).

Por lo tanto, el arbolado mitiga los impactos producidos por las actividades económicas de las ciudades al depurar los contaminantes, moderar el clima,

disminuir las emisiones de los coches, reducir los niveles de ruido, crear hábitats para la vida silvestre y contribuir a la vista paisajísticas de las ciudades (Vilela, 2004).

2.2.10. *Ficus benjamina*

La especie *Ficus benjamina* ha demostrado ser un buen biomonitor por su capacidad de retener partículas liberadas a la atmósfera, a su vez de ser una especie abundante en zonas urbanas (Reyes et al., 2012). Además, Castañeda-Miranda *et al.* (2020) señalan que las hojas de *Ficus benjamina* resultaron tener una microestructura y morfología ideal para la retención de partículas, la cual las hace un buen recolector temporal de partículas durante época de estiaje y vientos débiles (Castañeda-Miranda et al., 2020).

La especie *Ficus benjamina* es originario del continente asiático y parte de Oceanía, donde existe una rica taxonomía de este género, con más de 500 especies (Berg, 1989). A su vez la especie *Ficus benjamina* se aclimata muy bien a diversas altitudes que varía entre los 0 y 2 000 m.s.n.m (Morales & Varón, 2013); y se desarrollan en diversos climas con temperatura que van desde los 32 °C hasta muy bajas de 4 °C (Mortensen & Larsen, 1989). De ahí que, se considera el árbol más empleado en el ornato urbano e interiores en todo el mundo (Conover & Poole, 1986). Además de ser una especie perennifolio, entre las características de su dorsel, se sabe que puede llegar a medir 8 m de altura y 10 m de ancho, y tiene ramas delgadas (Imran et al., 2014). Mientras que, las hojas poseen una forma ovalada, su tamaño varía entre 4 a 8 cm de largo y 2 a 4 cm de ancho, y su peciolo mide 2 cm de largo (Lorenzo-Cáceres, 2003).

El “ficus”, pertenece al Dominio Eukaryota, Reino Plantae, Filo Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Urticales, Familia Moraceae, Género *Ficus* y a la Especie *benjamina* (Lorenzo-Cáceres, 2003).

2.2.11. Normativa internacional y nacional de referencia de las partículas atmosféricas sedimentables

En la actualidad en el Perú, no se cuenta con ninguna norma o ley respecto a los límites máximos permisibles para partículas atmosféricas sedimentables. Lo que realizan las entidades como DIGESA y SENAMHI es estudios donde utilizan como guía de referencia las normas propuestas por la OMS (**Tabla 1** y **Tabla 2**).

Tabla 1.

Normas internacionales sobre calidad del aire

Institución	Tiempo promedio (días)	Contaminante	Límite máximo (mg/cm ² /30 días)
EPA*	30	PAS***	1.0
OMS**	30	PAS***	0.5

Nota: *Environmental Protection Agency, **Organización Mundial de la Salud, *** Partículas Atmosféricas Sedimentables. Tomado de la guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (OMS, 2005).

Tabla 2.

Normas nacionales sobre calidad del aire

Institución	Tiempo promedio (días)	Técnica	Límite máximo (mg/cm ² /30 días)
DIRESA*	30	Método Gravimétrico (jarras)	0.5
SENAMHI**	30	Método Gravimétrico (Jarras y placas de vidrio)	0.5

Nota: *Dirección General de Salud Ambiental, ** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Tomado de la investigación realizado por (Marcos et al., 2008).

2.3. Definición de términos básicos

- **Partículas:** Son contaminantes en estado sólido y líquido generados por las actividades económicas desarrolladas por las personas, pero también se

producen de manera natural, como en el caso del polen, erupciones volcánicas, etc. Las partículas de un diámetro más pequeño son las más perjudiciales para la salud, por su alto grado de penetración y resistencia en el sistema respiratorio (Marcos et al., 2008).

- **Bioindicador:** El bioindicador se define como el empleo de especies o órganos de los mismos, para evaluar y cuantificar los contaminantes o concentración de sustancias con la finalidad de determinar la calidad del aire de un lugar determinado (Anze et al., 2007).
- **Biomonitoreo pasivo:** Se denomina biomonitoreo pasivo, cuando las especies utilizadas están presentes en el área a evaluar (Anze et al., 2007).
- **Tasa de flujo vehicular:** “Correspondiendo a la frecuencia de circulación de una cantidad de vehículos en un punto determinado en una hora” (Ashhad et al., 2020, p.9).
- **Método pasivo:** Se caracteriza por no usar aparato alguno para la succión de aire y coleccionar un contaminante por medio de adsorción y absorción. Realizándose por un determinado tiempo de muestreo, que puede ser desde horas, semanas, meses e incluso años, para luego llevar la muestra al laboratorio para ser analizada cuantitativamente (Huallaro et al., 2008).
- **Método gravimétrico:** “Método analítico cuantitativo en el cual la determinación de las sustancias, se lleva a cabo por una diferencia de pesos” (Marcos et al., 2008 p.51).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados varía en relación al tiempo, zonas de muestreo y flujo vehicular.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo.
- La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación a la zona de muestreo.
- La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al flujo vehicular.

2.5. Identificación de Variables

Después de una exhaustiva revisión bibliográfica se identificaron las variables:

- **Variable independiente:**

Efecto de la actividad del hombre.

- **Variable dependiente:**

Calidad del aire.

- **Variables intervinientes:**

Condiciones meteorológicas.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Se indica en el **Tabla 3**.

Tabla 3.

Definición operacional de variables e indicadores

Variables	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Efecto de la actividad del hombre	Variable independiente	“Las actividades humanas son fuente de presiones sobre el medio ambiente” (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2008)	Flujo vehicular	Número de vehículos por hora	Contómetro Digital
Calidad del aire	Variable dependiente	“La calidad del aire trata de la composición del aire y de la idoneidad de éste para determinadas aplicaciones” (Ministerio del Ambiente, 2022)	Concentración de partículas atmosféricas sedimentables	Peso de partículas atmosféricas sedimentables	Balanza analítica
			Metales pesados	Concentración del Cadmio	Espectrofotómetro de absorción atómica
				Concentración del Manganeso	
				Concentración del Plomo	
Concentración del Hierro					
Condiciones meteorológicas	Variable interviniente	Datos climáticos registrados periódicamente en un tiempo y lugar determinado (National geographic, 2011)	Parámetros meteorológicos	Temperatura	Termómetro
				Precipitación	Pluviómetro
				Velocidad del viento	Anemómetro
				Dirección del viento	Veleta

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según Hernández *et al.* (2014) por su finalidad la presente investigación es de tipo **básica**, debido a que busca producir nuevos conocimientos.

3.2. Nivel de investigación

De acuerdo a Hernández *et al.* (2014), es de nivel descriptivo, debido a que sólo están enfocados a medir y recolecta información del fenómeno objeto de análisis.

3.3. Métodos de investigación

En la ejecución de la presente tesis se empleó el método de investigación analítico-sintético porque el fenómeno fue descompuesto para estudiar el comportamiento de cada sitio de monitoreo, para luego ser analizados y descubrir relaciones (Rodríguez & Pérez, 2017). Además de ser comparativa, dado que nos

permitió contrastar las variables en estudio que constituyen las causas originales y poder comparar con otras realidades (Calduch, 2012). Y deductivo, debido a que permitió realizar conclusiones particulares en base a los resultados generales obtenidos (Rodríguez & Pérez, 2017).

3.4. Diseño de la investigación

En la investigación se utilizó los diseños de tipo **no experimental longitudinal**, debido a que la evaluación se realizó en diversos momentos o periodos (Hernández et al., 2014).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Para determinar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados se utilizó el material foliar (hojas) de árboles de la especie vegetal *Ficus benjamina* como biomonitor, para ello la población fue dicha especie, que se encuentran muy próximas a las vías de tránsito vehicular, ubicados en la zona urbana del distrito de Chanchamayo, Región Junín.

3.5.2. Muestra

Estuvo representada por 10 ejemplares de la especie vegetal *Ficus benjamina*, presentes en las vías de tránsito vehicular que se detallan en la **Tabla 4**, en el cual se recolectaron muestras foliares para ser analizadas en el laboratorio. Cabe resaltar que la elección de la muestra (n) de árboles de la especie *Ficus benjamina*, se realizó mediante el tipo de muestra **no probabilística a criterio del investigador** (Hernández et al., 2014).

Tabla 4.

Sitios de biomonitoreo

Vías de tránsito vehicular	Coordenadas	
	Este	Norte
Av. Castilla	0463607	8776075
Av. Los Pioneros	0462937	8776866
Av. Circunvalación	0463567	8777703
Av. José de Aguirrezabal	0463942	8777546
Prolongación Tarma	0464443	8778000

Fuente: elaboración propia.

La localización de los sitios de monitoreo (**Tabla 4**) proceden de la zona urbana del distrito de Chanchamayo, como se indica en la **Figura 7**.

Figura 7.

Localización de estaciones de biomonitoreo



Nota: se muestra la zona urbana del distrito de Chanchamayo, avenidas de mayor tránsito y estaciones de biomonitoreo.
 Fuente: elaboración propia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Para determinar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito del distrito de Chanchamayo; se utilizó método descrito en el trabajo de campo, y la técnica a la cual se recurrió fue de observación mediante el instrumento mecánico balanza analítica; y para la determinación de la concentración de metales pesados; la muestra se envió al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis; y la técnica utilizada fue la observación mediante el espectrofotómetro de absorción atómica, el cual permitió cuantificar los metales pesados. Por último, para obtener los datos meteorológicos, se recurrió a los datos recolectados de la estación meteorológica del Aeródromo Capitán FAP Leonardo Alvarino Herr – Estación Meteorológica Aeronáutica “San Ramón” (BASRA, 2023), para lo cual, se empleó la técnica de documentación, y su instrumento fue la recolección de datos secundarios (Supo, 2017).

3.6.2. Instrumentos mecánicos de investigación

- **Estufa de laboratorio:** En la investigación se utilizó la estufa de marca Thermo scientific con termómetro articulado, número de serie 41900875, temperatura máxima 330 °C. Se empleó este instrumento para el secado de muestras.
- **Balanza analítica:** Se usó la balanza analítica para determinar la concentración de PAS, el cual era de la marca OHAUS, número de serie PA224, sensibilidad de 0.0001 g y capacidad máxima 220 g.

- **Equipo GPS:** Para ubicar las coordenadas de las estaciones de biomonitoreo se usó el GPS de la marca GARMIN, número de serie 058753S y precisión de 5 a 10 m.
- **Cámara fotográfica:** Se empleó la cámara fotográfica de marca NIKON, con resolución 24 Mpx (1080 p) con pantalla articulada y número de serie 4763589P.
- **Espectrofotómetro de absorción atómica:** En la determinación de metales pesados se utilizó el espectrofotómetro de marca PERSEE, modelo A3, rango de longitud de onda 185 nm – 910 nm, fuente de luz de cátodo hueco (HCL) y lámpara de arco de deuterio (D2), precisión de longitud de onda ± 0.15 nm y sensibilidad < 0.012 .

3.6.3. Instrumentos auxiliares de recolección de datos

- Ficha de observación para determinar el flujo vehicular.
- Ficha de registro de información.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

En este caso no se utilizó instrumentos documentales; por lo que no fue necesario la elaboración de cuestionario ni menos el concurso de expertos. Los instrumentos de investigación fueron de tipo mecánico, que, de acuerdo a los metodólogos, la validez y confiabilidad ya viene dada por la entidad donde fue fabricada y en base a normas convencionales (Supo, 2017).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Con todos los datos obtenidos en laboratorio y campo, correspondiente a la concentración de partículas atmosféricas sedimentables, metales pesados, parámetros meteorológicos y flujo vehicular, éstos fueron ordenados y tabulados,

para su posterior análisis e interpretación de resultados. Se efectuó análisis descriptivo, obteniéndose promedios, histogramas, gráficos barras y líneas. Para la estadística inferencial se realizó mediante el estadístico prueba de ANOVA, previa evaluación de distribución normal con la prueba de normalidad. Como nuestros datos, poseían una distribución normal, se procedió a realizar el test de comparaciones múltiples (análisis post hoc) se usó el test de Duncan, donde se determinaron diferencias específicas. Los cálculos fueron realizados con un nivel de confianza de 95% (Dagnino, 2014).

3.9. Tratamiento Estadístico

Se tabularon los datos obtenidos en el programa Microsoft Excel y para el desarrollo del análisis estadístico se usó el programa SPSS versión 28.0 (IBM Corp, 2021).

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Se cumplió con la guía de citación y referenciación de la Norma APA séptima edición (Universidad Central, 2020), también cumpliendo con el Código de ética para la investigación (UNDAC, 2019), y el reglamento general de grados y títulos profesionales de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC, 2021).

Estuvo sustentada por una investigación en base al paradigma cuantitativo, apoyado en el empleo de métodos y técnicas como la observación científica, la revisión y crítica bibliográfica (Guamán et al., 2020).

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La recolección de datos (biomonitoreos) se realizó en tres periodos, que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Periodos de biomonitoreos

N° de Biomonitoreos	Periodos
Periodo I	del 15/01/2023 al 13/02/2023
Periodo II	del 14/02/2023 al 15/03/2023
Periodo III	del 16/03/2023 al 14/04/2023

Fuente: elaboración propia

a. Fase de campo

Pre tratamiento de la muestra a recolectar

El pretratamiento de la superficie de las hojas de *Ficus benjamina* se realizó en base a la metodología empleada por Torres (2016), donde se realizaron las siguientes actividades:

- Selección de ramas de cada árbol de *Ficus benjamina* utilizados para el biomonitoreo; asimismo, la rama seleccionada debió de estar orientada al frente y cercana a las vías de tránsito vehicular.
- Se realizó la limpieza de cada hoja contenidas en las ramas seleccionadas, con un atomizador y agua destilada.
- Por último, se identificó la rama seleccionada para el biomonitoreo con una cinta de color distintivo tomando los apuntes de la fecha del pretratamiento.

Recolección de la muestra

- Pasado los 30 días de pretratamiento se recolectó hojas de las ramas seleccionadas.
- Se recolectarán 40 g de material foliar de acuerdo a los lineamientos de Luzuriaga (2019), las hojas recolectadas fueron a una altura entre 1.5 m a 2 m del suelo y depositadas en una bolsa ziploc (herméticas) previamente rotulada con la zona de muestreo, donde se depositó el material foliar cuidadosamente sin perder el polvo acumulado sobre la superficie de las hojas, el cual fue transportados dentro de un cooler de laboratorio, y finalmente ser trasladado al laboratorio donde fueron analizadas.

Determinación de la tasa de flujo vehicular

- Para determinar la tasa de flujo vehicular; los puntos de monitoreo serán los mismos lugares de recolección de material foliar, para ello se utilizará la metodología propuesta por Navarro (2008), que consistió en realizar una

evaluación durante 30' con intervalos de 5', para finalmente calcular la tasa de flujo vehicular mediante la siguiente formula:

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde:

N = número de vehículos (veh).

T= intervalo de tiempo específico (h).

q= tasa de flujo vehicular (veh/h).

El resultado del conteo de vehículos se indica en el **Anexo II** según el horario y puntos de monitoreos correspondiente.

b. Fase de laboratorio

En esta fase se siguió la metodología utilizada por Aponte (2017):

Pre tratamiento del material volumétrico:

- Después de la limpieza de los vasos precipitados (600 ml) a utilizar se lavó folios.
- Antes de la manipulación del material volumétrico, el analista se colocó guantes, guardapolvo y mascarilla con la finalidad de no alterar los resultados.
- Con una escobilla de laboratorio y abundantes aguas destilada se lavó el material volumétrico.
- Luego del lavado el material volumétrico será llevado la estufa durante 20 minutos a una temperatura de 70 °C para su secado.
- Pasado los 20 minutos se retiró de la estufa y se tapó, posteriormente se esperó que tomen temperatura ambiente, para luego enumerarlo y/o identificar cada vaso precipitado con el sitio de muestreo.

- Mientras los vasos precipitados tomen temperatura ambiente se calibró la balanza analítica a usar.
- Pesarse el vaso precipitado, haciendo tres repeticiones para determinar el peso inicial del vaso, de la siguiente manera:

$$P_{inicial} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

Donde:

P_1 = primer peso del vaso precipitado.

P_2 = segundo peso del vaso precipitado.

P_3 = tercer peso del vaso precipitado.

3 = Número pesadas del vaso precipitado.

P = Peso inicial que se asumió para el vaso precipitado.

Nota: este procedimiento se repitió para cada monitoreo realizado.

El promedio del peso inicial de cada vaso precipitado fue anotado en la ficha de registro de información, **Anexo II**.

Lavado de la superficie foliar de las hojas de *Ficus benjamina*

- Se retiraron las bolsas ziploc que contenían el material foliar del cooler de laboratorio, a continuación, se dispuso el material foliar dentro de los vasos precipitados previamente rotulados con el sitio de monitoreo.
- Con el uso de una piseta de laboratorio se vertió 300 ml de agua destilada dentro del vaso precipitado, y con la ayuda de un pincel de cerdas finas o con los dedos se frotó suavemente las superficies de las hojas con el objetivo de retirar las partículas atmosféricas retenidas en la superficie foliar de las hojas. Y finalmente, se lavaron las bolsas ziploc, vertiendo el contenido en el vaso precipitado.

- Los folios lavados se dispusieron sobre una bandeja para el secado y posterior medición del área foliar.
- Después del lavado del material foliar correspondiente a cada sitio de muestreo, los vasos precipitados fueron llevados a la estufa de laboratorio durante 24 h a 80 °C, con el objetivo de evaporar el agua destilada y obtener la concentración de partículas de la zona de muestreo correspondiente.
- Transcurrido las 24 h se retiró los vasos precipitados, se cubrieron los vasos con papel para evitar su contaminación, durante el pesado correspondiente.
- Se calibró la balanza analítica, antes de iniciar con el proceso de pesado de los vasos precipitados que contenían la concentración de partículas atmosféricas.
- Se realizó el pesado de los vasos precipitados, siguiendo la misma metodología empleada para el pretratamiento del material volumétrico que consistió:

$$P_{final} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

Donde:

P_1 = primer peso del vaso precipitado con partículas atmosféricas.

P_2 = segundo peso del vaso precipitado con partículas atmosféricas.

P_3 = tercer peso del vaso precipitado con partículas atmosféricas.

3 = número pesadas del vaso precipitado.

P = peso final que se asumió para el vaso precipitado con partículas atmosféricas.

- El promedio del peso final de cada vaso precipitado fue anotado en la ficha de registro de información, **Anexo II**.

c. Fase de gabinete

Determinación del área foliar

- Una vez lavados los folios de cada sitio de muestreo, estos se dispusieron en una bandeja de laboratorio, y con la ayuda de papel toalla se secaron.
- Se colocó las hojas de cada sitio de monitoreo sobre el escáner de una impresora con una separación de 1 cm aproximadamente y en la parte inferior se colocó una regla de 20 cm, la cual sirvió de escala. Seguidamente se escanearon los folios en una impresora para su posterior tratamiento en el software ImageJ. Se repetirá este procedimiento hasta cubrir todas las hojas por cada sitio de monitoreo.
- Se guardó lo escaneado con la fecha y zona de muestreo.
- Se creó una carpeta en el computador exclusivamente para los resultados del área foliar.
- La impresora utilizada en el escaneo del material foliar tenía una buena resolución para ser subidas al software para su análisis.
- El software calculó el área foliar de cada zona de estudio, estos resultados se anotaron en la ficha de registro de información, **Anexo II**.

Determinación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables

Con los resultados obtenido de los procedimientos anteriores, se calculó la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en base a los lineamientos de Luzuriaga (2019), a partir de la siguiente fórmula:

$$W_{PAS} = (P_{final} - P_{inicial})$$

Donde:

$P_{inicial}$ = peso inicial del vaso precipitado (sin PAS).

P_{final} = peso final del vaso precipitado (con PAS).

W_{PAS} = peso de las partículas atmosféricas sedimentables.

Para luego,

$$C = \frac{W_{PAS}}{\text{Área foliar} \times \text{número de días de exposición}}$$

W_{PAS} = peso de las partículas atmosféricas sedimentables.

Número de días de exposición: 30 días (1 mes).

Área foliar = área de la superficie foliar de las hojas de cada zona de estudio.

C = concentración de partículas atmosféricas sedimentables ($\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días).

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación al tiempo

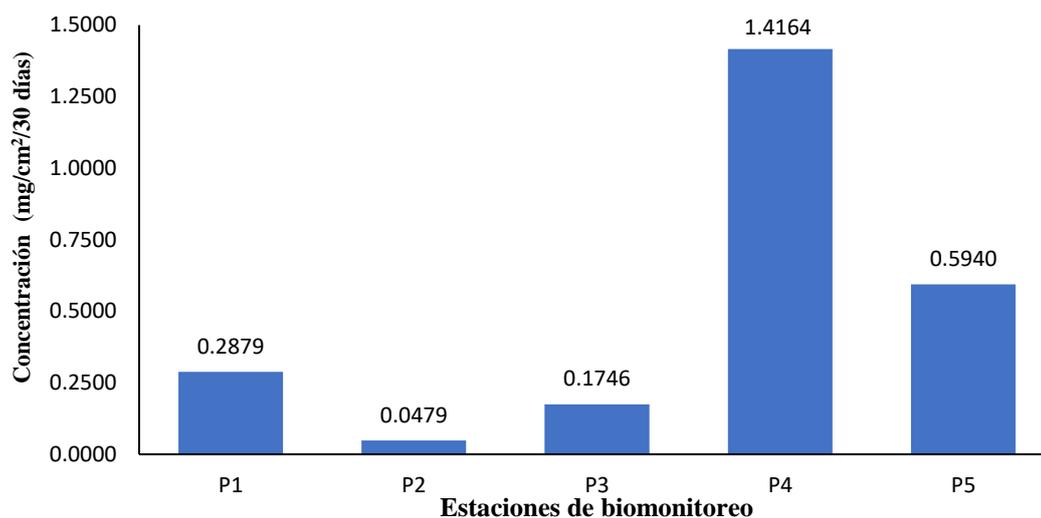
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados de las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo.

4.2.1.1. Concentraciones de PAS del periodo I

En la **Tabla 6** y **Figura 8** se observa que en el periodo I se registró una mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables en la estación de monitoreo “P4” con un valor de **1.4164 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días** y la menor concentración en la estación “P2” con un valor de **0.0479 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días**.

Tabla 6.*Concentración de PAS del periodo I*

Estación	Wpas (mg)	Área (cm ²)	Concentración (mg/cm ² /30 días)
P1	308.50	1 071.737	0.2879
P2	56.30	1 175.769	0.0479
P3	189.40	1 084.554	0.1746
P4	1 305.40	921.623	1.4164
P5	535.30	901.236	0.5940

Nota: Muestreo el 15/01/2023 al 13/02/2023.**Figura 8.***Concentración de PAS – periodo I**Nota:* muestreo del 15/01/2023 al 13/02/2023. Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos.

4.2.1.2. Concentración de metales pesados del periodo I

En la **Tabla 7** y **Figura 9** se observa que en el periodo I se registró una mayor concentración de Hierro (**Fe**) en todas las estaciones de monitoreo; particularmente en la estación “**P2**” con un valor de **238.4 ppm** y una menor concentración en la estación “**P4**” con un valor de **117.22 ppm**. Por otro lado, las concentraciones de los elementos Manganeso (**Mn**) y Cadmio (**Cd**) tuvieron los mismos valores en las estaciones “**P1**”, “**P3**” y

“P5” siendo **4.64 ppm**, **0.58 ppm** y **1.93 ppm** respectivamente; mientras que en las estaciones “P2” y “P4” se tuvieron valores **<0.03 ppm** y **<0.012 ppm** respectivamente. De la misma forma, para el elemento Plomo (Pb) se tuvo valores de **<0.3 ppm** en todas las estaciones de monitoreo.

Tabla 7.

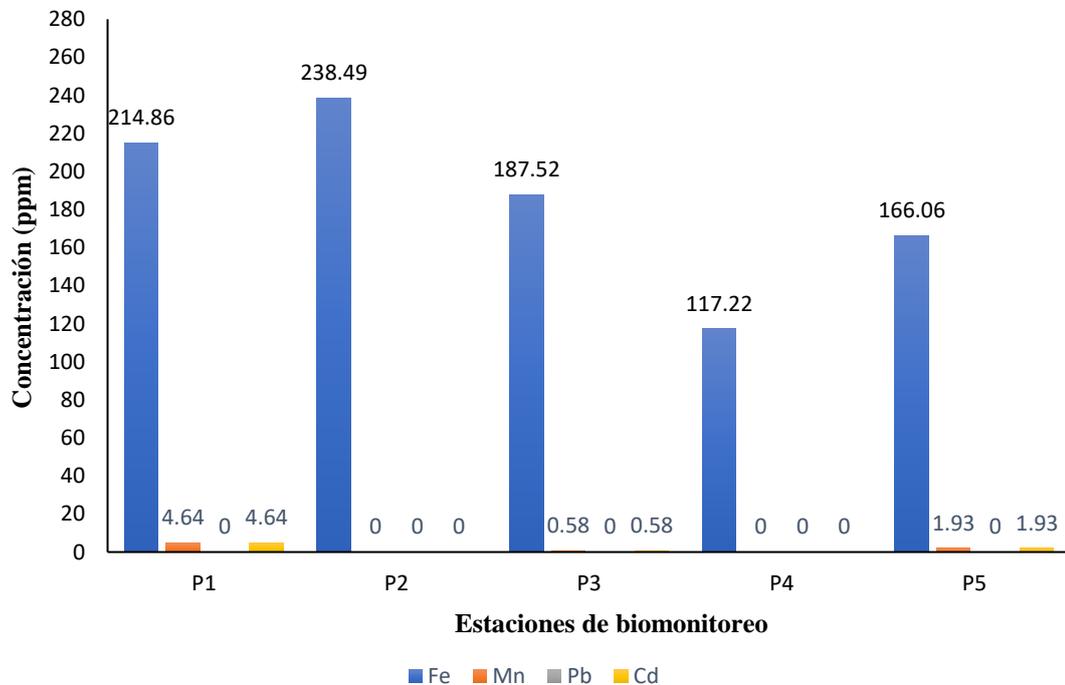
Concentración de metales pesados del periodo I

Estación	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
P1	214.86	4.64	<0.3	4.64
P2	238.49	<0.03	<0.3	<0.012
P3	187.52	0.58	<0.3	0.58
P4	117.22	<0.03	<0.3	<0.012
P5	166.06	1.93	<0.3	1.93

Nota: muestreo del 15/01/2023 al 13/02/2023. Fuente: elaboración propia.

Figura 9.

Concentración de metales pesados – periodo I



Nota: muestreo del 15/01/2023 al 13/02/2023. Fuente: elaboración propia.

4.2.1.3. Concentración de PAS del periodo II

En la **Tabla 8** y **Figura 10** se observa que en el periodo II se registró una mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables en la estación de monitoreo “P4” con un valor de **1.1713 mg/cm²/30 días** y la menor concentración en la estación de monitoreo “P2” con un valor de **0.1316 mg/cm²/30 días**.

Tabla 8.

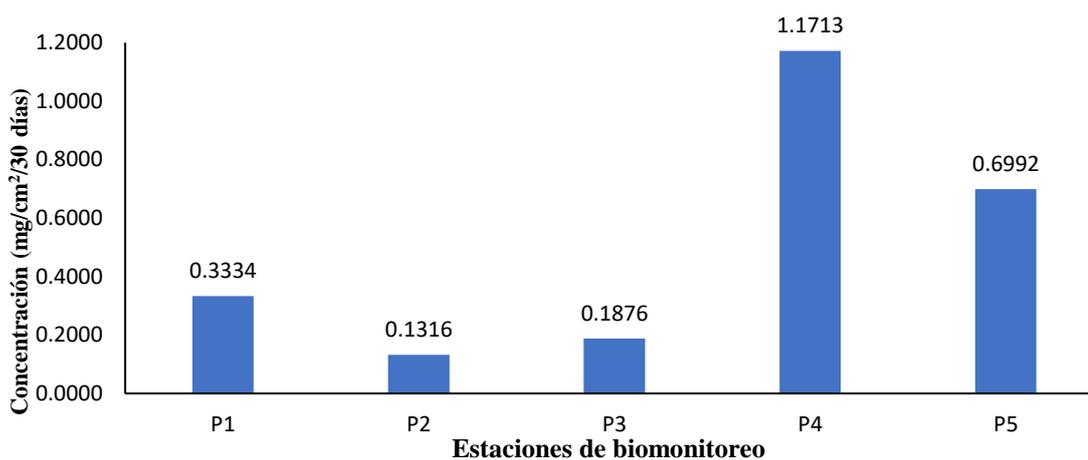
Concentración de PAS del periodo II

Estación	Wpas (mg)	Área (cm ²)	Concentración (mg/cm ² /30 días)
P1	341.90	1 025.3930	0.3334
P2	110.70	840.8730	0.1316
P3	172.00	917.0750	0.1876
P4	1 127.20	962.3130	1.1713
P5	649.50	928.9020	0.6992

Nota: muestreo del 14/02/2023 al 15/03/2023. Fuente: elaboración propia.

Figura 10.

Concentración de PAS – periodo II



Nota: muestreo del 14/02/2023 al 15/03/2023. Fuente: elaboración propia.

4.2.1.4. Concentración de metales pesados del periodo II

En la **Tabla 9** y **Figura 11** se observa que en el periodo II se registró una mayor concentración de Hierro (Fe) en todas las estaciones de

monitoreo; siendo la más alta en la estación “P4” con un valor de **276.33 ppm** y una menor en la estación “P3” con un valor de **134.31 ppm**. Por otro lado, las concentraciones de Manganeso (Mn) se tuvo una máxima concentración en la estación “P5” con un valor de **48.64 ppm** y una menor en la estación “P4” con un valor de **14.12 ppm**. Mientras que, las concentraciones de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) tuvieron los mismos valores en todas las estaciones **<0.03 ppm** y **<0.012 ppm** respectivamente.

Tabla 9.

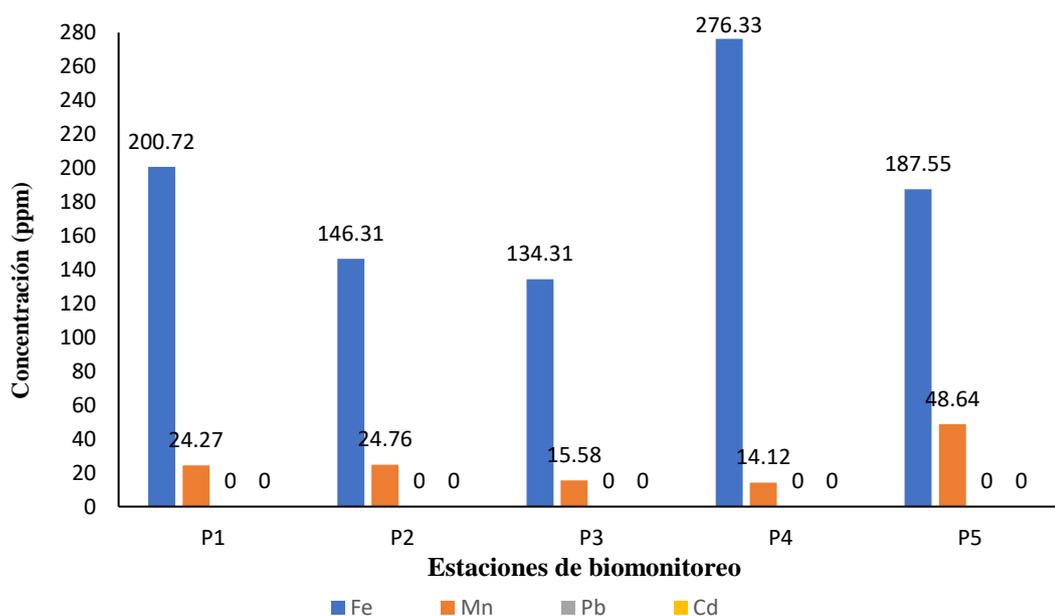
Concentración de metales pesados del periodo II

Estación	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
P1	200.72	24.27	<0.3	<0.012
P2	146.31	24.76	<0.3	<0.012
P3	134.31	15.58	<0.3	<0.012
P4	276.33	14.12	<0.3	<0.012
P5	187.55	48.64	<0.3	<0.012

Nota: muestreo del 14/02/2023 al 15/03/2023. Fuente: elaboración propia.

Figura 11.

Concentración de metales pesados – periodo II



Nota: muestreo del 14/02/2023 al 15/03/2023. Fuente: elaboración propia.

4.2.1.5. Concentración de PAS del periodo III

En la **Tabla 10** y **Figura 12** se observa que en el periodo III se registró una mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentable en la estación de monitoreo “**P4**” con un valor de **2.0445 mg/cm²/30 días** y la menor concentración en la estación de monitoreo “**P2**” con un valor de **0.1887 mg/cm²/30 días**.

Tabla 10.

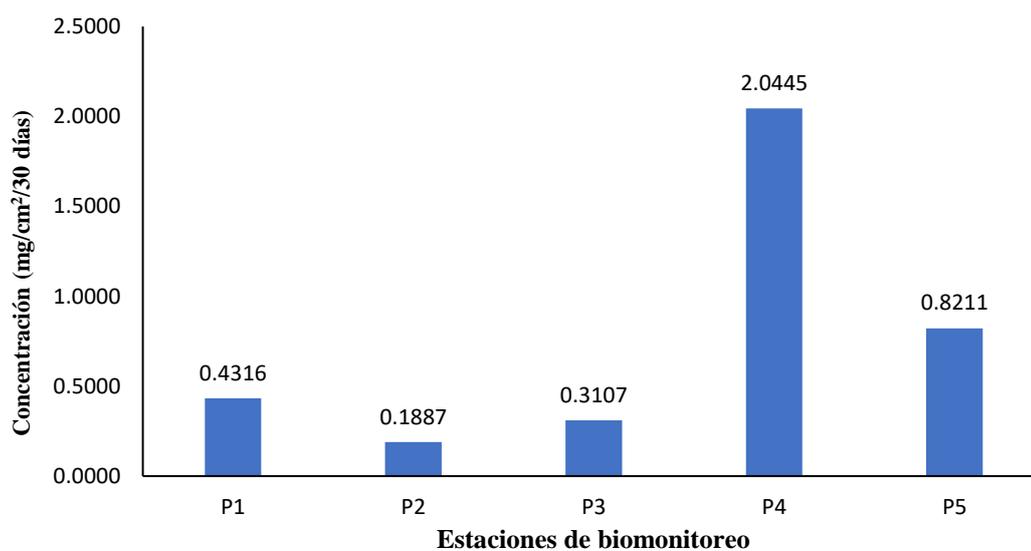
Concentración de PAS del periodo III

Estación	Wpas (mg)	Área (cm ²)	Concentración (mg/cm ² /30 días)
P1	446.90	1 035.594	0.4316
P2	173.10	917.622	0.1887
P3	295.40	950.858	0.3107
P4	1 746.40	854.204	2.0445
P5	706.60	860.499	0.8211

Nota: muestreo del 16/03/2023 al 14/04/2023. Fuente: elaboración propia.

Figura 12.

Concentración de PAS – periodo III



Nota: muestreo del 16/03/2023 al 14/04/2023. Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos.

4.2.1.6. Concentración de metales pesados del periodo III

En la **Tabla 11** y **Figura 13** se observa que en el periodo III se registró una mayor concentración de Hierro (**Fe**) en todas las estaciones de monitoreo; teniendo una mayor en la estación “**P4**” con un valor de **272.75 ppm** y una menor en la estación “**P2**” con un valor de **136.96 ppm**. Por otro lado, las concentraciones de Manganeso (**Mn**) se tuvo una mayor en la estación “**P5**” con un valor de **42.93 ppm** y una menor en la estación “**P4**” con un valor de **2.36 ppm**. Mientras que, en cuanto a las concentraciones de Plomo (**Pb**) y Cadmio (**Cd**) tuvieron los mismos valores en todas las estaciones **<0.03 ppm** y **<0.012 ppm** respectivamente.

Tabla 11.

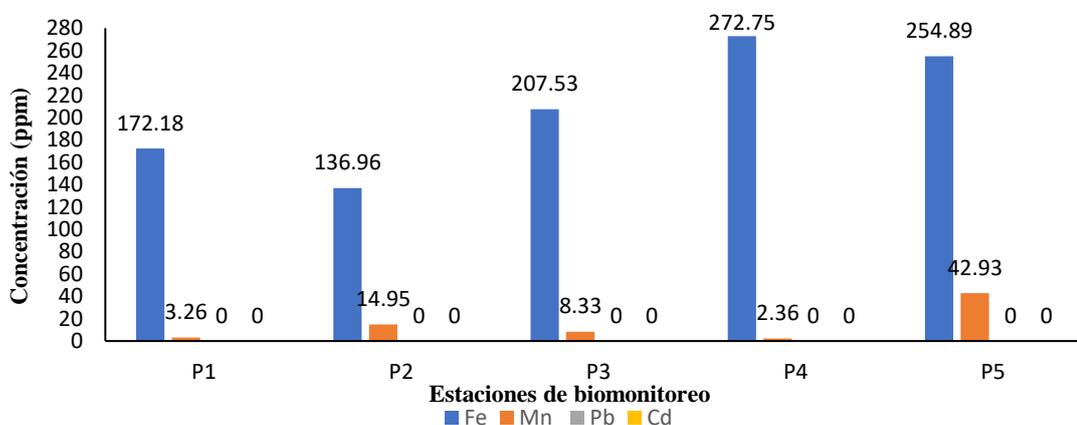
Concentración de metales pesados del periodo III

Estación	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
P1	172.18	3.26	<0.3	<0.012
P2	136.96	14.95	<0.3	<0.012
P3	207.53	8.33	<0.3	<0.012
P4	272.75	2.36	<0.3	<0.012
P5	254.89	42.93	<0.3	<0.012

Nota: muestreo del 16/03/2023 al 14/04/2023. Fuente: elaboración propia.

Figura 13.

Concentración de metales pesados – periodo III



Nota: muestreo del 16/03/2023 al 14/04/2023. Fuente: elaboración propia.

4.2.1.7. Concentración promedio temporal del PAS en relación al tiempo

En la **Tabla 12** y **Figura 14** se observa que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se da en el **periodo III** (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de **0.759 3 mg/cm²/30 días** y la menor en el **periodo I** (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de **0.504 1 mg/cm²/30 días**.

Tabla 12.

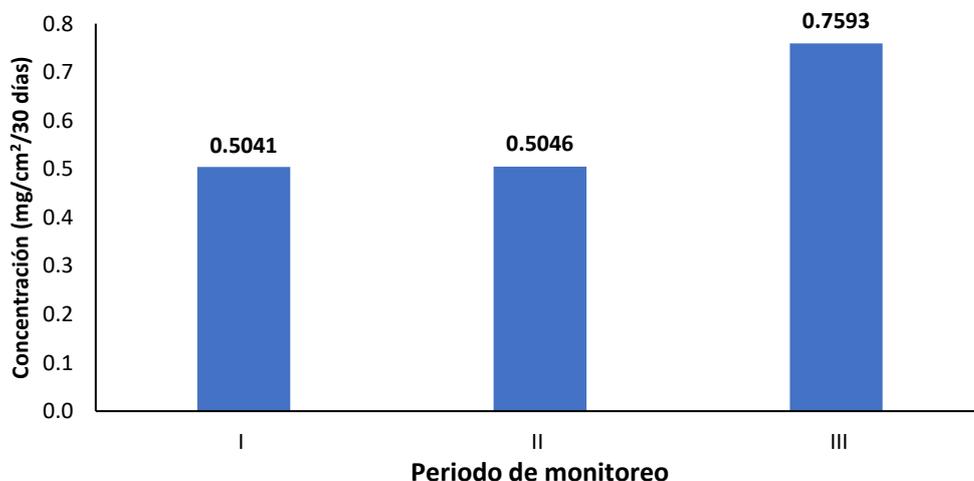
Promedio de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) por periodo de monitoreo y fecha de registro

Periodo de monitoreo	Promedio de concentración (mg/cm ² /30 días)
I ^a	0.5041
II ^b	0.5046
III ^c	0.7593

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 14.

Concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) por periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos.

4.2.1.8. Comparación de las concentraciones obtenidas con los estándares de calidad ambiental

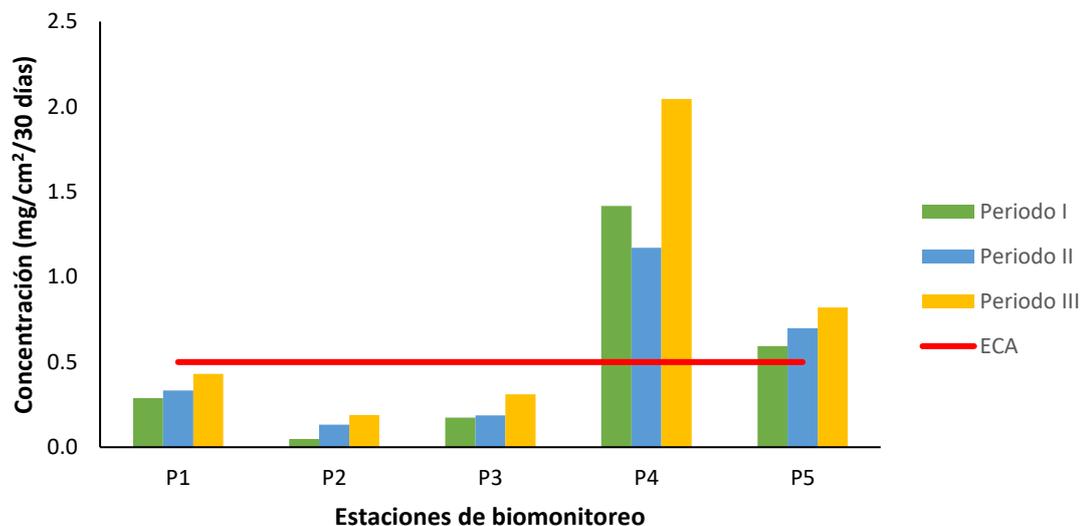
Con los resultados de las concentraciones obtenidos de los diferentes periodos de monitoreo; se procedió a comparar con los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de **0.5 mg/cm²/30 días** (OMS, 2005).

En el Figura 15 se observa, que en las estaciones “P4” y “P5” las concentraciones de PAS obtenidas en los periodos de biomonitoreo superan la concentración de 0.5 mg/cm²/30 días establecidos en los estándares de calidad ambiental para aire.

Por otro lado, en las estaciones de monitoreo “P1”, “P2” y “P3” se observa que las concentraciones de PAS obtenidas en los periodos de biomonitoreo no superan la concentración de 0.5 mg/cm²/30 días establecidos en los estándares de calidad ambiental para aire.

Figura 15.

Comparación del PAS con los estándares de calidad ambiental



Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos.

4.2.1.9. Comparación de las concentraciones de PAS en relación a las condiciones meteorológicas

- **Temperatura:** Respecto a los datos de temperatura registrados durante el periodo de biomonitorio, se tiene que la mayor temperatura promedio se tuvo en el **periodo III (29.84 °C)**; mientras que la menor temperatura promedio fue en el **periodo I (29.24 °C)**, como se muestra en la **Tabla 13**.

Tabla 13.

Concentración de PAS según temperatura y periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Temperatura (°C)	Concentración de PAS (mg/cm ² /30 días)
I ^a	29.24	0.5041
II ^b	29.71	0.5046
III ^c	29.84	0.7593

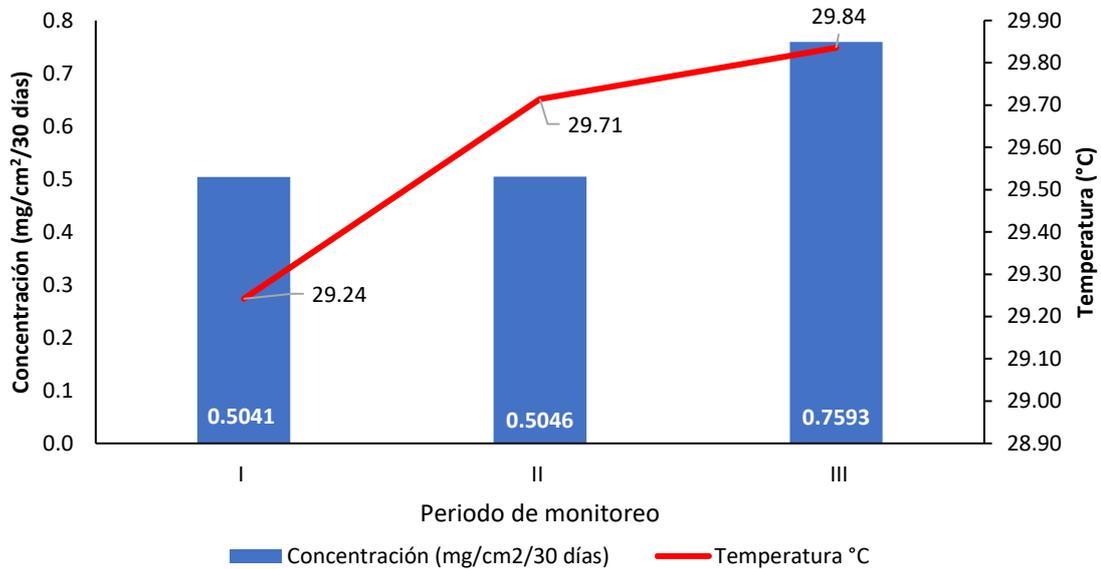
Nota: **a.** (15/01/2023 al 13/02/2023) **b.** (14/02/2023 al 15/03/2023) **c.** (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 16** se muestra el comportamiento de las temperaturas y la concentración de PAS obtenida durante el periodo de estudio, donde se evidenció que la especie *Ficus benjamina* presentó una mayor capacidad de retención de PAS en el **periodo III** (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de **0.7593 mg/cm²/30 días** con una temperatura promedio de **29.84 °C** (la mayor temperatura promedio registrada durante el periodo de estudio) y; una menor capacidad de retención de PAS en el **periodo I** (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de **0.5041 mg/cm²/30 días** con una temperatura promedio de **29.24 °C** (la menor temperatura promedio registrada durante el periodo de estudio). Por lo cual, probablemente se

tenga una relación directamente proporcional la concentración de PAS y la temperatura.

Figura 16.

Concentración de PAS según temperatura y periodo de monitoreo



Nota: los datos meteorológicos fueron solicitados al Aeródromo Capitán FAP Leonardo Alvariano Herr – Estación Meteorológica Aeronáutica “San Ramón” BASRA (2023). Fuente: elaboración propia.

- **Precipitación:** Respecto a los datos registrados de precipitación durante el periodo de biomonitorio, se tiene que la mayor precipitación acumulada se tuvo en el **periodo I (422.40 mm/mes)**; mientras que el periodo con menor precipitación acumulada fue en el **periodo III (150.60 mm/mes)**, como se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14.

Concentración de PAS según precipitación y periodo de monitoreo

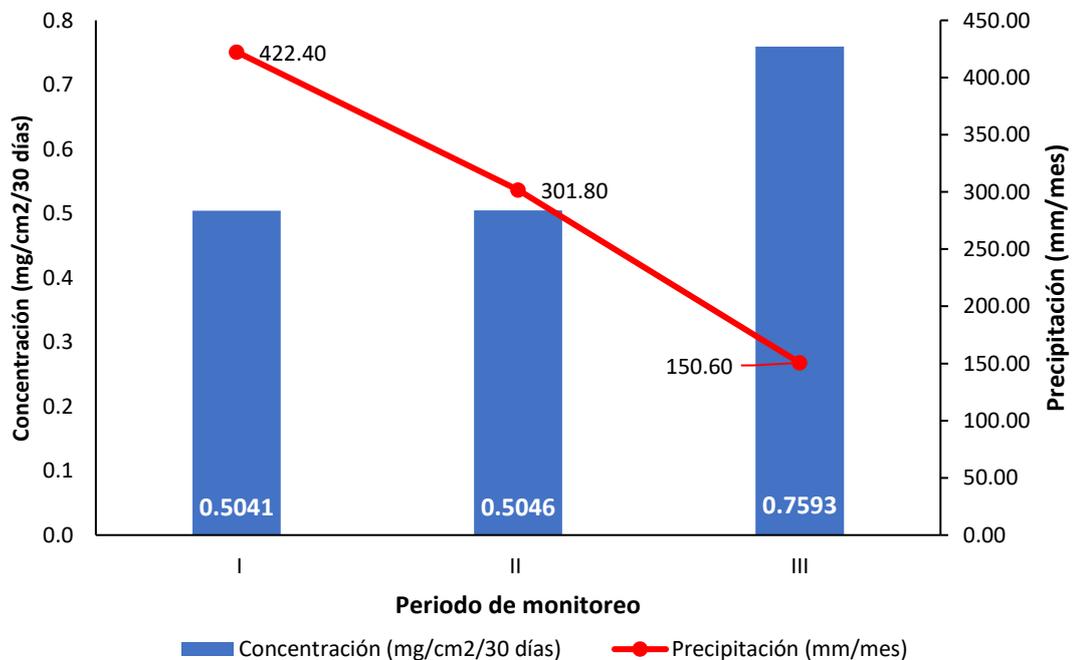
Periodo de monitoreo	Precipitación (mm/mes)	Concentración de PAS (mg/cm ² /30 días)
I ^a	422.40	0.5041
II ^b	301.80	0.5046
III ^c	150.60	0.7593

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la **Figura 17** se muestra el comportamiento de la precipitación y la concentración de PAS obtenida durante el periodo de estudio, donde se evidenció que la especie *Ficus benjamina* presentó una mayor capacidad de retención de PAS en el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de **0.7593 mg/cm²/30 días** con una precipitación acumulada de **150.60 mm/mes** (la menor precipitación acumulada registrada durante el periodo de estudio) y; una menor capacidad de retención de PAS en el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de **0.5041 mg/cm²/30 días** con una precipitación acumulada de **422.40 mm/mes** (la mayor precipitación acumulada registrada durante el periodo de estudio). Por lo cual, probablemente se tenga una relación inversamente proporcional la concentración de PAS y la precipitación.

Figura 17.

Concentración de PAS según precipitación y periodo de monitoreo



Nota: los datos meteorológicos fueron obtenidos del Aeródromo Capitán FAP Leonardo Alvaríño Herr – Estación Meteorológica Aeronáutica “San Ramón” BASRA(2023). Fuente: elaboración propia.

- **Velocidad y dirección del viento:** En lo que concierne a la velocidad del viento, se observó que en el **periodo I** se presentó una mayor velocidad del viento promedio con un valor de **2.38 m/s**; por otro lado, el **periodo III** presentó la menor velocidad del viento promedio con **1.74 m/s**, como se detalla en la **Tabla 15**. Del mismo modo, se observa la dirección predominante del viento, donde en el periodo I y III fue en dirección **Nor-oeste (NW)**, mientras que el segundo biomonitoreo fue en dirección **Norte (N)**.

Tabla 15.

Concentración de PAS según velocidad y dirección de viento, y periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento	Concentración de PAS (mg/cm²/30 días)
I ^a	2.38	NW	0.5041
II ^b	1.79	N	0.5046
III ^c	1.74	NW	0.7593

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Así mismo, en el **Figura 18** se muestra que, durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023), se describe la dirección predominante del viento que viene del Nor-oeste (NW) con frecuencias aprox. de 4.4% a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, seguida de otros vientos en dirección Nor-oeste (NW) y Nor-este (NE) con una ocurrencia aprox. del 3.5% y 3.3% respectivamente a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, lo que significa que el viento predominante se dispersó en dirección Sur-este (SE). Además, de presentarse vientos calmos con una ocurrencia del 61.52%, lo que significa

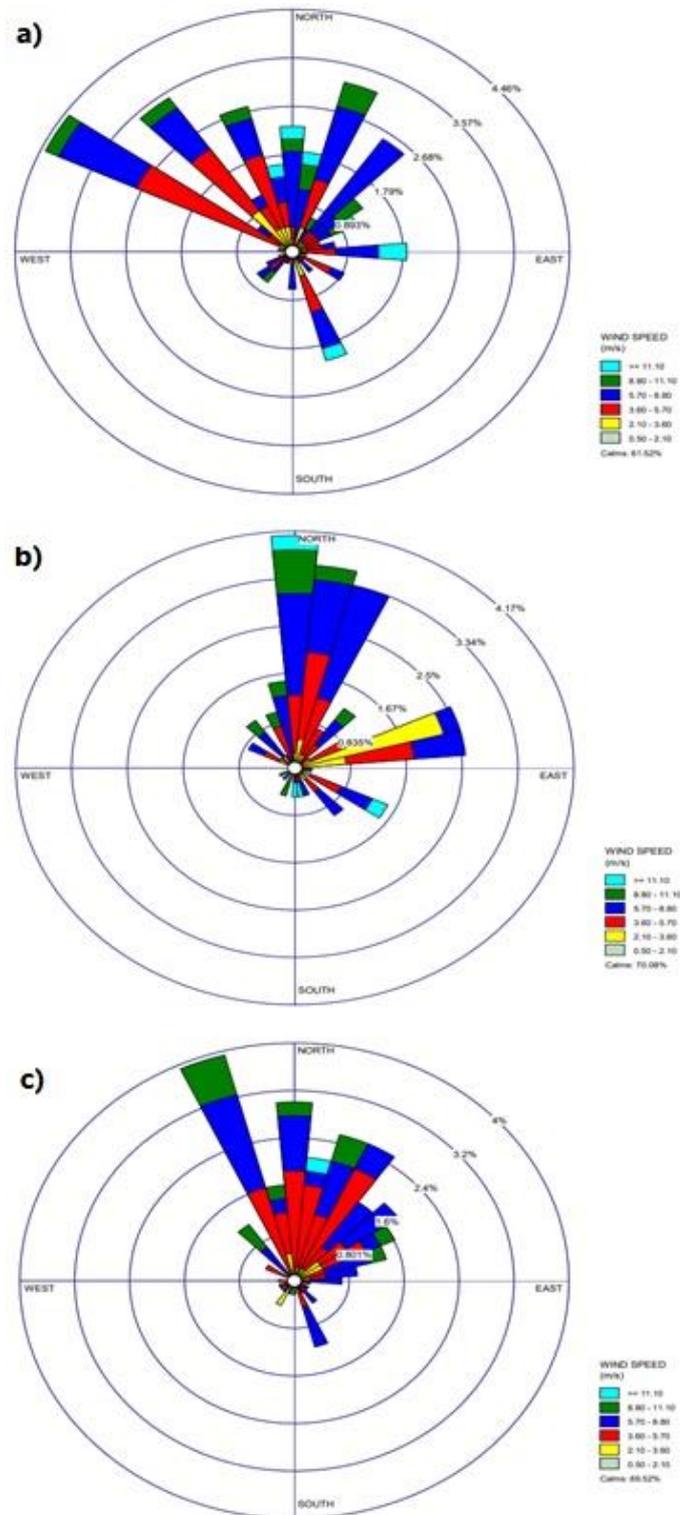
que más de la mitad del tiempo se presentaron velocidades de viento menores a 1 km/h.

En cuanto al periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) se muestra que, la dirección predominante del viento que viene del Norte (N) con frecuencias aprox. de 4.10% a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, seguida de otros vientos en dirección Nor-este (NE) con una ocurrencia aprox. del 3.6% a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, lo que significa que el viento predominante se dispersó en dirección Sur (S). Además, de presentarse vientos calmos con una ocurrencia del 70.08%, lo que significa que más de la mitad del tiempo se presentaron velocidades de viento menores a 1 km/h.

Por último, en el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) se describe la dirección predominante del viento que viene del Nor-oeste (NW) con frecuencias aprox. de 3.8% a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, seguida de otros vientos en dirección Norte (N) con una ocurrencia aprox. del 3% a velocidades de 0.5 m/s a 11.10 m/s, lo que significa que el viento predominante se dispersó en dirección Sur-este (SE). Además, de presentarse vientos calmos con una ocurrencia del 69.52%, lo que significa que más de la mitad del tiempo se presentaron velocidades de viento menores a 1 km/h.

Figura 18.

Rosa de viento del periodo de monitoreo



Nota: **a)** Rosa de viento del periodo de monitoreo del periodo I, **b)** periodo II, **c)** periodo III. Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación a las zonas de muestreo

Las fuentes de generación de partículas atmosféricas sedimentables se realizaron de acuerdo a la clasificación realizada por Inche (2004) y Saavedra (2014) las mismas que se detallan a continuación:

Tabla 16.

Características socioambientales por las zonas de muestreo

Zona de Muestreo	Características Socioambientales
P1 Av. Castilla (Repartición Quebrada “Santa Rosa”)	Cuyas características de la zona es de alto tráfico (transito liviano y pesado), calles circundantes sin pavimentar, áreas libres con escasa vegetación, pocas viviendas familiares, algunos restaurantes.
P2 Av. Los Pioneros (Parque “Bolognesi”)	Presenta bajo flujo vehicular (transito liviano), calles pavimentadas, presencia de comercios, restaurantes y ferreterías, áreas verdes con vegetación, zona de esparcimiento, edificios públicos y presencia de comercio ambulatorio de comida.
P3 Av. Circunvalación (I.E Capelito)	Presenta alto flujo vehicular (transito liviano), calles pavimentadas con jardinel con presencia de árboles sin cobertura, presencia de comercios, restaurantes, ferreterías, edificios públicos, colegios, jardín de niños, abundantes viviendas familiares.
P4 Av. Aguirrezabal (Terminal “Molina”)	Presenta un flujo vehicular regular (tránsito pesado y liviano), calle pavimentada con jardinel sin cobertura, calles paralelas con alto flujo vehicular, calles circundantes sin pavimentar, presencia de terminal de buses interprovincial y construcciones aledañas, presencia de comercios ferreterías, edificios familiares, etc.
P5 Prolongación Tarma (Altura de la RENIEC)	Presenta alto flujo vehicular (transito liviano), calle pavimentada, presenta berma central con vegetación, presencia de abundante comercio como restaurantes, tienda de ropas, fotocopiadoras y ferreterías, presencia de un mercado cercano, alta transitabilidad por ser una arteria de salida del distrito de Chanchamayo.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados de las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo.

4.2.2.1. Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1)

En la Tabla 17 y Figura 19 se observa que en la Avenida Castilla – P1 (repartición Quebrada “Santa Rosa”) se registró una mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el periodo III con un valor 0.4316 mg/cm²/30 días y una menor en el periodo I con 0.2879 mg/cm²/30 días. Asimismo, según los datos obtenidos, se observa que ninguno sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 0.5 mg/cm²/30 días. Por otro lado, el incremento de la concentración de PAS en el periodo II y III es probable que se deba a las ausencias de lluvias e incremento de temperatura. A esto se añade, vías circundantes sin asfaltar, vehículos de transportes que transitan y actividad económica en los alrededores de la zona de muestreo, los cuales se detalla en la Tabla 16.

Tabla 17.

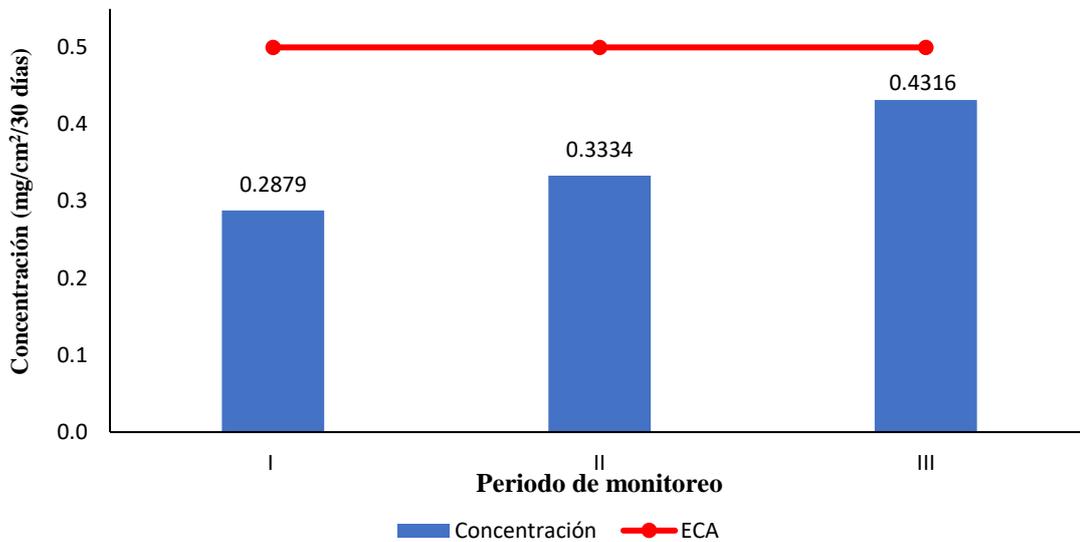
Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo y el ECA

Periodo de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /30 días)	
	Concentración	Promedio de PAS
I ^a	0.2879	
II ^b	0.3334	0.3509
III ^c	0.4316	

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 19.

Concentración de PAS en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo y el ECA



Fuente: elaboración propia.

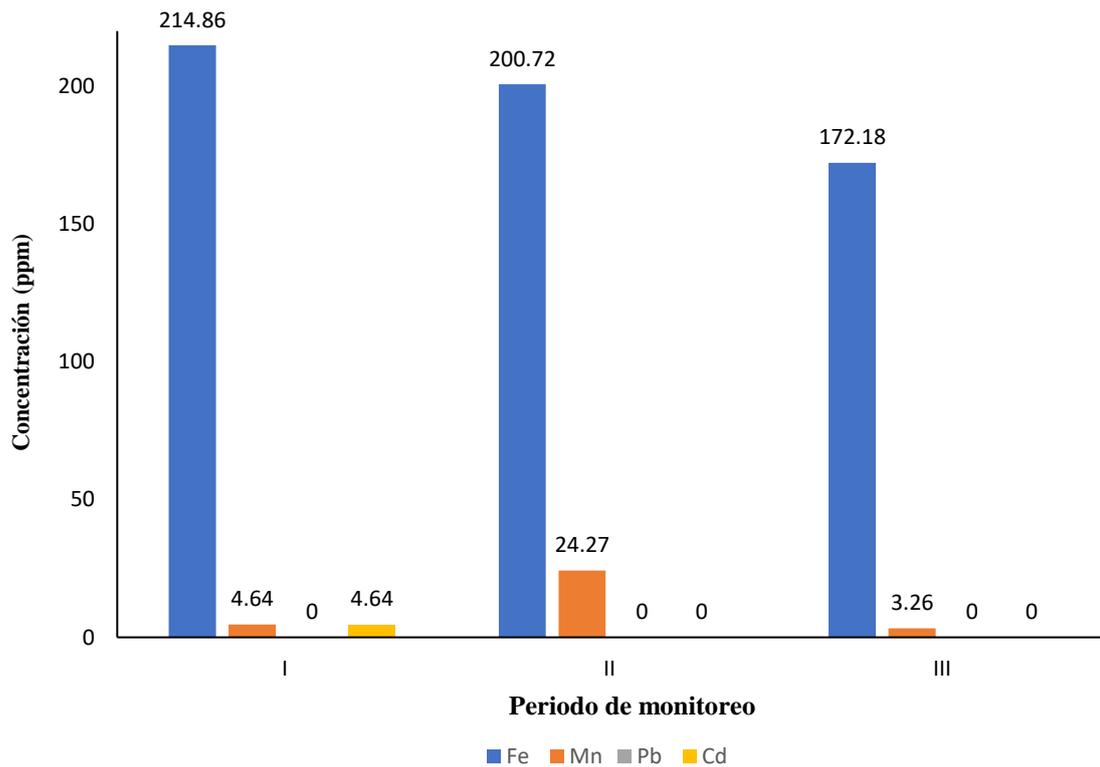
4.2.2.2. Concentración de metales pesados en la Avenida Castilla (P1)

En la Tabla 18 y Figura 20 se aprecia que en la Avenida Castilla se registró una mayor concentración de Hierro (Fe) determinándose la mayor en el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de 214.86 ppm y una menor durante el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de 172.18 ppm. Por otro lado, las concentraciones del Manganeso (Mn) vario durante el periodo de estudio; teniendo una mayor en el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 24.27 ppm y una menor durante el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de 3.26 ppm. Mientras que, la mayor concentración de Cadmio (Cd) se registró en el periodo I con un valor de 4.64 ppm, así mismo los valores del periodo II y III reflejaron un de valor <0.012 ppm. De la misma forma, para la concentración del Plomo (Pb) se tuvo valores de <0.3 ppm.

Tabla 18.*Concentración de metales pesados en la Avenida Castilla (P1) según periodo de monitoreo*

Periodo de monitoreo	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
I ^a	214.86	4.64	<0.3	4.64
II ^b	200.72	24.27	<0.3	<0.012
III ^c	172.18	3.26	<0.3	<0.012

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 20.*Concentraciones de metales pesados en la Av. Castilla (P1) según periodo de monitoreo*

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.3. Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2)

En el Tabla 19 y Figura 21 se aprecia que en la Avenida Los Pioneros – P2 (Parque Bolognesi) se registró una menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables promedio en relación a todas las estaciones de biomonitorio. Observándose, la máxima en el periodo III con un valor 0.1887 mg/cm²/30 días y una mínima en el periodo I con 0.0479 mg/cm²/30 días. Asimismo, según los datos obtenidos, se observa que ninguno sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 0.5 mg/cm²/30 días. Por otro lado, el incremento de la concentración de PAS en el periodo II y III es posible que se deba a las ausencias de lluvias e incremento de temperatura. A esto se añade, vías circundantes asfaltadas, vehículos de transportes que transitan y actividad económica en los alrededores de la zona de muestreo, los cuales se detalla en la Tabla 16.

Tabla 19.

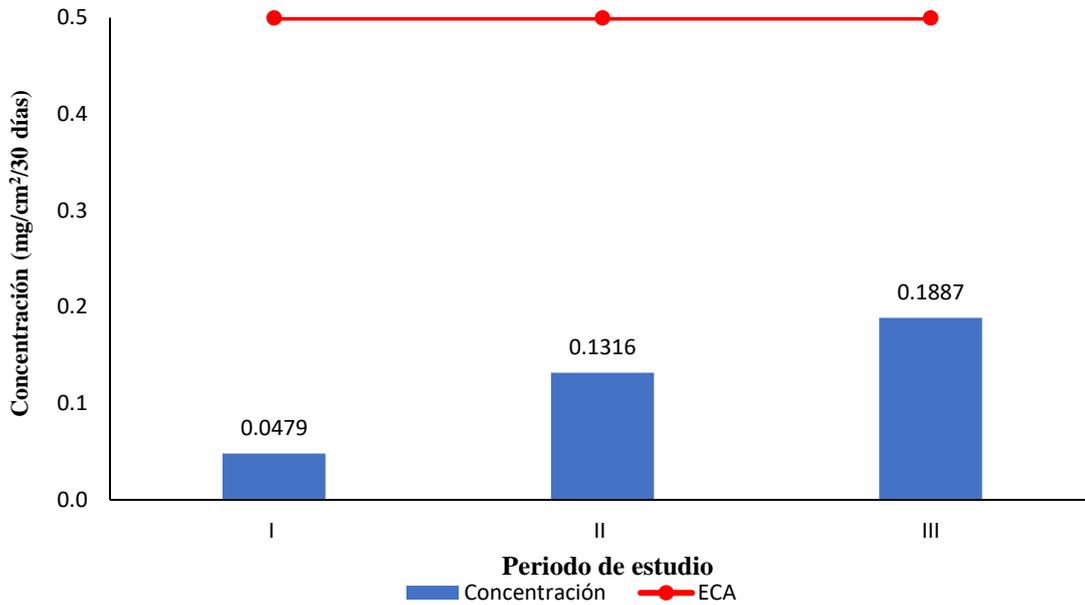
Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /30 días)	
	Concentración	Promedio de PAS
I ^a	0.0479	
II ^b	0.1316	0.1227
III ^c	0.1887	

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 21.

Concentración de PAS en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.2.4. Concentración de metales pesados en la Avenida Los Pioneros (P2)

En la Tabla 20 y Figura 22 se aprecia que en la Avenida Los Pioneros se registró una mayor concentración de Hierro (Fe), teniendo una mayor concentración durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de 238.49 ppm y la menor durante el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de 136.96 ppm. Por otro lado, las concentraciones del Manganeso (Mn) fluctuaron durante el periodo de estudio; resultado la máxima en el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 24.76 ppm y la menor durante el periodo I (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de <0.03 ppm. Mientras que, para el Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) se registraron concentraciones similares <0.3 ppm y <0.012 ppm respectivamente.

Tabla 20.

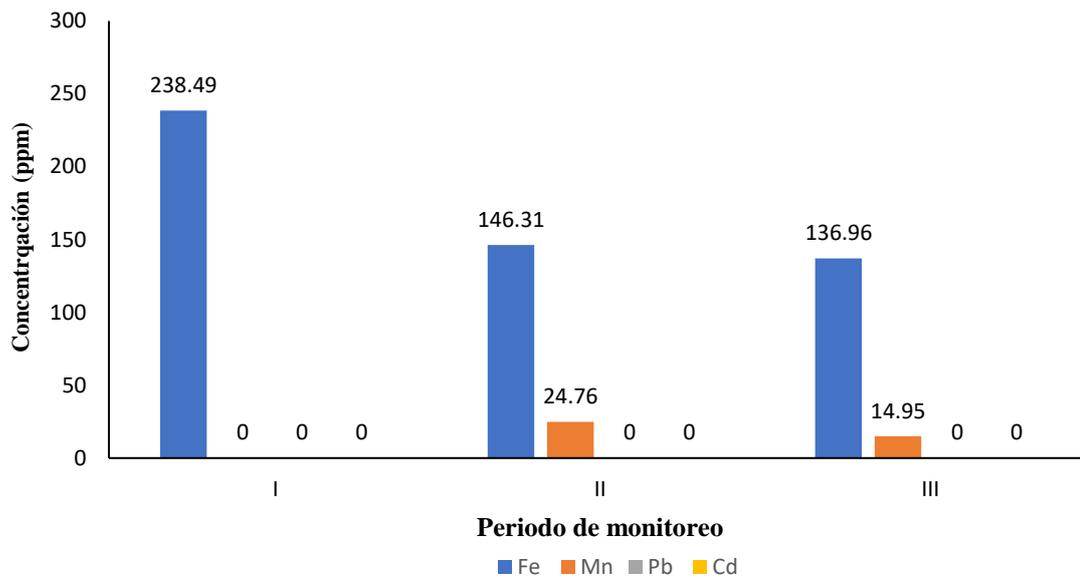
Concentración de metales pesados en la Avenida Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
I ^a	238.49	<0.03	<0.3	<0.012
II ^b	146.31	24.76	<0.3	<0.012
III ^c	136.96	14.95	<0.3	<0.012

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 22.

Concentraciones de metales pesados en la Av. Los Pioneros (P2) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.2.5. Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3)

Se observa en el Tabla 21 y Figura 23 que en la Avenida Circunvalación – P3 (I.E. Capelito) se registró una mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el periodo III con un valor 0.3107 mg/cm²/30 días y una menor concentración en el periodo I de 0.1746 mg/cm²/30 días. Asimismo, según los datos obtenidos, observamos que

ninguno sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 0.5 mg/cm²/30 días. Por otro lado, el incremento de la concentración de PAS en el periodo II y III probablemente se deba a las ausencias de lluvias e incremento de temperatura. Cabe señalar que las vías circundantes se encuentran asfaltadas, los tipos de vehículos que transitan y actividad económica en los alrededores de la zona de muestreo también influyan directamente en la concentración de PAS, como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 21.

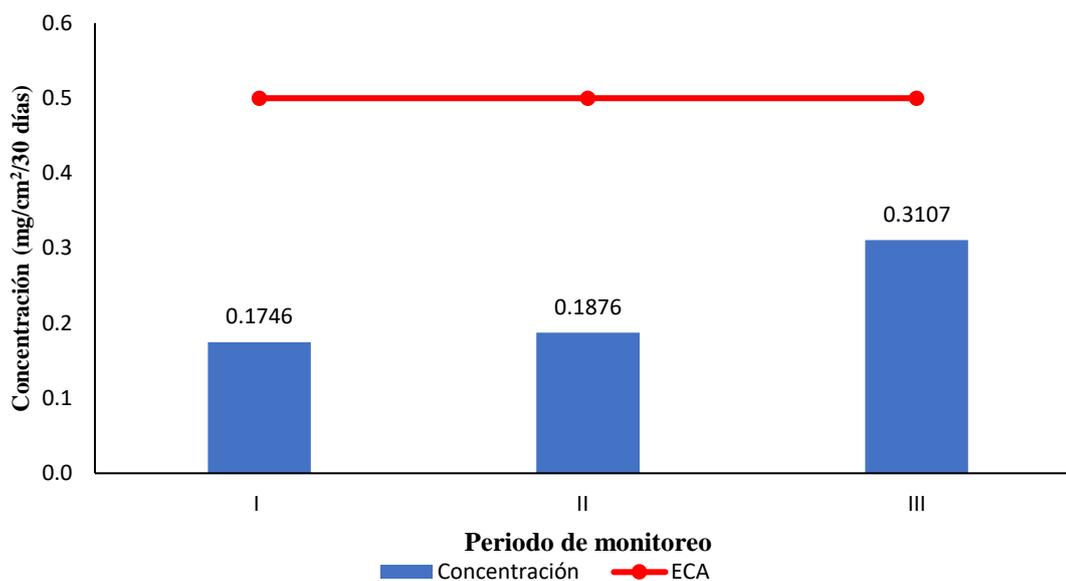
Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /30 días)	
	Concentración	Promedio de PAS
I ^a	0.1746	
II ^b	0.1876	0.2243
III ^c	0.3107	

Nota: **a.** (15/01/2023 al 13/02/2023) **b.** (14/02/2023 al 15/03/2023) **c.** (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 23.

Concentración de PAS en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.2.6. Concentración de metales pesados en la Avenida Circunvalación (P3)

En la Tabla 22 y Figura 24 se aprecia que en la Avenida Circunvalación se registró una mayor concentración de Hierro (Fe) teniendo la mayor durante el periodo III (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de 207.53 ppm y la menor durante el periodo II (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de 134.31 ppm. Por otro lado, las concentraciones del Manganeseo (Mn) se tuvo la mayor durante el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 15.58 ppm y la mínima durante el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un valor de 0.58 ppm. Mientras que, en el Cadmio (Cd) se registraron la mayor concentración en el periodo I con un valor de 0.58 ppm e iguales concentraciones para el periodo II y III con un valor de <0.012 ppm. Del mismo modo, para la concentración del Plomo (Pb) se tuvo valores de <0.3 ppm.

Tabla 22.

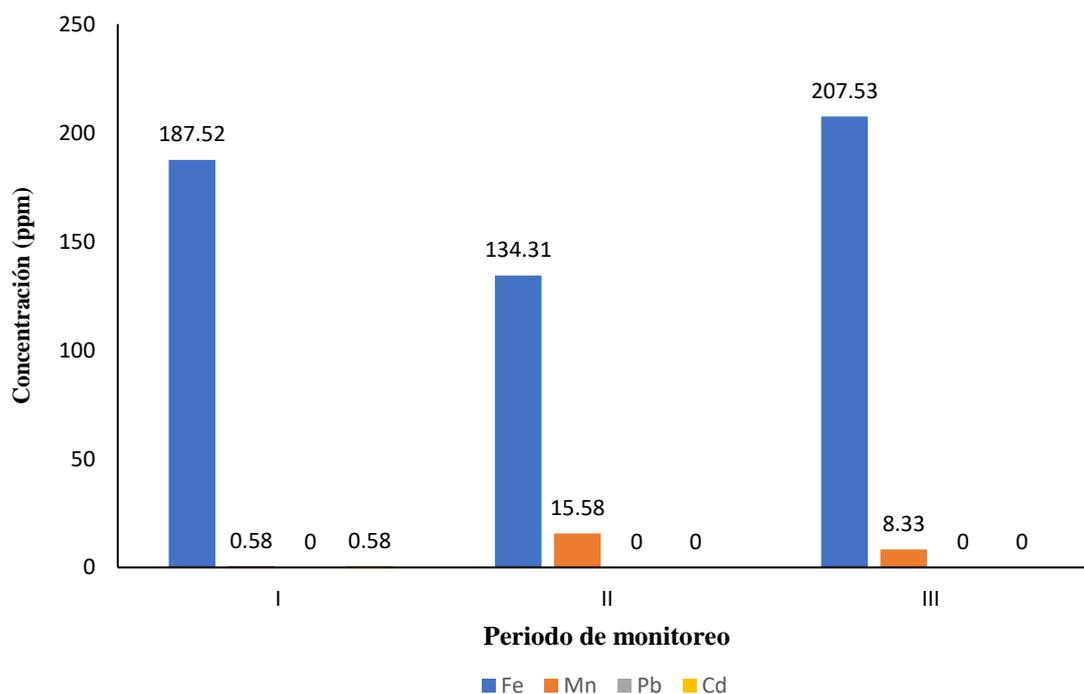
Concentración de metales pesados en la Avenida Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
I ^a	187.52	0.58	<0.3	0.58
II ^b	134.31	15.58	<0.3	<0.012
III ^c	207.53	8.33	<0.3	<0.012

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 24.

Concentraciones de metales pesados en la Av. Circunvalación (P3) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.2.7. Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4)

Se observa en el Tabla 23 y Figura 25 que en la Avenida Aguirrezabal – P4 (Terminal Molina) se registró una mayor concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables en comparación a todas

las estaciones de biomonitorio. Observándose, un máximo valor en el periodo III con un valor 2.0445 mg/cm²/30 días y un menor en el periodo I con una concentración de 1.4164 mg/cm²/30 días. Asimismo, según los datos obtenidos, se observa que todos superan ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 0.5 mg/cm²/30 días. Por otro lado, el incremento de la concentración de PAS en el periodo I y III probablemente tuvo influencia de los parámetros climatológicos de temperatura y precipitación, además de una posible influencia de parte de la demolición y construcción de un centro comercial, en la zona colindante al punto de monitoreo (P4), el cual pudo alterar la concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (Terminal Molina). Además, cabe señalar que las vías circundantes se encuentran sin asfaltar, los tipos de vehículos que transitan y actividad económica en los alrededores de la zona de muestreo influyen directamente en la concentración de PAS, como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 23.

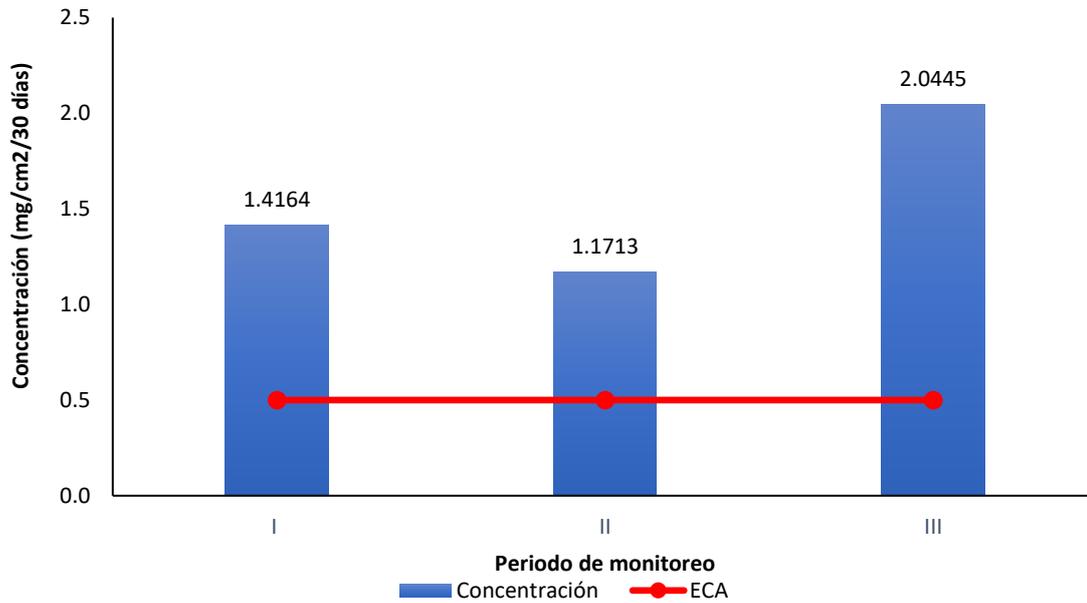
Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /30 días)	
	Concentración	Promedio de PAS
I ^a	1.4164	
II ^b	1.1713	1.5441
III ^c	2.0445	

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 25.

Concentración de PAS en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

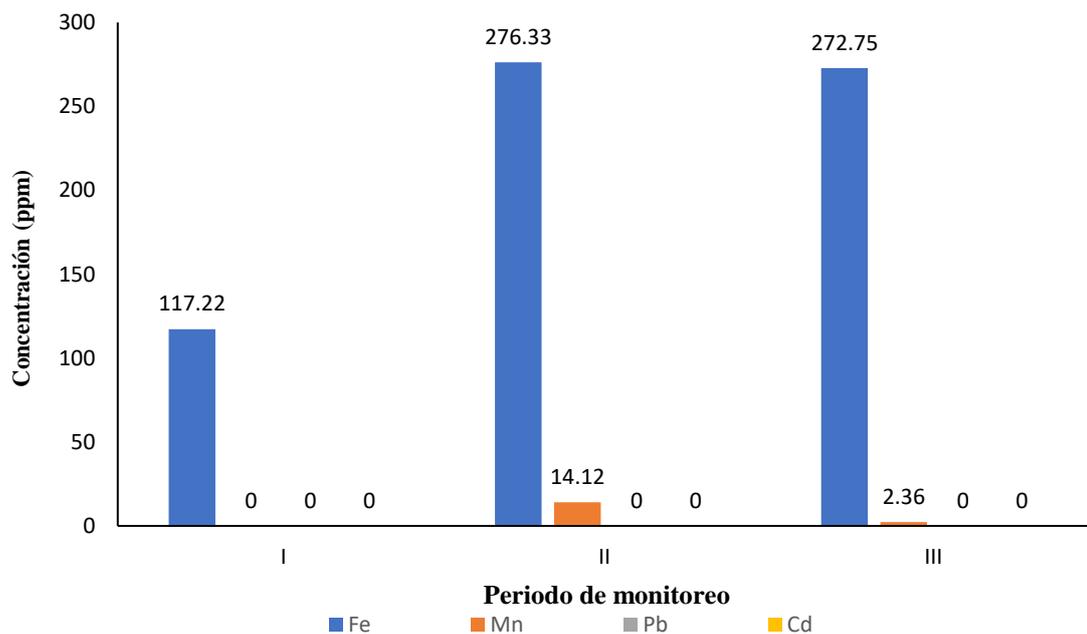
4.2.2.8. Concentración de metales pesados en la Avenida Aguirrezabal (P4)

Como se puede apreciar en la Tabla 24 y Figura 26, la Avenida Circunvalación registró una mayor concentración de Hierro (Fe); teniendo la mayor cantidad durante el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 276.33 ppm y una menor cantidad durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de 117.22 ppm. Por otro lado, las concentraciones del Manganeso (Mn) fluctuaron durante el periodo de monitoreo; teniendo la mayor en el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 14.12 ppm y una menor durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de <0.03 ppm. Mientras que, en el Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) se registraron iguales concentraciones con valores de <0.3 ppm y <0.012 ppm respectivamente.

Tabla 24.*Concentración de metales pesados en la Avenida Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo*

Periodo de monitoreo	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
I ^a	117.22	<0.03	<0.3	<0.012
II ^b	276.33	14.12	<0.3	<0.012
III ^c	272.75	2.36	<0.3	<0.012

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 26.*Concentraciones de metales pesados en la Av. Aguirrezabal (P4) según periodo de monitoreo*

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.9. Concentración de PAS en Prolongación Tarma (P5)

En la Tabla 25 y Figura 27 se aprecia, que en Prolongación Tarma – P5 (Altura de la RENIEC) se registró la segunda mayor concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables en relación a todas las

estaciones de biomonitorio. Observándose, el máximo valor en el periodo III con 0.8211 mg/cm²/30 días y un mínimo valor en el periodo II con 0.594 mg/cm²/30 días. Asimismo, según los datos obtenidos, se observa que todos sobrepasa los Estándares de Calidad Ambiental para partículas atmosféricas sedimentable (PAS) establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es de 0.5 mg/cm²/30 días. Por otro lado, el incremento de la concentración de PAS en el periodo II y III pudo deberse a las ausencias de lluvias e incremento de temperatura, así como el alto flujo vehicular de la zona, el cual pudo alterar la concentración de PAS en Prolongación Tarma (Altura de la RENIEC). Además, cabe señalar que, las vías circundantes se encuentran sin asfaltar y actividad económica en los alrededores de la zona de muestreo influyen directamente en la concentración de PAS, como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 25.

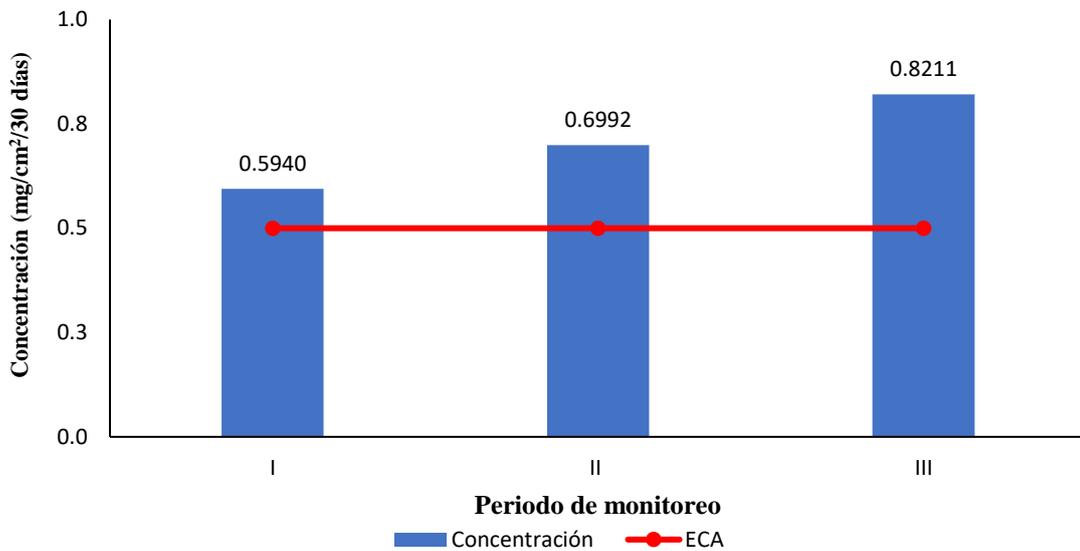
Concentración de PAS en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /30 días)	
	Concentración	Promedio de PAS
I ^a	0.5940	
II ^b	0.6992	0.7048
III ^c	0.8211	

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 27.

Concentración de PAS en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.2.10. Concentración de metales pesados en Prolongación Tarma

Como podemos observar en la Tabla 26 y Figura 28, en Prolongación Tarma (Altura de la RENIEC) se registró un mayor valor mayor de Hierro (Fe) durante el periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) con un 254.89 ppm y un valor mínimo durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) con un valor de 166.06 ppm. Por otro lado, las concentraciones del Manganeso (Mn) tuvo una mayor cantidad en el periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) con un valor de 48.64 ppm y una menor concentración durante el periodo I (del 15/01/2023 al 13/0/2023) con un valor de 1.93 ppm. Mientras que, en el Cadmio (Cd) se registraron la mayor concentración en el periodo I con un valor de 1.93 ppm e iguales concentraciones para el periodo II y III con un valor de <0.012 ppm. Del mismo modo, para la concentración del Plomo (Pb) se tuvo valores de <0.3 ppm en todo el periodo de estudio.

Tabla 26.

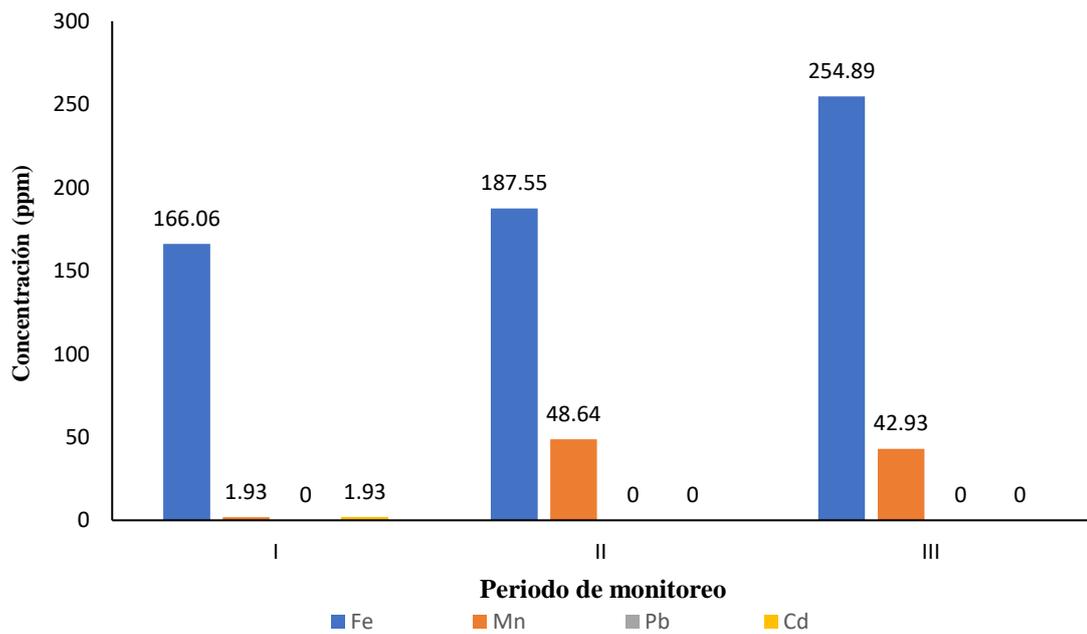
Concentración de metales pesados en Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo

Periodo de monitoreo	Concentración (ppm)			
	Fe	Mn	Pb	Cd
I ^a	166.06	1.93	<0.3	1.93
II ^b	187.55	48.64	<0.3	<0.012
III ^c	254.89	42.93	<0.3	<0.012

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 28.

Concentraciones de metales pesados en la Prolongación Tarma (P5) según periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados en relación al flujo vehicular

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados de las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular.

4.2.3.1. Concentración de PAS en relación al flujo vehicular

Se aprecia en la Tabla 27 y Figura 29 el comportamiento del flujo vehicular y la concentración de PAS obtenida durante el periodo de estudio, donde en el periodo I, se evidenció que el flujo vehicular probablemente influya directamente en la concentración de PAS, observándose que, en la estación “P5” tuvo mayor flujo vehicular de 8 064 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.594 mg/cm²/30 días; mientras que la estación “P2” tuvo menor flujo vehicular de 3 088 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.0479 mg/cm²/30 días. Por otro lado, un hecho aislado sucedió en la estación “P4”, que registro una concentración de 1.4164 mg/cm²/30 días y un flujo vehicular de 4 560 vehículo/h.

Para el periodo II, es posible que el flujo vehicular influye directamente en las concentraciones de PAS de las estaciones “P1”, “P2”, “P3” y “P5”, observándose que, en la estación “P5” tuvo mayor flujo vehicular de 8 260 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.6992 mg/cm²/30 días; mientras que la estación “P2” tuvo menor flujo vehicular de 3 212 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.1316 mg/cm²/30 días. Por otro lado, un hecho aislado sucedió en la

estación “P4”, que registro una concentración de 1.171 3 mg/cm²/30 días y un flujo vehicular de 4 784 vehículo/h.

Para el periodo III se evidenció que posiblemente el flujo vehicular influye directamente en las concentraciones de PAS, observándose que, en la estación “P5” tuvo mayor flujo vehicular de 8 532 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.8211 mg/cm²/30 días; mientras que la estación “P2” tuvo menor flujo vehicular de 3 444 vehículo/h y una concentración de PAS con un valor de 0.1887 mg/cm²/30 días. Además, de presentarse concentraciones en la estación “P1” de 0.4316 mg/cm²/30 días con un flujo vehicular de 5 364 vehículo/h; y en la estación “P3” concentración de 0.3107 mg/cm²/30 días con un flujo vehicular 4 793 vehículo/h. Por otro lado, como ya se mencionó anteriormente, el evento aislado sucedió en la estación “P4” que registro una concentración de 2.0445 mg/cm²/30 días y un flujo vehicular de 5 204 vehículo/h; por el cual deducimos que no solamente fue influenciado por el flujo vehicular, sino, también debido a la demolición y construcción, que se venía desarrollando en el área circundante a la zona de monitoreo.

Tabla 27.

Concentración de PAS según flujo vehicular por estaciones de biomonitoreo y periodo de monitoreo

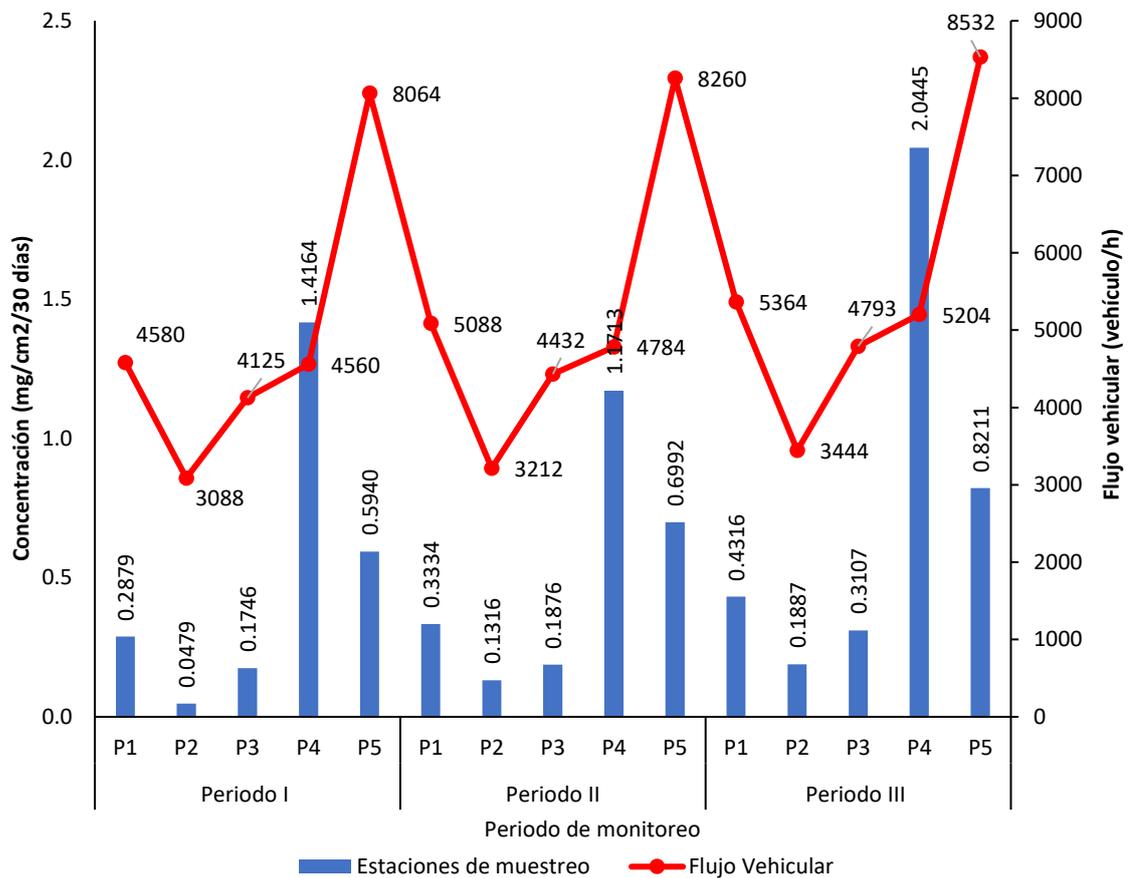
Periodo de monitoreo	Estaciones	Flujo vehicular (vehículo/h)	Concentración de PAS (mg/cm ² /30 días)
I^a	P1	4 580	0.2879
	P2	3 088	0.0479
	P3	4 125	0.1746
	P4	4 560	1.4164
	P5	8 064	0.5940
II^b	P1	5 088	0.3334

	P2	3 212	0.1316
	P3	4 432	0.1876
	P4	4 784	1.1713
	P5	8 260	0.6992
III^c	P1	5 364	0.4316
	P2	3 444	0.1887
	P3	4 793	0.3107
	P4	5 204	2.0445
	P5	8 532	0.8211

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 29.

Concentración de PAS según flujo vehicular por estaciones de biomonitoreo y periodo de monitoreo



Fuente: elaboración propia

4.2.3.2. Concentración de metales pesados en relación al flujo vehicular en el periodo de estudio

En la Tabla 28 y Figura 30 se puede observar que en el periodo I, las partículas atmosféricas sedimentables acumuladas en las hojas de *Ficus benjamina* contiene Hierro en concentraciones de 214.86 ppm, Manganeso 4.64 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio 4.64 ppm, presentándose un flujo vehicular de 4 580 vehículo/h en la estación “P1”. En cuanto a la estación “P2” se tuvo una mayor concentración de Hierro 238.49 ppm, mientras que, menor concentración en los metales pesados; Manganeso <0.03 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 ppm con un flujo vehicular de 3 088 vehículo/h. Para la estación “P3” la concentración de Hierro disminuyó a 187.52 ppm, además de Manganeso 0.58 ppm, Plomo <0.3 y Cadmio 0.58 ppm presentándose un flujo vehicular de 4 125 vehículo/h. Para el “P4” se presentó una baja concentración de Hierro 117.22 ppm, además de Manganeso <0.03 ppm, Plomo <0.3 ppm, Cadmio <0.012 ppm presentándose un flujo vehicular de 4 560 vehículo/h. Y finalmente en el “P5” tuvo un leve incremento en la concentración de Hierro 166.06 ppm y concentraciones de Manganeso 1.93 ppm, Plomo <0.3 ppm, Cadmio 1.93 ppm con un flujo vehicular 8 064 vehículo/h.

Para el periodo II, las partículas atmosféricas sedimentables acumuladas en las hojas de *Ficus benjamina*; presentaron concentración las cuales se detallan a continuación; en la estación “P1” las concentraciones de Hierro 200.72 ppm, Manganeso 24.27 ppm, Plomo <0.3 y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular de 5 088 vehículo/h. En la estación “P2” se presentó concentraciones de Hierro 146.31 ppm, Manganeso 24.76 ppm,

Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular de 3 212 vehículo/h. Mientras que, en la estación “P3” se presentó una menor concentración de Hierro 134.31 ppm y concentraciones de Manganeso 15.58 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 ppm con un flujo vehicular de 4 432 vehículo/h. Por otro lado, en la estación “P4” se incrementó la concentración de Hierro 276.33 ppm y concentraciones de Manganeso 14.12 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular 4 784 vehículo/h. y Finalmente en la estación “P5” se presentaron concentraciones de Hierro de 187.55 ppm, un incremento en la concentración de Manganeso de 48.64 ppm, así como, concentraciones de Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 ppm con un flujo vehicular de 8 260 vehículo/h.

Para el periodo III, las partículas atmosféricas sedimentables acumuladas en las hojas de Ficus benjamina; presentaron concentración las cuales se detallan a continuación; en la estación “P1” las concentraciones de Hierro 172.18 ppm, Manganeso 3.26 ppm, Plomo <0.3 y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular de 5 364 vehículo/h. En la estación “P2” se presentó la menor concentraciones de Hierro 136.96 ppm, Manganeso 14.95 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular de 3 444 vehículo/h. Mientras que, en la estación “P3” se presentó una concentración de Hierro 207.53 ppm y concentraciones de Manganeso 8.33 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 ppm con un flujo vehicular de 4 793 vehículo/h. Por otro lado, en la estación “P4” se incrementó la concentración de Hierro 272.75 ppm y concentraciones de Manganeso 2.36 ppm, Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 con un flujo vehicular 5 204 vehículo/h. y Finalmente en la estación “P5” se presentaron concentraciones de Hierro de 254.89 ppm, un

incremento en la concentración de Manganeso de 42.93 ppm, así como, concentraciones de Plomo <0.3 ppm y Cadmio <0.012 ppm con un flujo vehicular de 8 532 vehículo/h.

Tabla 28.

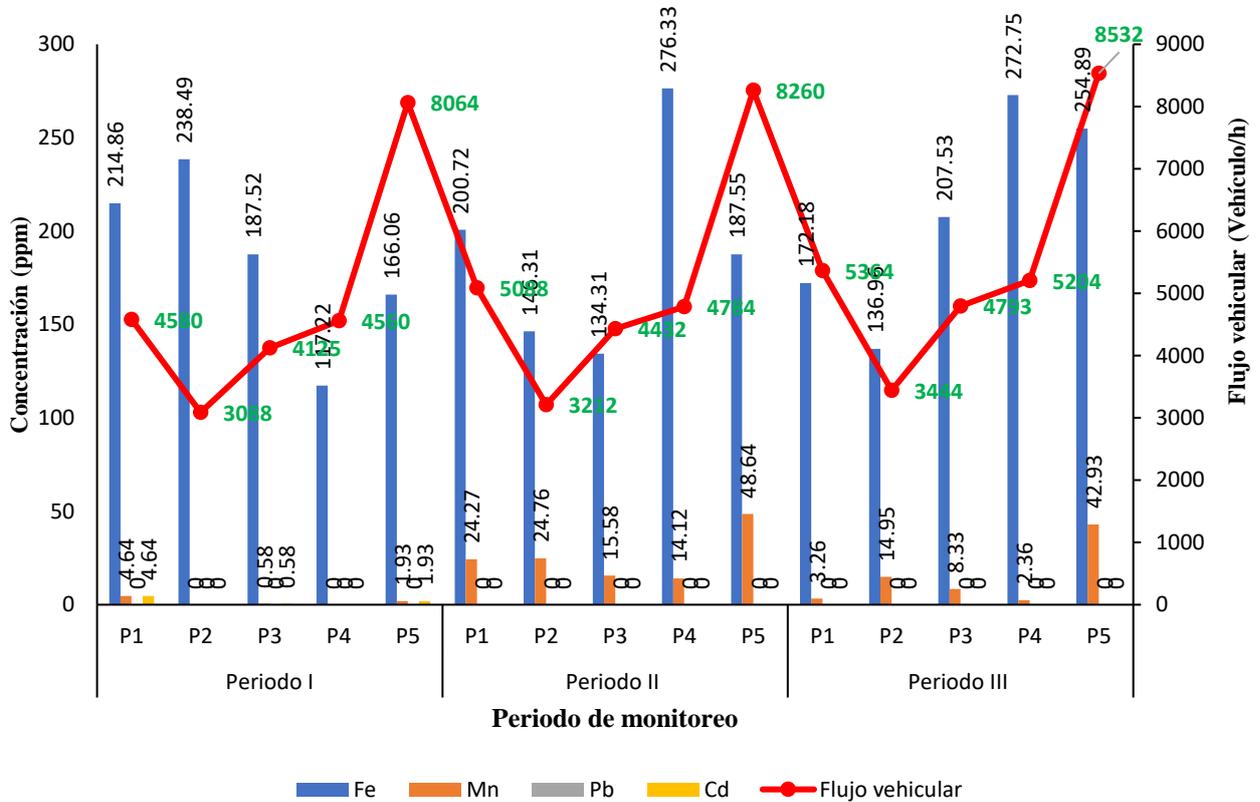
Concentración de metales pesados según flujo vehicular, estaciones de biomonitoreo y periodos de monitoreo

Periodo de monitoreo	Estaciones de biomonitoreo	Flujo vehicular (vehículo/h)	Concentración de metales pesados (ppm)			
			Fe	Mn	Pb	Cd
I^a	P1	4 580	214.86	4.64	<0.3	4.64
	P2	3 088	238.49	<0.03	<0.3	<0.012
	P3	4 125	187.52	0.58	<0.3	0.58
	P4	4 560	117.22	<0.03	<0.3	<0.012
	P5	8 064	166.06	1.93	<0.3	1.93
II^b	P1	5 088	200.72	24.27	<0.3	<0.012
	P2	3 212	146.31	24.76	<0.3	<0.012
	P3	4 432	134.31	15.58	<0.3	<0.012
	P4	4 784	276.33	14.12	<0.3	<0.012
	P5	8 260	187.55	48.64	<0.3	<0.012
III^c	P1	5 364	172.18	3.26	<0.3	<0.012
	P2	3 444	136.96	14.95	<0.3	<0.012
	P3	4 793	207.53	8.33	<0.3	<0.012
	P4	5 204	272.75	2.36	<0.3	<0.012
	P5	8 532	254.89	42.93	<0.3	<0.012

Nota: **a.** (15/01/2023 al 13/02/2023) **b.** (14/02/2023 al 15/03/2023) **c.** (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Figura 30.

Concentración de metales pesados según flujo vehicular, estaciones de biomonitoreo y periodos de monitoreo



Fuente: elaboración propia

4.3. Prueba de Hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis se empleó el análisis de varianza (ANOVA).

4.3.1. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación al tiempo y zonas de muestreo.

4.3.1.1. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación al tiempo

- **Formulación de hipótesis:**

H₀: La concentración de partículas atmosféricas sedimentables generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación al tiempo.

H₁: La concentración de partículas atmosféricas sedimentables generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo.

4.3.1.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en relación a las zonas de muestreo

- Formulación de hipótesis:

H₀: La concentración de partículas atmosféricas sedimentables generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

H₁: La concentración de partículas atmosféricas sedimentables generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

Cálculo del estadístico de prueba

Como se observa en la Tabla 29 hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de los tres periodos de monitoreo en relación a la concentración de PAS presentan una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 29.*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk de la concentración de PAS en relación al tiempo*

Variable	Periodos de monitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (mg/cm ² /mes)	I ^a	0.849	5	0.190
	II ^b	0.883	5	0.323
	III ^c	0.804	5	0.087

Nota: **a.** (15/01/2023 al 13/02/2023) **b.** (14/02/2023 al 15/03/2023) **c.** (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 30 de igual forma hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de las estaciones de biomonitoreo en relación a la concentración de PAS presentan una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 30.*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de la concentración de PAS en relación a las estaciones de biomonitoreo*

Variable	Estaciones de biomonitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (mg/cm ² /mes)	Punto 1	0.957	3	0.602
	Punto 2	0.988	3	0.793
	Punto 3	0.821	3	0.165
	Punto 4	0.940	3	0.526
	Punto 5	0.998	3	0.919

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 31 el valor estadístico de contraste de periodo de monitoreo es de 3.508 que corresponde a un P-valor de 0.081, lo cual es mayor $P > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula y afirmamos que la concentración de partículas atmosféricas sedimentables generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación al periodo de muestreo.

Mientras que el valor estadístico de las estaciones de biomonitoreo es de 32.373 que corresponde a un P-valor <0.001 que es menor $P < 0.05$, lo cual señala la existencia de una diferencia estadística significativa fuerte, por lo que se rechaza la hipótesis nula y afirmamos que existe variación en la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en relación a las estaciones de biomonitoreo, con lo cual se determina que los valores de concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el distrito de Chanchamayo, presentan variaciones según las estaciones de biomonitoreo, esto debido a que cada lugar evaluado presenta diferentes características socioambientales como se observa en la Tabla 16, tales como flujo vehicular, calles sin pavimentar, presencia de industrias, áreas con presencia de vegetación, comercio, etc. Por otro lado, se aprecia el valor de “R” cuadrado que es de 0.945 el cual nos indica que el modelo expresa el 94.5% de la variabilidad de los datos.

Al resultar significativa la diferencia se procede a realizar el análisis post hoc utilizando el test de Duncan, el cual compara medias para verificar diferencias específicas como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 31.

Prueba de ANOVA para la concentración de PAS en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4.215 ^a	6	0.702	22.751	<0.001
Intersección	5.210	1	5.210	168.762	<0.001
Periodo de monitoreo	0.217	2	0.108	3.508	0.081
Estaciones de biomonitoreo	3.998	4	0.999	32.373	<0.001
Error	0.247	8	0.031		

Total	9.672	15	
Total corregido	4.461	14	

Nota: **a.** R al cuadrado = 0.945 (R al cuadrado ajustada = 0.903). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 32, se muestra que los resultados del análisis post hoc utilizando el test de Duncan, se verifica que las estaciones de biomonitorio 1, 2 y 3 del distrito de Chanchamayo presentan una contaminación de partículas atmosféricas sedimentables estadísticamente similares, mientras que los puntos 4 y 5 presentan una media mayor a los tres puntos citados. De los resultados se afirma que en los puntos 4 y 5 presentan mayor contaminación, que se atribuye a las características socioambientales principalmente del flujo vehicular, construcción y vías sin pavimentar que provocan la suspensión y resuspensión de partículas que luego se sedimentan nuevamente formando un ciclo continuo.

Tabla 32.

Test de Duncan para concentración de PAS respecto a las estaciones de biomonitorio

Estaciones de biomonitorio	N	Subconjunto		
		1	2	3
Punto 2	3	0.122733		
Punto 3	3	0.224300		
Punto 1	3	0.350967		
Punto 5	3		0.704767	
Punto 4	3			1.544067
Sig.		0.166	1.000	1.000

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo y zonas de muestreo

4.3.2.1. Concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo

- Formulación de hipótesis:

H₀: La concentración de Hierro (Fe) generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación al tiempo.

H₁: La concentración de Hierro (Fe) generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo.

4.3.2.2. Concentración de Hierro (Fe) en relación a las zonas de muestreo

- Formulación de hipótesis:

H₀: La concentración de Hierro (Fe) generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

H₁: La concentración de Hierro (Fe) generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

Cálculo del estadístico de prueba

En la Tabla 33 se observa la prueba de normalidad de la concentración de Hierro en relación al tiempo, para ello hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de los tres periodos de monitoreo en relación a la concentración de Hierro presentan una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 33.*Prueba de normalidad de la concentración de Hierro (Fe) en relación al tiempo*

	Periodos de monitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de Hierro (ppm)	I ^a	0.980	5	0.932
	II ^b	0.919	5	0.524
	III ^c	0.955	5	0.774

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 34 se observa la prueba de normalidad de la concentración de Hierro en relación a las estaciones de biomonitoreo, para ello hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de las cinco estaciones de biomonitoreo en relación a la concentración de PAS presentan una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, nos quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 34.*Prueba de normalidad de la concentración de Hierro (Fe) en relación a las estaciones de biomonitoreo*

Variable	Estaciones de biomonitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de Hierro (ppm)	Punto 1	0.963	3	0.633
	Punto 2	0.818	3	0.159
	Punto 3	0.936	3	0.511
	Punto 4	0.767	3	0.088
	Punto 5	0.918	3	0.447

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 35 el valor estadístico de contraste de periodo de monitoreo es de $F = 0.225$ que corresponde a un P-valor de 0.803, lo cual es mayor a nuestro $P > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula y se afirma

que la concentración de Hierro generado en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación al periodo de muestreo (tiempo).

Mientras que el valor estadístico de las estaciones de biomonitoreo es de $F= 0.324$ que corresponde a un P-valor de 0.854 que es mayor a nuestro $P>0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula y se afirma que no existe variación en la concentración de Hierro en relación a las estaciones de biomonitoreo.

Por otro lado, se aprecia el valor de “R” cuadrado que es de 0.179 el cual nos indica que los datos presentan una baja variabilidad que se expresa en un 17.9%, lo cual se comprueba realizando el análisis post hoc utilizando el test de Duncan.

Tabla 35.

Prueba de ANOVA para la concentración de Hierro en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6393.092 ^a	6	1065.515	0.291	0.925
Intersección	565968.743	1	565968.743	154.729	<0.001
Periodo de monitoreo	1646.747	2	823.373	0.225	0.803
Estaciones de biomonitoreo	4746.345	4	1186.586	0.324	0.854
Error	29262.419	8	3657.802		
Total	601624.254	15			
Total corregido	35655.511	14			

Nota: a. R al cuadrado = 0.179 (R al cuadrado ajustada = -.436). Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 36, se observa que los resultados del análisis post hoc utilizando test de Duncan, fueron agrupados en un solo subconjunto, lo que quiere decir que se produjeron concentraciones de hierro estadísticamente similares en los tres periodos de monitoreo. Por otro

lado, las medias de los resultados de la concentración de Hierro fueron ordenados de forma ascendente, probablemente debido a la influencia de la precipitación y el aumento progresivo de la temperatura, ya que el estudio se desarrolló en una transición de época lluviosa a seca.

Tabla 36.

Test de Duncan para concentración de Hierro respecto al tiempo

Periodos de monitoreo	N	Subconjunto
		1
I^a	5	184.8300
II^b	5	189.0440
III^c	5	208.8620
Sig.		0.563

Nota: **a.** (15/01/2023 al 13/02/2023) **b.** (14/02/2023 al 15/03/2023) **c.** (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 37, se muestra que los resultados del análisis post hoc utilizando el test de Duncan, se verifica que las estaciones de biomonitoreo 1, 2, 3, 4 y 5 del distrito de Chanchamayo presentan una contaminación de Hierro estadísticamente similares. Además, los resultados de las medias de concentración de Hierro se ordenaron de forma ascendente, debido probablemente a la influencia de las características socioambientales principalmente provenientes del flujo vehicular y vías sin asfaltar que posee cada estación de biomonitoreo.

Tabla 37.

Test de Duncan para concentración de Hierro respecto a las estaciones de biomonitoreo

Estaciones de biomonitoreo	N	Subconjunto
		1
Punto 2	3	173.9200
Punto 3	3	176.4533
Punto 1	3	195.9200
Punto 5	3	202.8333

Punto 4	3	222.1000
Sig.		0.387

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Concentración de Manganeso (Mn) en relación al tiempo y zonas de muestreo

4.3.3.1. Concentración de Manganeso (Mn) en relación al tiempo

- **Formulación de hipótesis:**

H₀: La concentración de Manganeso (Mn) generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación al tiempo.

H₁: La concentración de Manganeso (Mn) generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo.

4.3.3.2. Concentración de Manganeso (Mn) en relación a las zonas de muestreo

- **Formulación de hipótesis:**

H₀: La concentración de Manganeso (Mn) generados en las principales vías de tránsito vehicular no varía en relación a las estaciones de biomonitorio.

H₁: La concentración de Manganeso (Mn) generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación a las estaciones de biomonitorio.

Cálculo del estadístico de prueba

En la Tabla 38 se observa la prueba de normalidad de la concentración Manganeso en relación al tiempo, para ello hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de los tres periodos de monitoreo en relación a la

concentración de Manganeso presentan una significación mayor $P > 0.05$, por lo tanto, nos quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y podemos usar el ANOVA.

Tabla 38.

Prueba de normalidad de la concentración de Manganeso (Mn) en relación al tiempo

Variable	Periodos de monitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de Manganeso	I ^a	0.817	5	0.110
	II ^b	0.827	5	0.132
	III ^c	0.792	5	0.070

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 39 se observa la prueba de normalidad de la concentración Manganeso en relación a las estaciones de biomonitoreo, para ello hemos utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de las cinco estaciones de biomonitoreo en relación a la concentración de Manganeso presentan una significación mayor $P > 0.05$, por lo tanto, nos quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y podemos usar el ANOVA.

Tabla 39.

Prueba de normalidad de la concentración de Manganeso (Mn) en relación a las estaciones de biomonitoreo

Variable	Estaciones de biomonitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de Manganeso	Punto 1	0.799	3	0.112
	Punto 2	0.986	3	0.773
	Punto 3	1.000	3	0.963
	Punto 4	0.870	3	0.296
	Punto 5	0.840	3	0.214

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 40 el valor estadístico de contraste de periodo de monitoreo es de $F= 8.703$ que corresponde a un P-valor de 0.010, lo cual es menor a nuestro $P<0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se afirma que la concentración de Manganeso generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo, esto quiere decir que los valores de concentración de Manganeso en el distrito de Chanchamayo, presentan variaciones según el periodo de monitoreo. Al resultar significativa la diferencia se procede a realizar el análisis post hoc utilizando el test de Duncan, el cual compara medias para verificar diferencias específicas como se muestra en la Tabla 41.

Mientras que el valor estadístico de contraste de estaciones de biomonitoreo es de 3.718 que corresponde a un P-valor de 0.054, lo cual es mayor a nuestro $P>0.05$, por lo que aceptamos la hipótesis nula y afirmamos que no existe variación en la concentración de Manganeso en relación a las estaciones de biomonitoreo.

Por otro lado, se observa el valor de “R” cuadrado que es de 0.801 el cual nos indica que los datos presentan una variabilidad que se expresa en un 80.1%, lo cual se comprueba realizando el análisis post hoc utilizando el test de Duncan.

Tabla 40.

Prueba de ANOVA para la concentración de Manganeso en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2682.507 ^a	6	447.085	5.380	0.017
Intersección	2840.339	1	2840.339	34.176	<.001
Periodo de monitoreo	1446.591	2	723.295	8.703	0.010
Estaciones de biomonitoreo	1235.916	4	308.979	3.718	0.054
Error	664.871	8	83.109		
Total	6187.717	15			
Total corregido	3347.378	14			

Nota: a. R al cuadrado = 0.801 (R al cuadrado ajustada = 0.652). Fuente: elaboración propia

En la Tabla 41 se observa los resultados del análisis post hoc utilizando el test de Duncan, donde se verifican que el Periodo I y III presentan una concentración de manganeso estadísticamente similares, mientras que, de igual forma el Periodo III y II son similares estadísticamente; además de ser significativamente mayores a la concentración procedente del Periodo I. Por otro lado, el Periodo II presentan mayor concentración de Manganeso.

Tabla 41.

Test de Duncan para concentración de Manganeso respecto al tiempo

Periodos de monitoreo	N	Subconjunto	
		1	2
I^a	5	1.4420	
III^c	5	14.3660	14.3660
II^b	5		25.4740
Sig.		0.055	0.090

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Flujo vehicular en relación al tiempo y zonas de muestreo

4.3.4.1. Flujo vehicular en relación al tiempo

- **Formulación de hipótesis:**

H₀: El flujo vehicular generado en las principales vías no varía en relación al tiempo.

H₁: El flujo vehicular generado en las principales vías varía en relación al tiempo.

4.3.4.2. Flujo vehicular en relación a las zonas de muestreo

- **Formulación de hipótesis:**

H₀: El flujo vehicular generado en las principales vías no varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

H₁: El flujo vehicular generado en las principales vías varía en relación a las estaciones de biomonitoreo.

Cálculo del estadístico de prueba

En la Tabla 42 se observa la prueba de normalidad del flujo vehicular en relación al tiempo, para ello se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de los tres periodos de monitoreo en relación al flujo vehicular presentaron una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 42.*Prueba de normalidad del flujo vehicular en relación al tiempo*

Variable	Periodo de monitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Fujo vehicular (vehículo/h)	I ^a	0.827	5	0.133
	II ^b	0.877	5	0.294
	III ^c	0.883	5	0.325

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 43 se observa la prueba de normalidad del flujo vehicular en relación a las estaciones de biomonitoreo, para ello se ha utilizado la prueba de Shapiro-Wilk dado que las muestras son menores a 50. Además, los resultados de las cinco estaciones de biomonitoreo en relación al flujo vehicular presentan una significación de $P > 0.05$, por lo tanto, quiere decir que los datos provienen de una distribución normal y se puede usar el ANOVA.

Tabla 43.*Prueba de normalidad del flujo vehicular en relación a las estaciones de biomonitoreo*

Variable	Estaciones de biomonitoreo	Estadístico	gl	Sig.
Fujo vehicular (vehículo/h)	Punto 1	0.972	3	0.677
	Punto 2	0.970	3	0.669
	Punto 3	0.998	3	0.911
	Punto 4	0.970	3	0.668
	Punto 5	0.991	3	0.821

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 44 el valor estadístico de los periodos de monitoreo es de 45.273 que corresponde a un P-valor inferior a < 0.001 que es menor a un $P < 0.05$, lo cual señala la existencia de una diferencia estadística significativa fuerte, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se afirma que

el flujo vehicular generado en las principales vías varía en relación al tiempo.

Mientras que el valor estadístico de las estaciones de biomonitoreo es de $F= 1116.920$ que corresponde a un P-valor inferior a <0.001 que es menor a un $P<0.05$, posee un nivel de significancia alto, por lo que se rechaza la hipótesis nula y afirmamos que existe variación en el flujo vehicular en relación a los lugares evaluados.

Con lo cual se determina que los valores del flujo vehicular en el distrito de Chanchamayo, presentan variaciones según el periodo de monitoreo y estaciones de biomonitoreo, esto nos indica que probablemente la principal fuente de contaminación por partículas atmosféricas sedimentables proviene del flujo vehicular que transitan por las principales vías del distrito. Por otro lado, se aprecia el valor de “R” cuadrado que es de 0.998 el cual nos indica que el modelo expresa el 99.8% de la variabilidad de los datos.

Al resultar significativa la diferencia se procede a realizar el análisis post hoc utilizando el test de Duncan, el cual compara medias para verificar diferencias específicas como se muestra en la Tabla 45.

Tabla 44.*Prueba de ANOVA para el flujo vehicular en relación al tiempo y estaciones de biomonitoreo*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	42991973.467 ^a	6	7165328.911	759.704	<0.001
Intersección	400726726.667	1	400726726.667	42487.071	<0.001
Periodo de monitoreo	854000.133	2	427000.067	45.273	<0.001
Estaciones de biomonitoreo	42137973.333	4	10534493.333	1116.920	<0.001
Error	75453.867	8	9431.733		
Total	443794154.000	15			
Total corregido	43067427.333	14			

Nota: a. R al cuadrado = 0.998 (R al cuadrado ajustada = 0.997). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 45 se observa los resultados de la prueba post hoc de Duncan, donde se verifican que el periodo I, II y III presentan flujo vehicular estadísticamente diferentes, esto nos quiere decir que en los tres periodos de monitoreo se presentaron flujos vehicular diferentes. Por otro lado, el periodo III presentó mayor flujo vehicular, mientras que el periodo I presentó menor flujo vehicular, tales datos tienen relación directa con la concentración de partículas atmosféricas sedimentables durante el periodo de estudio.

Tabla 45.*Test de Duncan para el flujo vehicular respecto al tiempo*

Periodos de monitoreo	N	Subconjunto		
		1	2	3
I^a	5	4883.40		
II^b	5		5155.20	
III^c	5			5467.40
Sig.		1.000	1.000	1.000

Nota: a. (15/01/2023 al 13/02/2023) b. (14/02/2023 al 15/03/2023) c. (16/03/2023 al 14/04/2023). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 46, se muestra que los resultados de la prueba post hoc de Duncan, se verifica que en las estaciones de biomonitoreo 1 y 4 del distrito de Chanchamayo presentan un flujo vehicular estadísticamente similares, mientras que los puntos 2, 3 y 5 presentan una media estadísticamente diferente. De los resultados se afirma que en el punto 5 presentan mayor flujo vehicular, mientras que el punto 2 presenta menor flujo vehicular. Dichos resultados están relacionados directamente con la concentración de partículas atmosféricas sedimentables de cada lugar evaluado.

Tabla 46.

Test de Duncan para flujo vehicular respecto a las estaciones de biomonitoreo

Estaciones de biomonitoreo	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Punto 2	3	3248.00			
Punto 3	3		4450.00		
Punto 4	3			4849.33	
Punto 1	3			5010.67	
Punto 5	3				8285.33
Sig.		1.000	1.000	0.076	1.000

Fuente: elaboración propia.

4.4. Discusión de resultados

A partir de los resultados hallados, se acepta la hipótesis general que indica que la concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y metales pesados varía en relación al tiempo, zonas de muestreo y flujo vehicular. Teniendo como promedio de partículas atmosféricas relacionados al tiempo las siguientes concentraciones; en el periodo I (del 15/01/2023 al 13/02/2023) 0.5041 mg/cm²/30

días, periodo II (del 14/02/2023 al 15/03/2023) 0.5046 mg/cm²/30 días y periodo III (del 16/03/2023 al 14/04/2023) 0.7593 mg/cm²/30 días. Resultados que según lo detallado por Marcos et. al (2008) superan los límites máximos permisibles para partículas atmosféricas sedimentables establecidos por la OMS de un valor de 0.5 mg/cm²/30 días. Además de existir una influencia directa de los parámetros meteorológicos en la concentración de PAS, tales como la precipitación, temperatura y, velocidad y dirección del viento. En cuanto al primero se registraron mayor precipitación en el periodo I con una concentración de 0.5041 mg/cm²/30 días; y una menor precipitación en el periodo III con una concentración de 0.7593 mg/cm²/30 días; lo que concuerda con lo mencionado en los trabajos de investigación de (Lozano, 2013; Jorge, 2016; Martínez, 2017; Quiroz, 2019; Condoy & Minga, 2021) que a medida que la precipitación se incrementa, disminuirá la concentración de PAS, debido a que la precipitación cumple la función de lavar la atmósfera precipitando las partículas contaminantes que se encuentran en la atmósfera hacia el suelo y así disminuir las concentraciones (Barrios, 2007). En cuanto a la temperatura se registró una mayor concentración de PAS en el periodo III con una temperatura promedio de 29.84 °C, mientras que una menor concentración de PAS en el periodo I con una temperatura promedio de 29.24 °C, lo que nos quiere decir que a medida que la temperatura aumenta, también aumenta la concentración de PAS, estos resultados difieren con lo mencionado por Barrios (2007) y Chávez (2018) los cuales afirman que las altas temperaturas favorecen en la dispersión de concentración de PAS, disminuyéndolas. En cuanto al parámetro meteorológico de dirección y velocidad de viento, se registró una mayor concentración de PAS en el periodo III con una velocidad de viento de 1.74 m/s y una dirección predominante de Nor-oeste (NW),

mientras que se presentó una menor concentración de PAS en el periodo I con una velocidad de viento de 2.38 m/s y una dirección de viento predominante de Noroeste (NW). Esto puede explicar la concentración de PAS, debido a que se produjeron velocidades débiles de viento, además de presentarse vientos calmos con una ocurrencia del 67.04%, lo que significa que más de la mitad del tiempo se presentaron velocidades de viento menores a 1 km/h. Estos datos concuerdan con lo mencionado por Barrios (2007) y Chávez (2018) que afirman que la relación entre velocidad y dirección de viento es inversamente proporcional a la concentración de PAS, mientras que la velocidad del viento sea mayor, menor será la concentración de PAS.

En relación a las estaciones de biomonitoreo, los promedios de la concentración de PAS fueron influenciados por las características socioambientales del área de estudio. La estación P4 – Avenida Aguirrezabal (Terminal Molina) se presentó una concentración de 1.5441 mg/cm²/30 días es la estación con mayor concentración de PAS, con presencia de vía pavimentada de uso comercial, presencia ferreterías y de un terminal de buses interprovincial, se encuentra muy próximo a una vía de alto flujo vehicular de tránsito de vehículos livianos y pesados como es la carretera Central. Asimismo, es importante mencionar que durante el periodo de monitoreo se estuvo realizando la demolición y construcción de un centro comercial muy próxima a la estación de monitoreo. En segundo lugar, está la estación P5 – Prolongación Tarma (Altura de la RENIEC), que presentó una concentración de 0.7048 mg/cm²/30 días; que presenta una vía pavimentada con presencia de comercios como ferreterías, restaurantes, librerías y/o fotocopiadoras, a su vez de la presencia de paraderos clandestinos, además de presentar un alto flujo vehicular de tránsito de vehículos livianos debido, a que la vía es una de las

principales arterias de salida del distrito de Chanchamayo; que pueden ser una de las causas importante de contaminación antropogénica. En tercer lugar, está la estación P1 - Avenida Castilla (repartición Quebrada “Santa Rosa”) que arrojó una concentración de 0.3509 mg/cm²/30 días, que presenta vía pavimentada con presencia de calles aledañas sin pavimentar, de alto flujo vehicular de vehículos livianos y pesados debido a que es una vía nacional, sin presencia de comercios. En cuarto lugar, está la estación P3 – Avenida Circunvalación (I.E. Capelito) que tuvo una concentración de 0.2243 mg/cm²/30días; presenta vía pavimentada con presencia de comercios, instituciones públicas, jardines de niños, escuelas, colegios y viviendas familiares, presencia de alto flujo vehicular de tránsito de vehículos livianos. Por último, la estación con menor concentración de PAS es la estación P2 – Avenida Los Pioneros (Parque Bolognesi) que tuvo una concentración de 0.1227 mg/cm²/30 días; que presenta vías pavimentadas con presencia pocos comercios en su mayoría son viviendas familiares, consta de algunas instituciones públicas y presenta un bajo flujo vehicular. Los resultados muestran concordancia con lo mencionado por (Alcalá-Jáuregui et al., 2010; Chávez, 2018; Condoy & Minga, 2021; Lozano, 2013; Quiroz, 2019) indicando que los factores que más influyen en la concentración de PAS son el flujo vehicular y las características socioambientales (presencia de comercio, industrias, vías sin pavimentar, uso del suelo, etc.) del lugar de monitoreo. Además, de las actividades de demolición y construcción que son importantes fuentes de contaminación de PAS que puede afectar gravemente la salud de las personas que viven cercanas a las fuentes de emisión (Barrios, 2007).

En cuanto a la concentración de metales pesados se tuvo una alta concentración en todas las estaciones de biomonitoreo el Hierro (Fe), presentando

la mayor y menor concentración en la estación P4 – Avenida Aguirrezabal (Terminal Molina) con un valor de 276.33 ppm y 117.22 ppm durante el periodo II y I respectivamente, que probablemente la concentración de Hierro (Fe) provenga del alto tráfico vehicular producido por abrasión de las partes del vehículo como los neumáticos en contacto con el suelo y al accionar el freno; a su vez de la utilización de combustible diésel y actividades metalúrgicas; así mismo, el Hierro tiene origen geogénico, que nos quiere decir que forma parte del suelo (Kończak et al., 2021; Santillán et al., 2021). Lo referido por los autores tiene relación con lo que pasa en la estación, debido a la existencia de un terminal interprovincial donde los buses generan abrasión de sus neumáticos con el suelo al realizar sus maniobras dentro del establecimiento, además de utilizar como combustible el diésel. Asimismo, la concentración se ve influenciado por la demolición y construcción de un centro comercial próximos a la estación de monitoreo. Por otro lado, las altas concentraciones de Hierro (Fe) encontrados en la totalidad de los sitios evaluados, coinciden con el estudio desarrollado por Merino (2017), en el cual identifiqué al Hierro (Fe) como el metal con más presencia en las partículas atmosféricas sedimentables; además de encontrar Manganeso, Plomo y Cadmio.

Por otro lado, la concentración Manganeso (Mn) presentando una mayor concentración en la estación P5 – Prolongación Tarma (Altura de la RENIEC) con un valor de 48.64 ppm y una menor concentración en la estación P4 – Avenida Aguirrezabal en el periodo I y en la estación P2 – Avenida Los Pioneros en el periodo I ambos presentaron un valor que fue inferior al límite de detección del espectrofotómetro de absorción atómica el cual arrojó un valor de <0.03 ppm; con lo cual probablemente la concentración de Manganeso (Mn) provenga del suelo, debido que forma parte de ello, que por acción del flujo vehicular y del viento

resuspenden las partículas (Rojano et al., 2014). Por otro lado, en relación a la concentración de Plomo (Pb) que presentó una concentración inferior al límite de detección del espectrofotómetro de absorción atómica, el cual tuvo un valor de <0.3 ppm, principalmente las concentraciones de plomo tienen relación con el flujo vehicular, debido que los vehículos utilizaban gasolina con plomo pese a estar prohibido, no obstante, se cree que aún quedan residuos de plomo en el asfaltado de las vías, pero en mínimas concentraciones (Kończak et al., 2021). En referencia a lo mencionado por el autor, es probable que aun siga existiendo concentraciones mínimas de plomo en el asfaltado de las vías del distrito de Chanchamayo, que pueden repercutir en la salud de los vecinos que viven próximos a las vialidades. Por último, en relación al Cadmio (Cd) tuvo una mayor concentración en la estación P1 - Avenida Castilla (repartición Quebrada “Santa Rosa”) con un valor de 4.64 ppm en el periodo I y una menor concentración en las estaciones P2 – Avenida Los Pioneros, P3 – Circunvalación, P4 – Avenida Aguirrezabal y P5 – Prolongación Tarma presentando un valor que fue inferior al límite de detección del espectrofotómetro de absorción atómica el cual arrojó un valor de <0.012 ppm en todos los periodos. Con ello, exista la probabilidad que la concentración de Cadmio (Cd) provenga del suelo y que es resuspendido por acción del viento y del flujo vehicular (Rojano et al., 2014). Concluyendo que las principales fuentes de contaminación de metales pesados son el flujo vehicular que presenta un radio de dispersión de contaminantes mucho menor que las partículas producidas por las industrias, debido a que las emisiones se producen en alturas mediante chimeneas, mientras que las partículas de origen vehicular producen emisiones a poca distancia de la superficie (Santillán et al., 2021). Por otro lado, hoy en día no se cuenta con ninguna normativa referente a los límites máximos permisibles para metales

pesados, a excepción del plomo, pero en esta investigación los resultados de los análisis estuvieron por debajo de los límites de detección en todo el periodo de monitoreo.

CONCLUSIONES

En función a los objetivos planteados se concluye que:

- La concentración de partículas atmosférica sedimentable respecto al tiempo no presento variación, dado que estadísticamente no se presentaron significancia en las concentraciones.
- La concentración de Hierro (**Fe**) no presentó variación respecto al tiempo y zonas de muestreo, presentando concentraciones estadísticamente similar durante los periodos de monitoreo y estaciones de biomonitoreo. Mientras que la concentración de Manganeseo (**Mn**) si presentó variación respecto al tiempo, más no presentó variación respecto a las zonas de muestreo.
- El flujo vehicular presentó variación respecto al tiempo y zonas de muestreo, esto asociado a los aspectos socioambientales de cada lugar, influyen directamente en la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y concentración de metales pesados.

RECOMENDACIONES

- Realizar biomonitoreos de partículas atmosféricas sedimentables en diferentes estaciones del año con la finalidad de diagnosticar la calidad del aire del distrito de Chanchamayo.
- Evaluar diferentes especies de hojas con estructuras complejas con la finalidad de verificar si la captura es mejor que la obtenida por la especie *Ficus Benjamina*.
- La Municipalidad Provincial de Chanchamayo debería impulsar este tipo de investigaciones, ya que económicamente es viable a fin de tomar decisiones sobre la gestión ambiental debido que las partículas atmosféricas sedimentables retenidas en los folios contienen diversas sustancias como metales pesados, que podría afectar a la salud de la población.
- El gobierno local debe de gestionar planes de arborización urbana, el cual debe ir de la mano con especies que presenten rasgos funcionales que ayuden a mitigar la contaminación del aire en las urbes, sin recurrir al monocultivo y así crear ecosistemas urbanos diversos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2008, December 19). *Actividades humanas*.
<https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-827-5122-8/page011.html>
- Alcalá-Jáuregui, J. A., Rodríguez-Ortiz, A., Hernández-Montoya, A., & Tapia-Goné, J. J. (2010). Potencial de retención de polvo atmosférico en tres especies vegetativas del ecosistema semiárido, San Luis Potosí, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(2), 93–99.
<https://acortar.link/6AJgxJ>
- Angulo, C. (2018). *Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arborea Ficus Benjamina en el Parque zonal “Mayta Capac”, San Martín de Porres*. <https://acortar.link/8aECP4>
- Anze, R., Franken, M., Zaballa, M., Pinto, M. R., Zeballos, G., Cuadros, M. D. L. Á., Canseco, A., De la Rocha, A., Estellano, V. H., & Del Granado, S. (2007a). Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual REDESMA*, 1(1), 53–74. <https://acortar.link/4JaHHL>
- Aponte, C. (2017). *Evaluación de la retención de material atmosférico en suspensión por el arbolado de un corredor vial de la localidad de Kennedy (Bogota D.C)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Appleton, B., Koci, J., & Harris, R. (2020). Air Pollution. In *Virginia Cooperative Extension* (p. 3). <https://acortar.link/4P82dY>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, 34, 195–213. <https://acortar.link/gx6aNa>
- Ashhad, T., Cabrera, F., & Roa, O. (2020). Análisis del congestionamiento vehicular

para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica*, 21(2), 4–23. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960>

Barrios, O. (2007). *Contaminación del ambiente por material particulado generado en las obras civiles* [Universidad de Sucre]. <https://acortar.link/xm8Z5U>

BASRA. (2023). *Datos meteorológicos*. [Correo electrónico].

Berg, C. (1989). Classification and distribution of Ficus. *Experientia*, 45(7), 605–611. <https://doi.org/10.1007/BF01975677>

Calduch, R. (2012). *Métodos y técnicas de investigación en relaciones internacionales -Curso de Doctorado*. Universidad Complutense de Madrid. <https://acortar.link/ghagJJ>

Castañeda-Miranda, A. G., Chaparro, M. A. E., Pacheco-Castro, A., Chaparro, M. A. E., & Böhnelt, H. N. (2020). Magnetic biomonitoring of atmospheric dust using tree leaves of Ficus benjamina in Querétaro (México). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(382), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S10661-020-8238-X>

Ceballos, M., Segura, P., Alarcón, E., Gutierrez, E., Garcia, J., Ramos, P., Reaño, M., García, B., Villeta, C., García, M., Aranda, J., Prima, H., Veiras, X., Bárcena, J., Garcia, J., Belmonte, P., Luengo, P., Navascués, E., & Hernández, K. (2018). La contaminación por ozono en el Estado español durante 2018. In *Ecologistas en acción*. <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2018/10/informe-ozono-2018.pdf>

Chávez, P. (2018). *Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona de Huánuco de Agosto a Octubre del 2016* [tesis de pregrado, Universidad

Nacional Agraria de la Selva]. <https://acortar.link/hFewLF>

Condoy, E. E., & Minga, F. S. (2021). *Evaluación del potencial arbóreo para la retención de polvo atmosférico en la zona urbana de la Ciudad de Cuenca* [tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. <https://acortar.link/VLBFTw>

Conover, C., & Poole, R. (1986). Relationships of culture and shipping temperature on interior quality of Ficus Benjamina. *Acta Horticulturae*, 181, 245–250.
<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1986.181.30>

IBM Corp. (2021). *IBM SPSS Statistics* (versión 28.0). <https://acortar.link/tbxDjF>

Cosselman, K., Navas-Acien, A., & Kaufman, J. (2015). Environmental factors in cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 12(11), 627–642.
<https://doi.org/10.1038/nrcardio.2015.152>

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43, 306–310.
<https://acortar.link/1jbYHD>

Dalmasso, A., Candia, R., & Llera, Y. J. (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, 6, 85–91.

EPA. (2000). *Deposition of Air Pollutants to the Great Waters. Third Report to Congress*.

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2078–2087.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2011.01.010>

Fang, G., Chang, C., Chu, C., Wu, Y., Fu, P., Yang, I., & Chen, M. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM2.5 and PM2.5-10

aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung. *Science of The Total Environment*, 308(1–3), 157–166. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00648-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00648-4)

Fang, G., Wu, Y., Chang, S., Rau, J., Huang, S., & Lin, C. (2006). Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site. *Toxicology and Industrial Health*, 22(1), 27–37. <https://doi.org/10.1191/0748233706th241oa>

Grote, R., Samson, R., Alonso, R., Amorim, J. H., Cariñanos, P., Churkina, G., Fares, S., Thiec, D. L., Niinemets, Ü., Mikkelsen, T. N., Paoletti, E., Tiwary, A., & Calfapietra, C. (2016). Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 543–550. <https://doi.org/10.1002/FEE.1426>

Guamán, V., Espinoza, E., Herrera, L., & Herrera, E. (2020). El enfoque filosófico de la investigación social en la formación de los estudiantes de la carrera en Educación Básica. *Revista Conrado*, 16(74), 193–200. <https://acortar.link/nbdwh>

Guarnieri, M., & Balmes, J. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *Lancet*, 383(9928), 1581. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodologías de la investigación* (S. Mendéz & C. Mendoza (eds.); 6th ed.). McGraw-Hill.

Huallaro, J., Laos, H., Gutarra, F., Cabrera, M., & Valderrama, A. (2008). Validación del método de tubos pasivos con filtros colectores para determinar la concentración de material sólido sedimentable en la ciudad Universitaria de San Marcos. *Revista de Investigación CEDIT*, 3, 42–48. <https://acortar.link/5Qzd87>

- Imran, M., Rasool, N., Rizwan, K., Zubair, M., Riaz, M., Zia-Ul-Haq, M., Rana, U., Nafady, A., & Jaafar, H. Z. E. (2014). Chemical composition and Biological studies of *Ficus benjamina*. *Chemistry Central Journal*, 8(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-12/TABLES/7>
- Inche, J. (2004). *Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones* (1° ed). Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM.
<https://acortar.link/Ixj9sE>
- Instituto Geográfico Nacional. (2021). *Infraestructura de datos espaciales*.
<https://www.geoidep.gob.pe/instituto-geografico-nacional>
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2020). *El dióxido de azufre SO₂*.
<https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2>
- Jorge, A. (2016). *Estudio de la contaminación del aire por contaminantes sólidos sedimentables (CSS) utilizando el Método de Placas, en la Ciudad de Huánuco*.
- K, B., P, F.-S., & G, T. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3), 347–360.
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00016-5)
- K, B., P, F.-S., & G, T. (2000a). Effective tree species for local airquality management. *Arboriculture & Urban Forestry*, 26(1), 12–19.
<https://doi.org/10.48044/JAUF.2000.002>
- K, B., P, F.-S., & G, T. (2000b). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal*, 24(2–3), 209–230.
<https://doi.org/10.1080/03071375.2000.9747273>
- Klumpp, A., & Klumpp, G. (2004). *European network for the assessment of air quality*

by the use of bioindicator plants - Final report. <https://acortar.link/62SFZn>

Kończak, B., Cempa, M., Pierzchała, & Deska, M. (2021). Assessment of the ability of roadside vegetation to remove particulate matter from the urban air.

Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987), 268(Pt B), 115465.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115465>

Kretinin, V. M., & Selyanina, Z. M. (2006). Dust retention by tree and shrub leaves and its accumulation in light chestnut soils under forest shelterbelts. *Eurasian Soil*

Science, 39(3), 334–338. <https://doi.org/10.1134/S1064229306030136>

Lorenzo-Cáceres, J. (2003). *Las especies del género Ficus cultivadas en España.*

<http://www.arbolesornamentales.es/>

Lozano, F. R. (2013). *Determinación del grado de partículas atmosféricas*

sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, zona urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012 [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].

<https://acortar.link/W4xdJd>

Luzuriaga, D. M. (2019). *Evaluación del potencial de la vegetación para retención del polvo sedimentable en la zona urbana de la ciudad de Loja* [Universidad

Nacional de Loja]. <https://acortar.link/zV2uR8>

Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2008a). Estudio

comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable

empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad

Universitaria de San Marcos-Lima. *Revista de Investigación CEDIT*, 3, 49–58.

<https://acortar.link/QKgnPJ>

Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2008b). Estudio

comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad Universitaria de San Marcos-Lima. *Revista de Investigación CEDIT*, 3, 49–58. <https://acortar.link/QKgnPJ>

Martínez, A. (2017). *Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México*. <https://acortar.link/Pbtzbi>

Matus, P., & Oyarzún, M. (2019). Impacto del Material Particulado aéreo (MP_{2,5}) sobre las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños: estudio caso-control alterno. *Revista Chilena de Pediatría*, 90(2), 166–174. <https://doi.org/10.32641/ANDESPEDIATR.V90I2.750>

Merino, K. (2017). *Retención de polvo atmosférico sedimentable en las especies Ficus benjamina y Schinus terebinthifolius en las zonas residencia y comercial de la Avenida Brasil-Pueblo Libre 2017* [Universidad César Vallejo]. <https://acortar.link/htbV8c>

Ministerio del Ambiente. (2022). *Calidad de aire*. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/calidad-de-aire/>

Morales, L., & Varón, T. (2013). *Arboretum y Palmetum, Guía de identificación*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Mortensen, L., & Larsen, G. (1989). Effects of temperature on growth of six foliage plants. *Scientia Horticulturae*, 39(2), 149–159. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(89\)90087-3](https://doi.org/10.1016/0304-4238(89)90087-3)

National geographic. (2011). *La Meteorología*. <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/la-meteorologia>

- Navarro, S. (2008). *Análisis del flujo vehicular* .
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/analisis-de-flujo-vehicular-cal-y-mayor.pdf>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395–402. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2013.03.050>
- OCDE. (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
<https://acortar.link/nE2P7D>
- OMS. (2021). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. <https://acortar.link/29nR7g>
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1), 16–25. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>
- Pérez-Vidal, H., Lunagómez-Rocha, M., & Acosta-Pérez, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 26(2), 151–162.
<https://doi.org/10.19136/ERA.A26N2.172>
- Pöschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, 44(46), 7520–7540. <https://doi.org/10.1002/ANIE.200501122>
- Quiroz, E. N. (2019). *Comparación de la concentración del polvo atmosférico*

sedimentable de vías pavimentadas respecto a las vías no pavimentadas de la Ciudad de Uchiza, Provincia de Tocache y Departamento de San Martín en el periodo de Octubre a Diciembre del 2018 [tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. <https://acortar.link/0s3Qf0>

Radulescu, C., Stihl, C., Iordache, S., Dunea, D., & Dulama, I. (2017). Characterization of urban atmospheric PM_{2.5} by ATR-FTIR, ICP-MS and SEM-EDS techniques. *Revista de Chimie*, 68(4), 805–810.

<https://doi.org/10.37358/RC.17.4.5557>

Rai, P. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 120–136. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2016.03.012>

Reyes, B., Ruiz, R., Martínez-Cruz, J., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Carvallo, C., & Morales, J. (2012). Ficus benjamina leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56(3), 879–887. <https://doi.org/10.1007/S11200-011-0265-1>

Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, 82, 179–195.

<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>

Rojano, R., Arregoces, H., & Restrepo, G. (2014a). Composición elemental y fuentes de origen de partículas respirables (PM₁₀) y partículas suspendidas totales (PST) en el área urbana de la ciudad de Riohacha, Colombia. *Información Tecnológica*, 25(6), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600002>

Rojano, R., Arregoces, H., & Restrepo, G. (2014b). Composición elemental y fuentes de origen de partículas respirables (PM₁₀) y partículas suspendidas totales

(PST) en el área urbana de la ciudad de Riohacha, Colombia. *Información Tecnológica*, 25(6), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600002>

Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1–14. <https://acortar.link/NFvI8O>

Saavedra, J. D. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://acortar.link/IHf9iY>

Salcido, A., Celada Murillo, A. T., Tamayo Flores, G. A., Hernández Flores, N., Carreón Sierra, S., Martínez Flores, M. A., Colín Aguilar, A. L., Solano Olivares, H. A., Salcido Merino, A., & Alberto Gaspar, J. (2019). Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria*, 20(3), 1–9. <https://doi.org/10.22201/CODEIC.16076079E.2019.V20N3.A3>

Santillán, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021a). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinerгия*, 4(2), 111–126. <https://doi.org/10.37135/NS.01.08.07>

Santillán, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021b). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinerгия*, 4(2), 111–126. <https://doi.org/10.37135/NS.01.08.07>

Sborato, D., Sborato, V. M., & Ortega, J. E. (2007). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera*. Encuentro Grupo Editor.

- Silva, J., Rojas, J., Norabuena, M., Molina, C., Toro, R., & Leiva-Guzmán, M. (2017). Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12).
<https://doi.org/10.1007/S10661-017-6327-2>
- Smith, W. H., & Staskawicz, B. J. (1977). Removal of atmospheric particles by leaves and twigs of urban trees: Some preliminary observations and assessment of research needs. *Environmental Management*, 1(4), 317–330.
<https://doi.org/10.1007/BF01865859>
- Supo, J. (2017). Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. In [video]. *Youtube*.
<https://www.youtube.com/watch?v=e-zOqfXN14Y>
- Torres, R. (2016). *Reducción del polvo atmosférico sedimentable a través de Ficus Benjamina y Salix Humboldtiana en el distrito de San Martín de Porres* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal].
<https://acortar.link/XodRAw>
- UNDAC. (2019). *Código de ética para la investigación* (p. 19).
- UNDAC. (2021). *Reglamento general de grados académicos y títulos profesionales*.
- Universidad Central. (2020). *Normas APA 7.ª edición Guía de citación y referenciación* (D. Moreno & J. Carrillo (eds.)). <https://acortar.link/YtHbCE>
- Vargas, F., & Rojas, N. (2010). Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. *Ingeniería e Investigación*, 30(2), 105–115. <https://acortar.link/yBjDd2>
- Vilela, J. (2004). Distribución del arbolado urbano en la ciudad de Fuenlabrada y su contribución a la calidad del aire. *Ciudad y Territorio Estudio Territoriales*,

36(140), 419–427. <https://acortar.link/vGdCd8>

Weerakkody, U., Dover, J. W., Mitchell, P., & Reiling, K. (2018). Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 98–107. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2018.01.001>

Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., & Guidotti, T. L. (2002). *Salud Ambiental Básica*. <https://acortar.link/S7Ztyq>

ANEXOS

Anexo I: Instrumentos de recolección de datos

Anexo II: Matriz de consistencia

Anexo III: Resultados de análisis de laboratorio

Anexo IV: Fotografías

Anexo I. Instrumentos y formatos de recolección de datos

Ficha de registro de información

Título del Proyecto: Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la Especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo.

Mes de monitoreo			
Fecha de pretratamiento de muestras		Fecha de recolección de muestras	
Estación de monitoreo (Cód.)	$W_{inicial}$	W_{final}	$W_{\text{peso de PAS}}$
	$W_{\text{vaso precipitado}}$	$W_{\text{vaso precipitado}} + W_{PAS}$	$W_{final} - W_{inicial}$

Fuente: elaboración propia.

Ficha de determinación de área foliar

Título del Proyecto: Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la Especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo

Mes de monitoreo				
Fecha de pretratamiento de muestras			Fecha de recolección de muestras	
Estación de monitoreo (Cód.)	Este (x)	Norte (y)	Número de hojas	Área foliar

Fuente: elaboración propia.

Ficha de observación para determinar el flujo vehicular

Título del Proyecto: Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitorio pasivo en la Especie *Ficus benjamina* “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo.

Turno								
Fecha							Estación de monitoreo	
Lugar							Coordenadas	Este:
								Norte:
Intervalo de Tiempo (5 min)	Número de vehículos							Total (vehículo/ min)
	Moto lineal	Mototaxi	Auto	Camioneta	Combi	Buses	Camiones	
7:30 a 7:35 a.m								
7:35 a 7:40 a.m								
7:40 a 7:45 a.m								
7:45 a 7:50 a.m								
7:50 a 7:55 a.m								
7:55 a 8:00 a.m								
Promedio (vehículo/h)								

Fuente: elaboración propia.

Anexo II: Matriz de consistencia

TÍTULO DEL PROYECTO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Evaluación de la Calidad del Aire mediante Biomonitoreo pasivo en la Especie <i>Ficus benjamina</i> “ficus” en la Zona Urbana del Distrito de Chanchamayo	GENERAL				
	¿Cómo varía las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados (Cadmio, Manganeso, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito de Chanchamayo?	Determinar la variación de las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados (Cadmio, Manganeso, Plomo y Hierro) en las principales vías de tránsito vehicular del distrito de Chanchamayo, mediante biomonitoreo pasivo en la especie <i>Ficus benjamina</i> “ficus”.	La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados varía en relación al tiempo, zonas de muestreo y flujo vehicular.		
	ESPECÍFICO				
	¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo?	Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al tiempo.	La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al tiempo		VARIABLE INDEPENDIENTE: Efecto de la actividad del hombre. VARIABLE DEPENDIENTE: Calidad del aire.
	¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo?	Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación a las zonas de muestreo.	La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación a la zona de muestreo.		VARIABLE INTERVINIENTE: Condiciones meteorológicas.
¿Cómo varía la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular?	Determinar la variación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular en relación al flujo vehicular.	La concentración de partículas atmosféricas sedimentables y metales pesados generados en las principales vías de tránsito vehicular varía en relación al flujo vehicular.			TIPO DE INVESTIGACIÓN: Básica y descriptivo (Hernández, 2014). MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Analítico-sintético comparativo deductivo (Rodríguez & Pérez, 2017). DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: No experimental Longitudinal (Hernández, 2014).

Fuente: elaboración propia.

Anexo III: Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019205

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de febrero de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19205	P ₁ - M ₁	214.86	4.64	<0,3	4.64

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Dra. Rocio Pastor Jaurégui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019206

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de febrero de 2023

Número de muestra		Fe ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Campo				
19206	P ₂ - M ₁	238.49	<0,03	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019207

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de febrero de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19207	P ₃ - M ₁	187.52	0.58	<0,3	0.58

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Dra. Rocio Pastor Jáufegui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



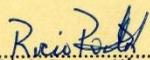
Nº 019208

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de febrero de 2023

Número de muestra		Fe ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Campo				
19208	P ₄ - M ₁	117.22	<0,03	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019209

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 17 de febrero de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19209	P ₅ - M ₁	166.06	1.93	<0,3	1.93

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jáuregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019291

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de marzo de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19291	P ₁ - M ₂	200.72	24.27	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jáuregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019292

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de marzo de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19292	P ₂ - M ₂	146.31	24.76	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Dra. Rocio Pastor Jáuregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



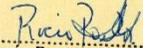
Nº 019293

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de marzo de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19293	P ₃ - M ₂	134.31	15.58	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019294

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de marzo de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19294	P ₄ - M ₂	276.33	14.12	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019295

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de marzo de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19295	P ₅ - M ₂	187.55	48.64	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Rocio Pastor
Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



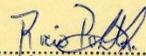
Nº 019402

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 21 de abril de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19398	P ₁ - M ₃	172.18	3.26	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



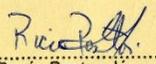
Nº 019401

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 21 de abril de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19399	P ₂ - M ₃	136.96	14.95	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019400

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 21 de abril de 2023

Número de muestra		Fe ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Campo				
19400	P ₃ - M ₃	207.53	8.33	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Dra. Rocio Pastor Jáuregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019399

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 21 de abril de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19401	P ₄ - M ₃	272.75	2.36	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 019398

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : JAMIL JAVIER ALLEN RODRIGUEZ
PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE BIOMONITOREO PASIVO EN LA ESPECIE FICUS BENJAMINA "FICUS" EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHANCHAMAYO"
UBICACIÓN : Distrito de Chanchamayo- provincia de Chanchamayo- Región Junín
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 21 de abril de 2023

Número de muestra		Fe	Mn	Pb	Cd
Lab.	Campo	ppm	ppm	ppm	ppm
19402	P ₅ - M ₃	254.89	42.93	<0,3	<0,012

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

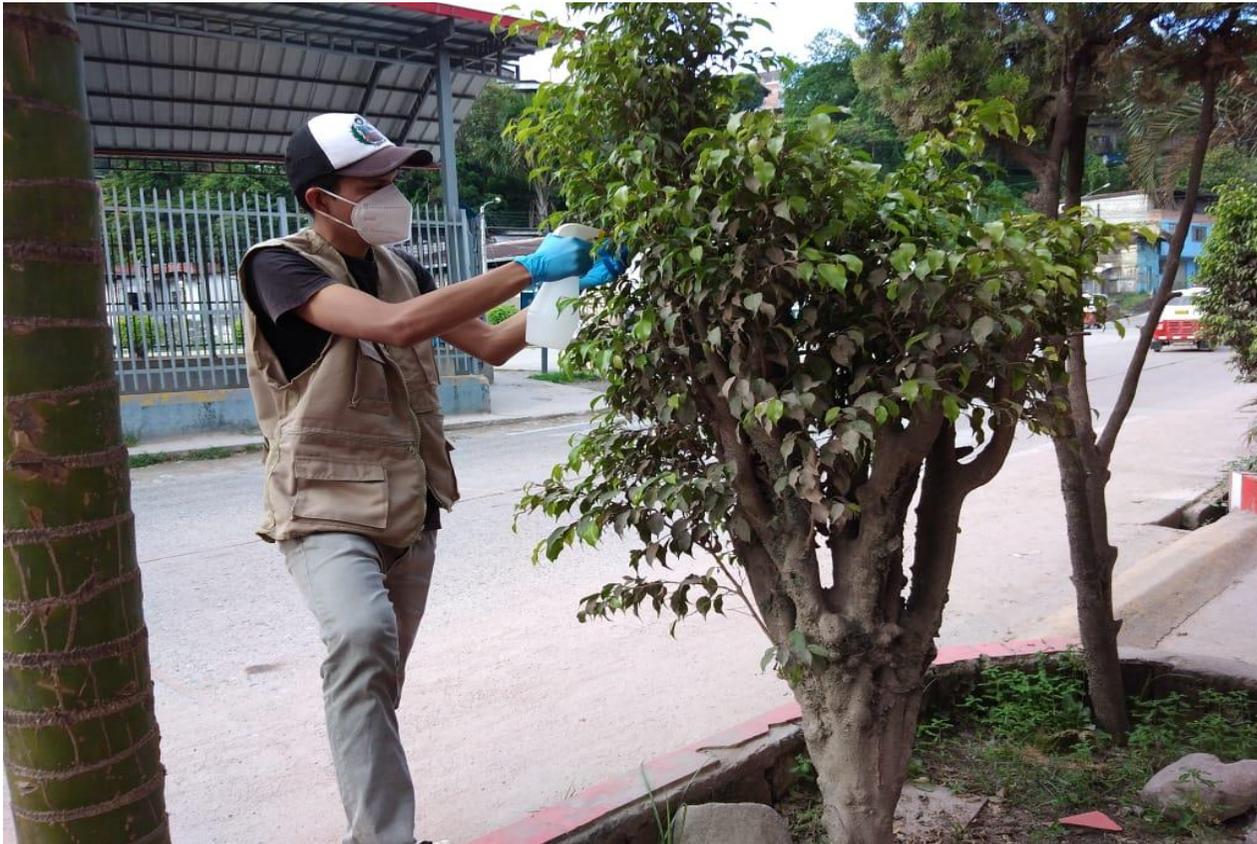
Dra. Rocio Pastor Jauregui
JEFA DE LABORATORIO



Anexo IV: Evidencias fotográficas

Figura 31.

Pretratamiento de los folios



Fuente: propia.

Figura 32.

Recolección de folios de la especie Ficus benjamina



Fuente: propia.

Figura 33.

Pesado de la muestra foliar



Fuente: propia.

Figura 34.

Rotulado de vaso precipitado



Fuente: propia.

Figura 35.

Secado del vaso precipitado por 15 min a 70 °C



Fuente: propia.

Figura 36.

Pesado del vaso precipitado



Fuente: propia.

Figura 37.

Lavado de folios



Fuente: propia.

Figura 38.

Concentrado de PAS de cada zona de muestreo



Fuente: propia.

Figura 39.

Secado del concentrado de PAS por 24 horas a una temperatura de 70 °C



Fuente: propia.

Figura 40.

Pesado del vaso precipitado con PAS



Fuente: propia.

Figura 41.

Secado de hojas de Ficus benamina para determinar su área



Fuente: propia.

Figura 42.

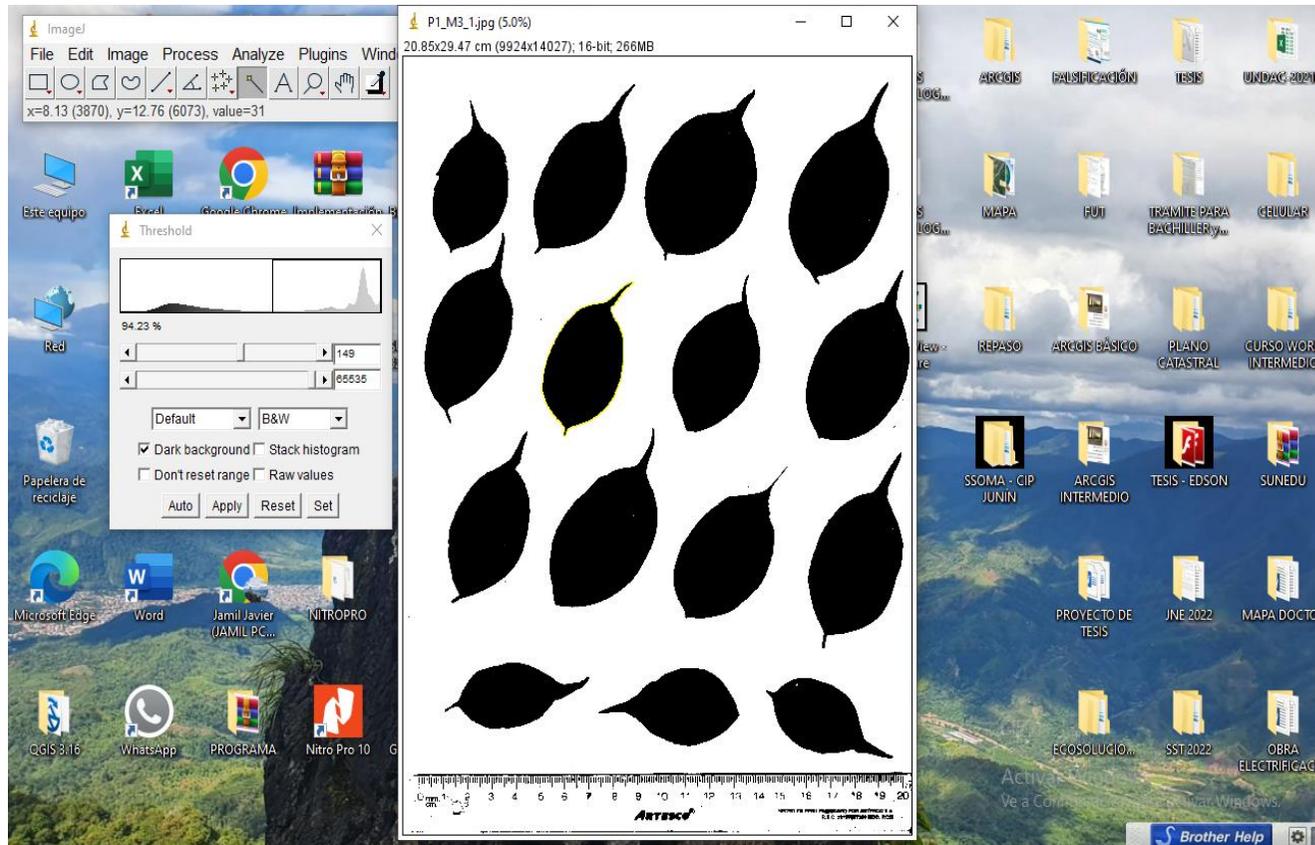
Escaneo de folios para determinación de área foliar



Fuente: propia.

Figura 43.

Determinación del área foliar en el software ImageJ



Fuente: propia.