

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



NIVELES DE PLOMO EN PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS
SEDIMENTABLES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE,
PROVINCIA DE TOCACHE, SETIEMBRE-DICIEMBRE, 2024

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

PUJAY ESCOBAL ZOCIMO JUNIOR

Tingo María – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



NIVELES DE PLOMO EN PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS
SEDIMENTABLES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE,
PROVINCIA DE TOCACHE, SETIEMBRE-DICIEMBRE, 2024

Autor	: Bach. Pujay Escobal, Zocimo Junior
Asesor	: Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado
Área de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental - PIBIOT
Grupo de investigación	: Ciencia y Tecnología Ambiental
Línea de investigación	: Tecnologías para reducir la contaminación
Lugar de ejecución	: Zona urbana del distrito de Tocache
Duración	: 07 meses
Financiamiento	: S/. 10,047.45

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la bendición de poder llegar hasta este punto, así como también de otorgarme salud y fortaleza para cumplir con todos mis objetivos.

A mis queridos padres, Zocimo Pujay y Hermelinda Escobal, por su constante amor y apoyo incondicional, que me impulsan a cumplir con mis objetivos y son mi fortaleza para nunca rendirme.

A mis hermanas, Angela y Maggie, que son ejemplos para mí, por sus consejos y palabras de aliento durante mi formación profesional.

A mis sobrinos, Draxler, Antuan e Itzel por brindarme motivación y alegrar mis días para poder seguir adelante y cumplir con mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre acompañarme, brindándome fortaleza y sabiduría para superar los obstáculos que se presenten en el camino y la convicción de nunca rendirme sin cumplir con mis objetivos.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por ser mi alma mater y haber aportado en mi formación académica y darme la oportunidad de realizarme como profesional.

A mi asesor, Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por sus enseñanzas, paciencia y orientación en la formulación y ejecución de la presente investigación.

A mis jurados de tesis: Mtblgo. M.Sc. Luis Alberto Sánchez Romero; Ing. M.Sc. Sandra Lorena Zavala Guerrero e Ing. M.Sc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez, por sus oportunas sugerencias y consejos brindados.

A Oleaginosas del Perú S.A., en especial al Ing. Jorge Luis Cobos Panduro por darme las facilidades de acceder al Laboratorio de OLPESA para el desarrollo de las actividades de mi tesis.

Al Laboratorio de Análisis de Suelos, en especial al Ing. Gilmer Neyra Trujillo por su apoyo en las determinaciones analíticas de la presente investigación.

A mis padres, Zocimo Pujay Campó y Hermelinda Escobal por su apoyo incondicional y motivación para el desarrollo de la tesis.

A mis amigos, Johan Montejo, Verónica Arroyo, Keissy Siviruero y Dan Figueroa por su apoyo en el levantamiento de información y asistencia en las actividades de la presente investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.1.3. Antecedentes regionales	6
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Contaminación atmosférica	6
2.2.2. Contaminación en exteriores	6
2.2.3. Contaminación en interiores	7
2.2.4. Contaminantes atmosféricos	7
2.2.5. Partículas atmosféricas sedimentables	8
2.2.6. Muestreo pasivo de placas receptoras	9
2.2.7. Metales pesados	9
2.2.8. Plomo	10
2.2.9. Efectos en la salud por plomo	11
2.2.10. Espectroscopia de absorción atómica	11
2.2.11. Problemas ambientales de Tocache	12
2.2.12. Marco normativo	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Lugar de ejecución	16
3.1.1. Ubicación política	16
3.1.2. Ubicación geográfica	16

3.1.3. Aspectos climatológicos	17
3.1.4. Actividades socioeconómicas	18
3.2. Materiales y equipos	18
3.2.1. Materiales.....	18
3.2.2. Equipos	18
3.2.3. Insumos	19
3.2.4. Programas de computador.....	19
3.3. Análisis de estudio	19
3.3.1. Nivel de investigación.....	19
3.3.2. Tipo de investigación.....	19
3.3.3. Variables y operacionalización	19
3.3.4. Diseño de investigación	19
3.3.5. Población y muestra.....	20
3.3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.3.7. Análisis estadístico.....	21
3.4. Metodología.....	22
3.4.1. Flujo vehicular de los puntos de muestreo.....	22
3.4.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables en ambiente exterior e interior.....	22
3.4.3. Concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior.....	24
3.4.4. Nivel de correlación entre partículas atmosféricas sedimentables y plomo	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Determinación del flujo vehicular de los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache.	25
4.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache.....	28

4.3. Concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache	34
4.4. Determinación del nivel de correlación entre las partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo	42
V. CONCLUSIONES	44
VI. PROPUESTAS A FUTURO	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
VIII. ANEXO	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Contaminantes atmosféricos y sus fuentes.....	8
2. Estándar de calidad ambiental de partículas atmosféricas sedimentables para diferentes métodos de muestreo.....	14
3. Estándar de calidad ambiental para PAS en diferentes países.....	14
4. Características y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	17
5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
6. Valores de coeficiente de r, rho y fuerza de correlación.....	21
7. Registro del flujo vehicular promedio diario por punto de muestreo durante una semana en la zona urbana del distrito de Tocache.....	25
8. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambiente exterior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	28
9. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambiente interior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	31
10. Concentración de plomo (Pb) en partículas atmosféricas (PAS) sedimentables en ambiente exterior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	35
11. Concentración de plomo (Pb) en partículas atmosféricas (PAS) sedimentables en ambiente interior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	38
12. Nivel de correlación por punto de muestreo entre partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y niveles de plomo (Pb) en ambientes exteriores e interiores.....	42
13. Flujo vehicular evaluado para determinar los puntos de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	55
14. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de setiembre.....	59
15. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de octubre.....	60
16. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de noviembre.....	61
17. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de diciembre.....	62

18. Distribución normal de partículas atmosféricas sedimentables en los puntos de muestreo mediante prueba de Shapiro-Wilk.	67
19. Distribución normal de niveles de plomo en los puntos de muestreo mediante prueba de Shapiro-Wilk.	68
20. Prueba de correlación de Pearson entre concentración de partículas atmosféricas sedimentables y niveles de plomo en los puntos de muestreo.	70
21. Prueba de correlación de Spearman entre concentración de partículas atmosféricas sedimentables y niveles de plomo en los puntos de muestreo.	71
22. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de setiembre.	73
23. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de octubre.	74
24. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de noviembre.	75
25. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de diciembre.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación del distrito de Tocache.....	16
2. Diseño experimental.....	20
3. Flujo vehicular promedio en los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache.	26
4. Distribución de vehículos por categoría en la zona urbana del distrito de Tocache.....	27
5. Concentración promedio de PAS en ambiente exterior por punto de muestreo respecto al valor de referencia establecido por la OMS.....	29
6. Concentración promedio de PAS en ambiente exterior por mes de evaluación respecto al valor de referencia establecido por la OMS.....	30
7. Concentración promedio de PAS en ambiente interior por punto de muestreo respecto al valor de referencia establecido por la OMS.....	32
8. Concentración promedio de PAS en ambiente interior por mes de evaluación respecto al valor de referencia establecido por la OMS.....	34
9. Concentración promedio de plomo en ambiente exterior por punto de muestreo.	36
10. Concentración promedio de plomo en ambiente exterior por mes de evaluación.	37
11. Concentración promedio de plomo en ambiente interior por punto de muestreo.	39
12. Concentración promedio de plomo en ambiente interior por mes de evaluación.	40
13. Formato utilizado para el conteo de vehículos clasificados por categoría según MTC..	54
14. Padrón de puntos de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.....	58
15. Concentración de plomo en el primer mes de evaluación (setiembre 2024).	63
16. Concentración de plomo en el segundo mes de evaluación (octubre 2024).	64
17. Concentración de plomo en el tercer mes de evaluación (noviembre 2024).	65
18. Concentración de plomo en el cuarto mes de evaluación (diciembre 2024).....	66
19. Partículas suspendidas de calle sin pavimentar.....	77
20. Riego en calle sin pavimentar	77
21. Conteo de vehículos en el horario de la mañana.....	78
22. Conteo de vehículos en el horario nocturno.....	78
23. Georreferenciación de los puntos de muestreo.	79
24. Recolección de las muestras de PAS en ambiente exterior.....	79
25. Recolección de muestras de PAS en ambiente interior.....	80
26. Protección de muestras de PAS para su traslado a laboratorio.	80

27. Muestras recolectadas de PAS en el mes de octubre.	81
28. Pesado de las placas con vaselina (Peso inicial).	81
29. Pesado de las placas con PAS (Peso final).....	82
30. Lavado de placas con PAS para su análisis de plomo.	82

RESUMEN

La investigación tuvo la finalidad de evaluar los niveles de plomo en partículas atmosféricas sedimentables (PAS) de la zona urbana del distrito de Tocache. Para ello, se seleccionaron 10 puntos de muestreo con presencia de mayor flujo vehicular en el área de estudio, donde cada uno de ellos tenía muestras para ambiente exterior e interior. Se utilizó el método de las placas receptoras para recolectar las partículas atmosféricas sedimentables durante cuatro meses de evaluación, así mismo, en estas muestras se analizaron los niveles de plomo.

Los resultados del estudio indican que las concentraciones de PAS fueron significativamente más elevadas en los ambientes exteriores que en los ambientes interiores, siendo las concentraciones promedio de PAS más altas en PM5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6) para ambiente exterior y PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) para ambiente interior con valores de 7.604 y 5.503 mg/cm²/mes respectivamente. Mientras, para plomo las concentraciones promedio más altas fueron PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8) para ambiente exterior y PBI10 (Av. Ricardo Palma Cdra.12) para ambiente interior con valores de 1589.206 y 499.566 mg/kg PS respectivamente. Las partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo en los ambientes exterior e interior de los puntos de muestreo, presentan una correlación positiva alta. Por último, se concluye que los niveles de plomo en partículas atmosféricas sedimentables exceden el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo (140 mg/kg), tanto para ambiente exterior e interior.

Palabras clave: flujo vehicular, ambiente exterior e interior, correlación

Lead Levels in the Solid Atmospheric Particles within the Urban Zone of the Tocache District in the Tocache Province During September – December of 2024

Abstract

The purpose of the research was to evaluate the lead levels in the solid atmospheric particles (PAS – acronym in Spanish) within the urban zone in the Tocache district [of Peru]. In order to do so, ten sampling points with the greatest presence of vehicular flow in the area in study were selected, where each of them had samples for the exterior and interior environment. The receptor plate method was used to collect the solid atmospheric particles during four months of evaluation, at the same time, the lead levels were analyzed for these samples.

The results from the study indicated that the concentrations of PAS were significantly elevated in the exterior environments, in comparison to the interior environments, where the highest average PAS concentrations were from PM5 (block 6 of Jr. Pedro Gómez.) for the exterior environment and from PM6 (block 2 of Jr. Jorge Chávez) for the interior environment, with values of 7.604 and 5.503 mg/cm²/month, respectively. Meanwhile, the highest average lead concentrations were from PM2 (block 8 of Av. Belaunde) for the exterior environment and PBI10 (block 12 of Av. Ricardo Palma) for the interior environment with values of 1589.206 and 499.566 mg/kg PS, respectively. The solid atmospheric particles and the lead levels in the exterior and interior environments from the sampling points presented a high positive correlation. Finally, it was concluded that the lead levels in the solid atmospheric particles exceeded the environmental quality standard (EQS; ECA in Spanish) for soil (140 mg/kg), as much for exterior as well as for interior environments.

Keywords: vehicle flow, exterior and interior environment, correlation

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se presencia un aceleramiento de crecimiento demográfico en zonas urbanas, avances industriales y actividades antropogénicas que impactan significativamente al medio ambiente y a la salubridad por medio de diversos contaminantes que llegan a generarse. De los altos riesgos que amenazan la sanidad y el medio ambiente es la contaminación atmosférica debido a que se modifica la composición química de la atmósfera generando variaciones climáticas, deterioro de la capa de ozono e impactos en la salud humana como aumento de casos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La contaminación atmosférica en las zonas urbanas se da por la existencia de humos, gases y material particulado. Siendo este último, en suspensión el que se esparce en la atmósfera y las partículas sedimentables las que se mantienen en el aire por un periodo de tiempo corto, lo que termina asentándose en el suelo o adhiriéndose en alguna superficie, por lo que ambas son originadas en las zonas urbanas por el proceso de combustión donde el viento influye en el arrastre, el flujo vehicular y las vías sin pavimentación.

En su mayoría el plomo emitido al aire corresponde al parque automotor, debido al uso de la gasolina con aditivos de plomo para aumentar el octanaje, este contaminante a su vez se desplaza por la acción del viento llegando a sedimentarse las partículas grandes al suelo e ingresar al interior de las viviendas. Además, el plomo está presente en pinturas, tuberías, baterías, colillas de cigarrillos y sobre todo en la disposición inadecuada de residuos sólidos, por ende, al estar presente en ambientes interiores y exteriores el plomo es considerado un metal de alto riesgo tóxico.

Por ende, la zona urbana de Tocache no es ajena a la problemática de la contaminación atmosférica ocasionada por partículas atmosféricas sedimentables, ya que se encuentra presente en los ambientes exteriores e interiores de las viviendas, a consecuencia de calles sin pavimentar en su mayoría, crecimiento poblacional e incremento del parque automotor, afectando tanto los bienes y a la sanidad.

El fin de la investigación es evaluar los niveles de plomo en partículas atmosféricas sedimentables de la zona urbana del distrito de Tocache, considerando los ambientes interiores y exteriores de las viviendas en estudio para poder compararlas y determinar donde hay presencia de mayor contaminación que representa riesgos a la salud para la población, originadas por el tráfico vehicular, calles sin pavimentar y actividades domésticas. Además, este estudio permitiría tomar conciencia a las autoridades locales acerca de la problemática

ambiental para que se apliquen medidas y acciones correspondientes a favor de la salubridad de Tocache.

Se plantea la siguiente interrogante en investigación: ¿Cuáles son los niveles de plomo en las partículas atmosféricas sedimentables de la zona urbana del distrito de Tocache en el año 2024?

En este contexto, se planteó la hipótesis de que las concentraciones de plomo en las partículas atmosféricas sedimentables de la zona urbana del distrito de Tocache superan el valor de 140 mg/kg PS establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso residencial según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

1.1. Objetivo general

Evaluar los niveles de plomo en partículas atmosféricas sedimentables de la zona urbana del distrito de Tocache.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el flujo vehicular de los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache.
- Comparar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache.
- Comparar la concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache.
- Determinar el nivel de correlación entre las partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Safe et al. (2023), desarrollaron una evaluación plurianual de la concentración de metales pesados presentes en las partículas atmosféricas sedimentables en zonas petroquímicas, industriales y urbanas. Se llevó a cabo 17 estaciones de muestreo entre 2013 y 2019 y con el método ICP-OES se determinó la concentración de metales pesados, para tal estudio el enfoque fue calcular la tasa de PAS anual y el riesgo potencial ecológico que estos presentan y su localización concentrada de lo cual en un grupo los niveles de plomo fueron superiores al zinc y al cobre contenidos en PAS con un promedio total de $1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y concentración significativa de plomo asociados a la resuspensión de polvo del suelo urbano.

Cevallos (2022), en su investigación evaluó la acumulación de material particulado sedimentable en el trayecto de una avenida en Cantón Pelileo, para ello el método aplicado fue el muestreo pasivo durante un mes y al empleo del microscopio electrónico de barrido. Los datos resultantes no cumplen con los límites máximos establecidos por la OMS, siendo los puntos 1, 5 y 6 valores de 0.59, 0.51, 0.52 $\text{mg/cm}^2/\text{mes}$, pero al comparar con la normativa ecuatoriana si cumplen, además de la formulación química de las muestras de polvo atmosférico se encontraron un total de 18 elementos químicos siendo de mayor porcentaje los elementos O, C, Si, Rb y N, mientras para el análisis físico los PAS tuvieron formaciones de elipses, esferas, redondeadas, cubos, placas angulares y formas irregulares. Se concluye que el punto 1 denominado Redondel de Benítez, fue el de mayor concentración de PAS debido a que en la zona existe mayor tránsito vehicular e industrias aledañas.

Al Hejami et al. (2020), investigaron la concentración de metales altamente tóxicos en el polvo sedimentable de ambientes interiores, por lo que recogieron las 104 muestras comprendidas en los interiores de hogares, oficinas administrativas, centros educativos y laboratorios del área metropolitana de Toronto, el plomo se determinó por la metodología (ICP-AES). Del estudio se determinó que las concentraciones más elevadas de metales pesados se encontraron en los interiores de los laboratorios, mientras que en los otros ambientes las concentraciones de metales pesados eran inferiores a 0.7 mg/kg . Por ende, el factor de enriquecimiento de los metales pesados estuvo entre 15 y 554, lo que indica que en cada ambiente existe fuentes internas de origen antropogénico frente a la contaminación de metales pesados en ambientes interiores.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Aguirre (2024), en su investigación reabre el caso estudiado por DIGESA del año 2000, incorporando al polvo sedimentable como mecanismo de movilización de plomo desde el área impactada hacia la ciudad aledaña con el objetivo de evaluar el comportamiento y el área de dispersión. La metodología del estudio consiste en analizar la investigación de DIGESA y la revisión bibliográfica del transporte de PAS y plomo. De los resultados obtenidos se concluye que los niveles de plomo son equivalentes a los valores reportados por DIGESA, excediendo el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), por lo que, se mantiene el riesgo de exposición poblacional. Además, se presenta una influencia del área contaminada a 7 km de distancia, por lo que el polvo sedimentable es el principal mecanismo de transporte del plomo.

García (2024), en su investigación tuvo como objetivo evaluar el daño ambiental que ocasionaba el polvo atmosférico sedimentable en la salubridad de aire de la zona de estudio. Para el estudio se aplicó el método de placas receptoras, lo cual se analizaron 54 muestras de 18 puntos de monitoreo. Como resultados se obtuvo que 3 puntos de monitoreo durante los meses evaluados, la concentración de PAS no superó el valor de referencia de la OMS, a su vez se concluye que no hay diferencias significativas en los niveles de PAS tanto para tramo pavimentado y tramo no pavimentado, como también, no hubo relación significativa entre las condiciones climáticas y las concentraciones de PAS.

Sánchez (2024), evaluó la acumulación de PAS en ambientes internos de municipios distritales, cuyas placas receptoras fueron colocados estratégicamente en 03 áreas internas de cada municipalidad distrital durante 6 meses. De los resultados se obtiene que las concentraciones promedio sobrepasan el límite permisible según OMS, siendo las áreas de registro civil y mesa de partes los ambientes mayores expuestos en las municipalidades de Castillo Grande y Pueblo Nuevo con valores promedio de 1.121 y 0.539 mg/cm²/mes, lo cual es debido a las calles sin pavimentar y el tráfico vehicular de la zona. Por lo que se concluye que hay acumulación de PAS significativa en los ambientes internos de los municipios distritales.

Aldoradin y De la Cruz (2023), determinó el vínculo entre el PAS y las consecuencias en la salud en las actividades de mantenimiento de una empresa privada en el área industrial de Boca Negra, contando con 20 estaciones de muestreo, ubicando 9 estaciones de muestreo al borde de la empresa y los otros 11 restantes en las vías del área industrial,

escogiendo dos muestras representativas para análisis elemental. También desarrolló cuestionario a los laboradores y a la población contigua. De la evaluación los puntos P-2, P-3, P-4, P-6 y P-9 superan el estándar máximo permisible, pero dichos valores no sobrepasan los $1.25 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y en el análisis elemental hubo mayor representatividad de calcio, hierro y zinc, además en la percepción la mayoría de los encuestados consideran que las PAS afectan en la salud.

Zevallos (2022), en su estudio evaluó la contaminación por PAS en la localidad de Tingo María y periferias por 3 meses consideran como muestras: Tingo María, Supte, Castillo Grande, Afilador y Naranjillo, colocando en cada sitio 3 muestras, mediante el método del frasco recolector. De sus resultados se obtuvo que 11 puntos superan el LMP estandarizado por la OMS, siendo en Tingo María donde se obtuvo mayor concentración promedio de PAS, así mismo se encontró iones en el material soluble como Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na y K. Además, se observó que en el mes de diciembre las PAS se dispersaron en mayor grado por los puntos de muestreo.

Livia (2020), por su parte realizó su investigación de PAS en espacios interiores de las viviendas de la ciudad de Tingo María, tuvo como finalidad determinar la contaminación en espacios interiores por PAS en las viviendas, durante los meses de abril a setiembre. Se ubicó doce estaciones de muestreo utilizando el método pasivo de las placas receptoras, con la diferencia de no usar la vaselina. Para las muestras determinó la configuración física y química de las partículas sedimentables. De sus resultados alrededor de 53 datos sobrepasan los límites establecidos por la OMS, la composición física le arrojó un 83% de material soluble y 17% de insoluble. Además, se encontró iones de Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3 , SO_4 , y Cl^- en la materia soluble. El área donde obtuvo el mayor valor fue Castillo Grande Fondo.

Sánchez (2018), determinó la concentración de PAS en cinco centros educativos de la ciudad de Tingo María, tanto la fracción soluble e insoluble de PAS, demostrando que la fracción soluble es superior en Ramón Castilla y Gómez Arias Dávila, mientras que la fracción insoluble es superior en Padre Abad, Mariano Bonín y Sagrada Familia, siendo la institución Ramón Castilla el que sobrepasa el límite permitido por la OMS. También determinó el pH, conductividad eléctrica y concentraciones de plomo en las PAS, cuyos resultados fueron un suelo neutro y no salino en todas las instituciones educativas, mientras que en concentraciones de plomo el Mariano Bonín sobrepasó el límite permitido por el ECA suelo.

2.1.3. Antecedentes regionales

Quiroz (2019), en su tesis realizada en la ciudad de Uchiza perteneciente a la provincia de Tocache durante los últimos meses del 2018, tuvo el objetivo indicar si existía variabilidad significativa entre los resultados de las zonas en estudio. La metodología utilizada consistió en instalar 8 estaciones en una vía con pavimento y otras 8 estaciones en una vía sin pavimento durante 3 meses. En los resultados se tiene que los valores máximos en ambas vías se obtuvieron en el mes de diciembre siendo 0.6658 mg/cm²/mes para vía con pavimento y 0.9095 mg/cm²/mes para vía sin pavimento y al comparar todos los valores con el límite máximo permisible estos superan, a su vez se obtiene que hay variabilidad significativa entre las concentraciones de PAS, tanto para vía con pavimento y vía sin pavimento de la ciudad.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica comprende la mezcla compleja de poluciones en el aire que son emitidos por fuentes naturales (volcanes, incendio forestal, erosión, algas, ciénagas) y antropogénicas (tráfico vehicular, producción de energía, tráfico no rodado, sector industrial, sector agropecuario, calefacción doméstica, residuos sólidos) que se alteran y son influidos por factores ambientales (viento, humedad, temperatura) cuyo proceso modifica la composición de la atmosfera y causa efectos dañinos a la sanidad (Ubilla y Yohannessen, 2017).

2.2.2. Contaminación en exteriores

La contaminación del aire en ambiente exterior representa la mezcla compleja de poluciones que difieren según el espacio, el tiempo, densidad poblacional, presencia de actividad industrial, nivel socioeconómico y otros factores, lo cual existen evidencias que prueban impactos en la salud originando daños agudos a las vías respiratorias (Marchetti, 2010).

En espacios urbanos, la polución del aire exterior se da de la combustión inconclusa de combustibles fósiles proveniente de los vehículos a motor, centrales eléctricas e industrias, cuyos contaminantes más relacionados a enfermedades alérgicas o respiratorias son el NO₂, O₃ y partículas del aire (Correia y Menezes, 2007).

2.2.3. Contaminación en interiores

La mayoría de la población ocupa un 75 a 90% de su tiempo en ambientes interiores, con la posibilidad de llegar a un 100% en ancianos, enfermos y lactantes, por ende, la calidad de aire en ambientes interiores es una problemática de gran importancia debido a que en estos espacios hay gran variedad de contaminantes desde los físicos, químicos y hasta los biológicos que son liberados del exterior, materiales de construcción y actividades antropogénicas (Gil et al., 1997).

La contaminación interior es producida por el uso inadecuado y excesivo de productos químicos de uso doméstico (productos de limpieza, plaguicidas, desinfectantes, encerado y materiales de construcción), como también de gases de combustión (tabaco, procedente de cocina, cafetería) y de los contaminantes del aire provenientes del exterior (Rodríguez y Alonzo, 2004).

La concentración de contaminantes que provienen del exterior hacia los ambientes interiores se da por el proceso de infiltración, por lo que dependiendo de la calidad de aire que se infiltre el problema puede agravarse, un claro ejemplo son las edificaciones que se encuentran al costado de una vía sin pavimentar y con alto flujo vehicular, lo que conlleva una alta concentración de partículas provenientes de la suspensión y la combustión proveniente de los vehículos (Sánchez, 2006).

2.2.4. Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos provienen tanto de fuentes móviles (tráfico vehicular) como también de fuentes fijas por lo general procedente de la combustión (industrias, residuos sólidos, usos residenciales) (Ballester, 2005).

Las fuentes móviles mientras se encuentran en movimiento emiten contaminantes al aire, por lo que lo conforman los medios de transporte como vehículos, tractores aviones, trenes, barcos, etc. Los motores de los vehículos emiten en grandes cantidades CO, COVs, SO₂ y NO_x de la combustión (Saavedra, 2014).

Las fuentes fijas son las emisiones que provienen de un punto fijo o estacionario. Entre ellas se mencionan a las industrias, refinerías de petróleo, plantas de energía, etc. Estas fuentes pueden emitir varios contaminantes criterio como material particulado, SO₂, CO_x, NO_x, y entre otros contaminantes de mayor grado de peligrosidad (Saavedra, 2014).

Según su origen los contaminantes de la atmosfera se distinguen entre contaminantes primarios y secundarios, siendo los primarios los que se emiten directamente de una o varias fuentes de emisión, en tanto, los contaminantes secundarios son producidos por efecto de la alteración, reacciones físicas y químicas de las poluciones primarias, distinguiéndose el smog fotoquímico y la acidificación del ambiente (Ballester, 2005).

Tabla 1. Contaminantes atmosféricos y sus fuentes.

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Material Particulado, Humos negros	Primario y secundario	Sólido, líquido	Vehículos, industrias, humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primario	Gas	Vehículos, industrias
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Primario y secundario	Gas	Vehículos, estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primario	Gas	Vehículos, combustiones en interiores, humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco, combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

Fuente: Ballester, 2005.

2.2.5. Partículas atmosféricas sedimentables

Comprende las partículas con diámetro igual o mayor a las 10 micras, por lo que al ser más pesadas llegan a sedimentarse y adherirse en diversas superficies de ambientes exteriores e interiores. Sin embargo, estas partículas entran en suspensión en el aire debido a los movimientos caóticos de las zonas urbanas (MINAM, 2017).

También conocidas como material sedimentable o polvo sedimentable, estas partículas se depositan por deposición seca o acción de la gravedad, por gases contaminantes, partículas no sedimentables arrastradas por la precipitación. La mayoría de estas partículas aparecen por el rompimiento de grandes partículas en perforaciones, explosiones,

trituras, pulverizaciones, circulación de vehículos que provoca la dispersión de las partículas, entre otras actividades. Además, debido al tamaño de las partículas estas no ingresan directamente a los pulmones, pero pueden ser retenidas en la garganta o fosas nasales o inclusive ser ingeridas (Bravo, 2017).

Las partículas atmosféricas sedimentables por su composición física presentan sustancias solubles e insolubles. En conjunto estas contienen en mayor cantidad metales pesados y compuestos orgánicos en aquellas áreas contaminadas donde el material soluble contenga sulfatos y solución ácida (Arjona, 2006).

2.2.6. Muestreo pasivo de placas receptoras

Es un método de gran simplicidad, eficacia y económico en función de bajos costos para el muestreo de la calidad de aire en un área a estudiar. Para ello se utiliza un material adherente, durante un tiempo determinado, generalmente entre una semana o a un mes. El método ofrece la facilidad de muestrear en varios puntos del área en interés, lo cual ayuda a reconocer las zonas críticas donde hay una elevada concentración de contaminantes como las fuentes de emisión (DIGESA, 2005).

El método de las placas receptoras es un método de muestreo pasivo que consiste en el uso de placas o láminas con un adherente (elemento sensible), donde las partículas atmosféricas sedimentables quedan retenidas. Se realiza durante un determinado tiempo de exposición de muestreo y posteriormente la muestra es llevada al laboratorio para el análisis cuantitativo por el método gravimétrico (Livia, 2020).

2.2.7. Metales pesados

Los metales pesados son elementos que se caracterizan por tener alto peso atómico y una densidad mayor de 5 g/cm^3 lo cual, los elementos que están entre los periodos 4 y 6 de la tabla periódica entran en la clasificación incluso algunos semimetales. El arsénico, cadmio, plomo, cromo y mercurio son los elementos de mayor relevancia en la clasificación debido a los efectos perjudiciales para la salud humana, debido a que provocan elevación de la presión arterial, daño al sistema renal, daño fetal, trastornos cerebrales y cáncer (Jaishankar et al., 2014).

La dispersión de los metales pesados es influenciada por una fuente natural o antropogénica, modificando así su composición y los libera como contaminantes. Entre las fuentes de dispersión natural están las erupciones volcánicas y la erosión por aguas

termales, mientras las actividades antropogénicas que contribuyen a la dispersión están el sector agropecuario, la minería, las industrias metalúrgicas, electrónica, química y farmacéutica, de igual manera se dispersan por las aguas residuales, quema de combustibles y la acción de fumar (Jaishankar et al., 2014).

Otra fuente de metales pesados es el aceite usado de motor, que comúnmente es mal dispuesto de las actividades mecánicas, contiene metales pesados como plomo, zinc y cadmio, los cuales pueden acumularse en el suelo y liberarse posteriormente al ambiente por resuspensión de partículas o mediante procesos de volatilización parcial (Bahaa et al., 2008).

Los metales pesados al estar presente en el ambiente se caracterizan por ser tóxicos y peligrosos debido a su persistencia, bioacumulación, biotransformación y la elevada toxicidad, por lo que genera preocupación que se encuentren en el ambiente por períodos extensos porque naturalmente son difíciles de degradarse (Rodríguez, 2017).

2.2.8. Plomo

El plomo es un elemento que se encuentra presente en la capa superficial de la Tierra y de amplia distribución geográfica debido a que alcanza largas distancias por el accionar del viento depositándose en zonas lejanas al punto de contaminación, así mismo es de uso extendido y por su característica no biodegradable y gran persistencia en los medios (suelo, polvo, aire, agua) permiten que presente una elevada capacidad de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica poniendo en riesgo la contaminación del agua superficial y subterránea, así como también la producción agrícola y la salud humana (Moreno, 2018).

Por sus propiedades físico-químicas se caracteriza al plomo un metal pesado blando, dúctil, maleable, baja conductividad eléctrica, alta densidad y con resistencia a la corrosión. Este metal resulta de la fundición o refinamiento de las minas y el reciclaje o reutilización de materiales de residuos de plomo (Wani et al., 2015).

El plomo está presente en el ambiente e incluso en las viviendas. Gran parte de la exposición al metal proviene de las actividades humanas, como la combustión de combustibles fósiles, incluso el uso precedente de la gasolina con plomo, y a la pintura a base de plomo en las viviendas. Por lo que, el plomo y sus compuestos son utilizados en productos que se encuentran en el hogar lo que incluye las pinturas, cerámica, tuberías, soldaduras, gasolina y cosméticos. Tanto por los usos precedentes y actuales, el plomo ingresa al ambiente,

y cuando este es liberado al aire puede dispersarse hasta llegar a depositarse en el suelo, adhiriéndose a las partículas del suelo, y este puede infiltrar al agua subterránea dependiendo del compuesto de plomo y de las propiedades del suelo (EPA, 2024).

2.2.9. Efectos en la salud por plomo

Por vía respiratoria, el plomo ingresa en forma de aerosol de acuerdo con el tamaño de la partícula. Siendo las partículas mayores a 5 micras las que son eliminadas por el mecanismo del sistema mucociliar, mientras las partículas menores a 5 micras son absorbidas porque llegan a ingresar al tracto alveolar, lo que conlleva que en tan solo 24 horas ser absorbido en su totalidad (SRT, 2018).

La absorción del plomo por la vía gastrointestinal es mayor en los niños que en los adultos siendo 40 y 20% respectivamente. Además, la nutrición influye en la absorción del plomo, siendo el déficit de calcio o hierro, dietas ricas en grasas, ayunos constantes, ingesta de bebidas alcohólicas lo que acelera la absorción del plomo en el organismo (SRT, 2018).

Por la vía cutánea la absorción del plomo es baja, por lo que la piel transporta el plomo hasta llegar a la vía digestiva al organismo. Por lo que las manos contaminadas con plomo facilitan el ingreso del metal a través del agua, alimentos y el hábito del consumo de tabaco (SRT, 2018).

El plomo de la sangre pasa a los tejidos blandos, principalmente al hígado y riñón, pero en el caso de los niños el pasaje al sistema nervioso central es mayor. La permanencia del plomo en la sangre y en los tejidos blandos es de 30 días, siendo la mitad del plomo en la sangre liberada por los huesos, ya que en el hueso cortical la semivida del plomo es de 20 años y en el hueso trabecular es de un año (SRT, 2018).

2.2.10. Espectroscopia de absorción atómica

Es una técnica demasiado sensible y distintiva debido a que las líneas del espectro de absorción van de 0.002 a 0.005 nm por lo que se le considera estrechas, aparte que para cada elemento a analizar tiene un patrón único de líneas de absorción (Skoog et al., 2001).

La absorción atómica está compuesta por una fuente de radiación generalmente monocromática (única para cada elemento) o policromática, un atomizador que brinda la excitación de los átomos, un monocromador para la selección de la longitud de onda

de la radiación que caracteriza a cada elemento, un detector con sensibilidad a la radiación, un procesador de la lectura de salida (Gallegos et al.,2012)

El funcionamiento de la técnica consiste en que la radiación emitida por la fuente atraviesa el sistema de atomización, hasta llegar al monocromador que suprime la radiación que no es importante, dirigiéndose luego al detector de la radiación absorbida que llega a ser procesada y amplificada, finalizando con la lectura de salida (Gallegos et al.,2012).

2.2.11. Problemas ambientales de Tocache

El deterioro ambiental del distrito guarda conexión inmediata con el crecimiento demográfico y la tala indiscriminada causando el inadecuado uso de suelos, por lo que la gran parte del territorio presenta problemas debido a un ordenamiento territorial inadecuado, a consecuencia del beneficio agropecuario (MPT, 2008).

Según Jara (2024), el incremento precipitado de la población tocachina ha influido con el flujo vehicular causando la contaminación sonora y consecuencias en la salud de los pobladores, este ruido es ocasionado por el motor y partes mecánicas, fricción en el suelo y el uso excesivo del claxon alterando el bienestar social. Así mismo, se registra la falta de un adecuado acondicionamiento de las calles del distrito se reflejan cerca de un 80% de un estado regular y cerca de un 20% a un estado precario de las calles, por lo que también influido por el tráfico vehicular se altera la calidad de aire por la suspensión del material particulado (MPT, 2008).

El recurso hídrico del distrito se encuentra alterado por el uso de plaguicidas en el riego bajo de cultivos de arroz y el vertimiento de las aguas servidas directamente en los cuerpos de agua por la inexistencia de plantas de tratamiento, a ello se suma que el sector agroindustrial no realiza un correcto tratamiento de sus aguas residuales (MPT, 2008).

La problemática de los residuos sólidos se ve reflejada en el inadecuado manejo de residuos sólidos, sumando la escasa cantidad de contenedores en las áreas de recreación y así mismo, a la gran cantidad de áreas degradadas debido a que no hay infraestructura adecuada para la disposición final y reciclaje de los residuos sólidos. En el caso de la disposición final se realiza en el botadero “Las Charapitas” y para el reciclaje el punto de acopio no tiene buenas condiciones para el almacenamiento temporal de los residuos aprovechables. Por lo que la deficiencia se traduce a la escasa planificación y desarrollo del

servicio de limpieza urbana, a lo que también se suma la escasa pulcritud y educación ambiental de la población. (MPT, 2016).

2.2.12. Marco normativo

2.2.12.1. Normas a nivel nacional

A) Constitución política del Perú

Según el numeral 22 del artículo 2, Título I de la Constitución Política del Perú constituye que la población peruana tiene derecho a la paz, tranquilidad, goce del tiempo libre, descanso y de gozar de un ambiente sostenible. Además, los artículos 66 y 67 del capítulo II, Título III, establecen que los recursos naturales son patrimonio del país, por lo que el estado impulsa el desarrollo sostenible y su conservación (Congreso de la República del Perú, 1993).

B) Ley N°28611: Ley General del Ambiente

Según el inciso 2, del artículo 33 de la Ley N° 28611 establece que la Autoridad Ambiental Nacional elabora los Estándares de Calidad Ambiental, Límites Máximos Permisibles y otras referencias para el control y protección del medio ambiente, como lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de otras entidades internacionales especializadas en temas ambientales. Asimismo, el artículo I establece que todas las personas están en su derecho irrevocable a vivir en un ambiente seguro para su salud, equilibrado y apropiado para el desarrollo de su vida y es deber de proteger el ambiente asegurando la salud humana, la conservación de la biodiversidad, aprovechamiento de los recursos naturales de forma sostenible (MINAM, 2005).

C) Ley N° 26842: Ley General de Salud

En el artículo 105 establece que la autoridad de salud correspondiente se encarga de establecer las acciones necesarias para reducir y controlar los riesgos para la salubridad derivado de agentes extraños del medio ambiente en conformidad con la ley (Ministerio de Salud, 1997).

D) Normas nacionales de calidad ambiental para partículas atmosféricas sedimentables

En el Perú, no existe una normativa que establezca estándares de calidad ambiental para partículas atmosféricas sedimentables. Por ello, instituciones nacionales como DIGESA y SENAMHI emplean el valor guía de referencia (0.5 mg/cm²/mes) propuesto

por la Organización Mundial de Salud (OMS) para sus estudios y monitoreos (Marcos et al., 2008).

Tabla 2. Estándar de calidad ambiental de partículas atmosféricas sedimentables para diferentes métodos de muestreo.

Institución	Tiempo promedio	Valor guía de referencia OMS		Técnica - Método
		t/km ² /mes	mg/cm ² /mes	
DIGESA - Dirección General de Salud Ambiental	30 días	5	0.5	Gravimétrico - Estudio de polvo sedimentable (jarras)
SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	30 días	5	0.5	Gravimétrico - Estudio de polvo sedimentable (jarras), polvo atmosférico (placas receptoras)

Fuente: DIGESA, 2005.

E) Normas nacionales de calidad ambiental para plomo

La concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables se compara con los Estándares de calidad Ambiental (ECA) para suelo, debido a que en el país no existe valores normativos específicos para este parámetro en el aire. Por ello, el suelo constituye el medio receptor final de las partículas atmosféricas sedimentables (Aguirre, 2024)

El Decreto Supremo N°011-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, estableciendo para el parámetro plomo el valor de 140 mg /kg PS, para uso de suelo de tipo residencial/parques (MINAM, 2017).

2.2.12.2. Normas a nivel internacional

A) Partículas atmosféricas sedimentables

Para estudios de partículas atmosféricas sedimentables otros países presentan sus normas que establecen los estándares de calidad ambiental (Marcos et al., 2008).

Tabla 3. Estándar de calidad ambiental para PAS en diferentes países

País	Tiempo promedio	Estándar de calidad ambiental		Técnica
		mg/cm ² /30 días		
Argentina	30 días	1		Gravimetría
Suiza	30 días	0.60		Gravimetría
Costa Rica	30 días	1		Gravimetría

País	Tiempo promedio	Estándar de calidad ambiental mg/cm²/30 días	Técnica
Ecuador	30 días	1	Gravimetría
Colombia	30 días	1	Gravimetría
Chile	30 días	0.50	Gravimetría
México	30 días	1	Gravimetría

Fuente: CEPIS, 2005.

B) Plomo

US-EPA (2011), establece los estándares de calidad ambiental para plomo en polvo urbano, siendo 40 µg Pb/pie² para el polvo acumulado en el piso y 10 µg Pb/pie² para el polvo acumulado en el marco de las ventanas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en la recolección de muestras de los ambientes exteriores e interiores de la zona urbana del distrito de Tocache y la segunda etapa consistió en analizar las muestras en el laboratorio del Complejo Industrial OLPESA y Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.1.1. Ubicación política

El área de estudio se ubica en la zona urbana del distrito de Tocache, provincia de Tocache y departamento de San Martín.

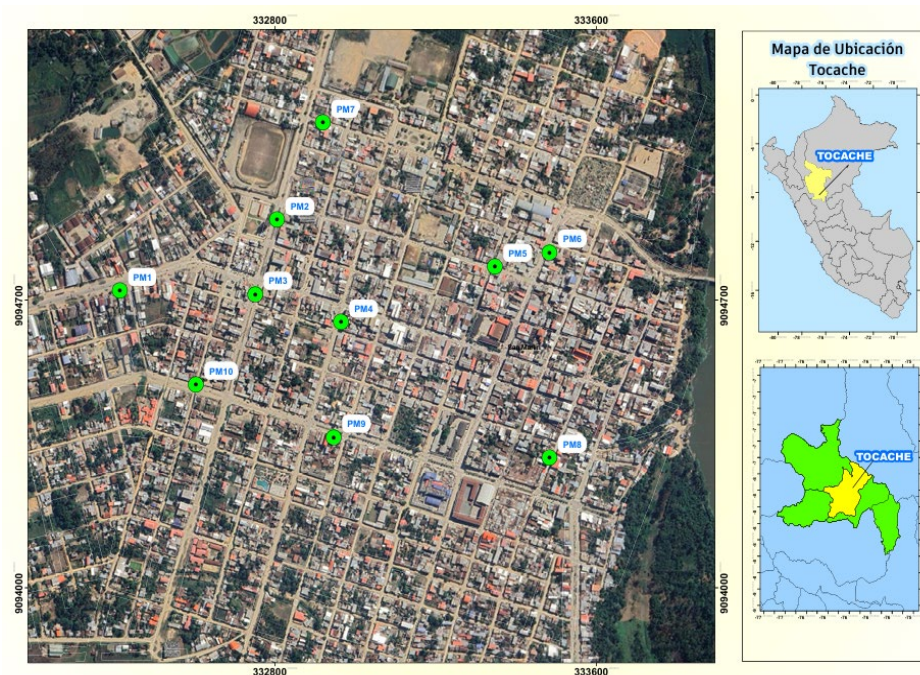


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Tocache.

(Ver Anexo A)

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas:

Tabla 4. Características y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

Punto de Muestreo	Dirección	Tipo de superficie vial	Características	Este (m)	Norte (m)
PM1	Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15	Pavimentada	Vivienda ubicada en vía de alto flujo vehicular y cercano a talleres de soldadura	332414	9094723
PM2	Av. Belaunde Cdra. 8	No Pavimentada	Vivienda ubicada en vía habilitada para tránsito pesado y cercana a talleres mecánicos	332805	9094895
PM3	Av. Belaunde Cdra. 10	No Pavimentada	Vivienda ubicada cerca de talleres mecánicos	332751	9094714
PM4	Av. Aviación Cdra. 5	No Pavimentada	Vivienda ubicada en vía de alto flujo vehicular y cercano a taller mecánico	332964	9094646
PM5	Jr. Pedro Gómez Cdra. 6	No Pavimentada	Vivienda ubicada en vía de alto flujo vehicular	333347	9094782
PM6	Jr. Jorge Chávez Cdra. 2	No Pavimentada	Vivienda ubicada cerca a taller mecánico y agencias de transporte terrestre	333483	9094816
PM7	Jr. Miguel Grau Cdra. 2	No Pavimentada	Vivienda ubicada en vía habilitada para tránsito pesado	332919	9095132
PM8	Jr. San Juan Cdra. 7	Pavimentada	Vivienda ubicada cerca a zona comercial	333483	9094317
PM9	Av. Ricardo Palma Cdra. 8	Pavimentada	Vivienda ubicada cerca a zona comercial	332946	9094366
PM10	Av. Ricardo Palma Cdra. 12	No Pavimentada	Vivienda ubicada cerca a taller de soldadura	332603	9094495

3.1.3. Aspectos climatológicos

El distrito de Tocache se caracteriza por un clima tropical, cálido y húmedo, distinguiéndose dos estaciones: seca (5 meses) y lluviosa (7 meses). Por un lado, el verano es corto, cálidos y parcialmente nublado, mientras que el invierno es más alargado, húmedos, frecuentemente nublado y lluvioso. La temperatura promedio anual es de 27 °C, con máxima de 33 °C y mínima de 21 °C.

La temporada más húmeda del año dura 8 meses (octubre a junio) y durante ese tiempo es bochornoso e insoportable por lo menos durante un corto de tiempo. El mes con más días calurosos en Tocache es marzo, con 15 días bochornosos bruscos. Además, la velocidad promedio del viento por hora en Tocache no cambia notablemente durante el año y permanece en un margen promedio de 4.8 km/h (Weather Spark, 2023).

Los datos meteorológicos en los cuatro meses de evaluación (setiembre a diciembre, 2024) se encuentran en el Anexo H.

3.1.4. Actividades socioeconómicas

El distrito de Tocache presenta actividad agropecuaria predominante, siendo el cultivo de palma aceitera el más emblemático, seguido por el cacao, plátano y pastizales de arroz; así mismo, se destaca desarrollo agroindustrial, representado principalmente por la extracción de aceite de la palma aceitera por parte de las agroindustrias OLPESA e INORTSA y otras plantas artesanales de cacao.

A las actividades socioeconómica, se suman otras actividades como la de transportes, comercio, etc. que ocupan alrededor del 30% de la población económicamente activa. Por otro lado, el desarrollo de la piscicultura y turístico se encuentra deficiente, siendo el primero por la contaminación del agua por el uso de indiscriminado de agroquímicos en actividades agrícolas, y la segunda porque no se mejoran las vías de acceso incluso en la zona urbana donde se desarrolla el comercio (IIAP, 2006).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Placas Petri de poliestireno de 90 x15 mm, soportes para muestras de ambiente interior y exterior, caja térmica de tecnopor, parafilm, piceta, micropipeta, tubos de centrífuga de 50 ml, embudo de vidrio, vaso precipitado de 1 L, pinza, guardapolvo, guantes, toca desechable, tablero de apuntes, papel bond A4, plumón indeleble, etiquetas de rotulado, lapicero.

3.2.2. Equipos

Balanza analítica marca OHAUS modelo PX323/E PIONEER, GPS marca Garmin modelo Map 62, Laptop marca Acer modelo Nitro AN515-55, Estufa marca Memmert, Espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.3. Insumos

Agua destilada, ácido nítrico, gel refrigerante.

3.2.4. Programas de computador

Microsoft Word, Microsoft Excel, ArcGis 10.8.1, AutoCAD 2021, IBM SPSS Statistics.

3.3. Análisis de estudio

3.3.1. Nivel de investigación

Nivel descriptivo - correlacional porque no se manipularon las variables, solo se realizaron observaciones y mediciones con el fin de determinar el grado de asociación entre los niveles de plomo y las partículas atmosféricas sedimentables en la zona urbana del distrito de Tocache.

3.3.2. Tipo de investigación

La investigación es aplicada porque recurre la aplicación de ciencias básicas como es la química analítica y la práctica permite encontrar respuestas en cuanto a los niveles de plomo en las partículas atmosféricas sedimentables de la zona urbana del distrito de Tocache.

3.3.3. Variables de estudio

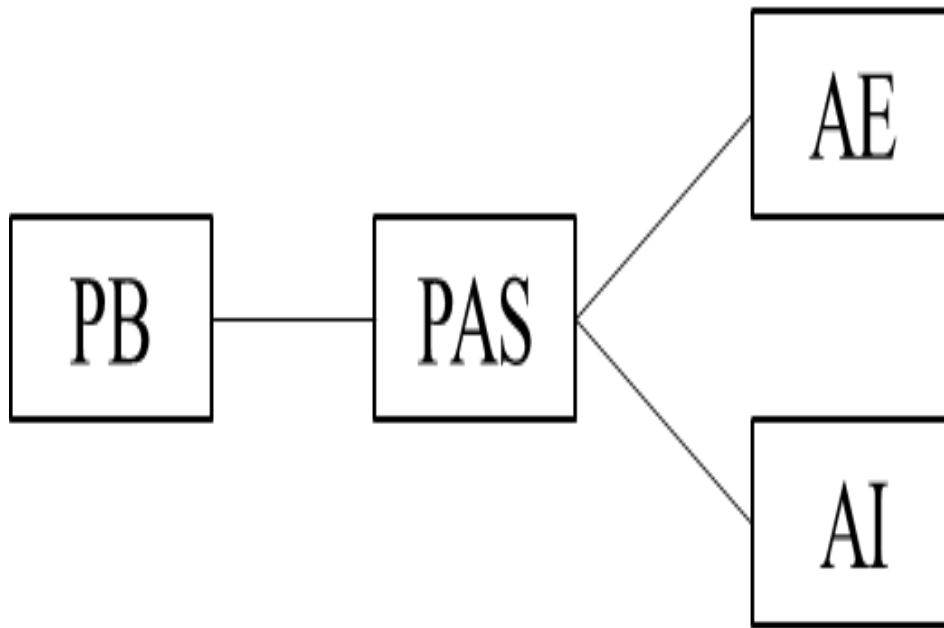
Variable independiente: Partículas atmosféricas sedimentables

Variable dependiente: Niveles de plomo

Variable interviniente: Flujo vehicular, tipo de ambiente, época del año, factores ambientales, puntos de muestreo, factores sociales.

3.3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, transeccional correlacional, porque se describió la relación entre las variables niveles de plomo y las partículas atmosféricas en los ambientes exteriores e interiores de la zona urbana del distrito de Tocache durante un semestre.



Donde: [PB]: Concentración de plomo, [PAS]: Concentración de partículas atmosféricas sedimentables, [AE]: Ambiente exterior, [AI]: Ambiente interior

Figura 2. Diseño experimental

3.3.5. Población y muestra

La población estuvo conformada por 10 puntos de muestreo, siendo estos las viviendas del área en estudio, determinados por conveniencia según el análisis de flujo vehicular. En cada punto de muestreo se distribuyeron 02 muestras, tanto para ambiente exterior e interior.

3.3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos usados en la investigación se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Etapa	Fuente	Técnica	Instrumento
Determinación del flujo vehicular de los puntos de muestreo	Zona urbana del distrito de Tocache	Observación	Mapa urbano del distrito de Tocache Registro de conteo de vehículos por categoría
Ubicación de los puntos de muestreo	Zona urbana del distrito de Tocache	Observación	Mapa urbano del distrito de Tocache Padrón de puntos de muestreo

Etapa	Fuente	Técnica	Instrumento
Recolección de las muestras de los puntos de muestreo	Zona urbana del distrito de Tocache	Método pasivo de placas receptoras	Registro de control de inicio y salida de las muestras
Determinación de la concentración de las partículas atmosféricas sedimentables	Laboratorio del Complejo Industrial OLPESA	Gravimetría	Registro de datos de PAS Cuaderno de notas para cálculos
Determinación de la concentración de plomo presente en las partículas atmosféricas sedimentables	Laboratorio de Análisis de Suelos UNAS	Espectrometría de absorción atómica	Certificado de Análisis de plomo en PAS Registro de concentración de plomo en PAS

3.3.7. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó cuadros y gráficos que permitió interpretar mejor los resultados mediante el uso del Microsoft Excel, así mismo, se determinó si los puntos de muestreo de cada variable presentaban distribución normal mediante Prueba de Shapiro-Wilk. En los puntos de muestreo con normalidad en sus datos se aplicó la prueba de Pearson, mientras que en los puntos de muestreo sin normalidad en sus datos se aplicó la Prueba de Spearman, para determinar el nivel correlación entre las variables, con la ayuda del software IBM SPSS Statistics.

Tabla 6. Valores de coeficiente de r, rho y fuerza de correlación

Valores de coeficientes de r y rho	Fuerza de Correlación
0.00 < 0.1	No hay correlación o es débil
0.1 < 0.3	Poca correlación
0.3 < 0.5	Correlación media
0.5 < 0.7	Correlación alta
0.7 < 1	Correlación muy alta

3.4. Metodología

3.4.1. Flujo vehicular de los puntos de muestreo

El flujo vehicular se evaluó únicamente durante una semana al inicio del estudio, con el fin de identificar las vías con mayor tránsito, y de esta manera, seleccionar estratégicamente los puntos de muestreo más representativos en la zona urbana del distrito de Tocache.

Para determinar el flujo vehicular se contó la cantidad de vehículos que circulan durante 10 minutos (vehículos/minuto) en el horario diurno y nocturno del día. Además, se tuvo en cuenta el tipo de vehículo, siendo categorizados en: motocicletas, vehículos livianos (trimóviles, autos, camionetas) y vehículos pesados (buses, camiones, semi tráiler, tráiler), para obtener un panorama general del tránsito según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Ver Anexo A).

3.4.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables en ambiente exterior e interior

Con el debido permiso de los dueños de las viviendas, se procedió a ubicar los soportes con las placas receptoras en los ambientes interiores y exteriores durante los 4 meses que duró el muestreo (setiembre – diciembre).

SENAMHI, 2008, recomienda la metodología de muestreo pasivo, siendo este el de placas receptoras, método que consiste en usar placa con una sustancia adherente como la vaselina para el atrapamiento de las PAS durante un mes. En esta investigación, se utilizó dos placas para cada ambiente, la primera placa con vaselina se utilizó para determinar la concentración de PAS y la segunda placa sin vaselina se utilizó para analizar posteriormente la concentración de plomo de PAS.

En cada mes de muestreo las placas fueron recolectadas y remplazadas con otra placa para el muestreo del mes siguiente; luego las muestras recogidas fueron trasladadas al Laboratorio del Complejo Industrial de OLPESA con los cuidados correspondientes para el análisis gravimétrico.

3.4.2.1. Partículas atmosféricas sedimentables en ambiente exterior

Para la determinación de PAS de ambiente exterior, se contó con soportes metálicos ubicados en los balcones de las viviendas seleccionadas como puntos de muestreo, a una distancia aproximada de 3 metros sobre la superficie. Se tomó esa ubicación,

con el objetivo de garantizar la seguridad de las muestras de actos vandálicos, exposición con el ambiente exterior y sobre todo que se encuentre alejado de obstáculos que puedan interferir con la deposición de las partículas atmosféricas sedimentables.

Se colocó las placas receptoras de PAS en la plataforma de los soportes de cada punto de muestreo, a una altura de 1.5 metros sobre el piso del balcón. Así mismo, para evitar la exposición a las precipitaciones sin alterar el proceso natural de captación, se consideró que los soportes tengan un techo ubicado a 30 cm hacia arriba de las placas. También, las muestras fueron protegidas con jaulas de malla metálica para evitar presencia de insectos y otros materiales grotescos.

3.4.2.2. Partículas atmosféricas sedimentables en ambiente interior

Para la determinación de PAS de ambiente interior, se contó con soportes metálicos ubicados en espacios de mayor convivencia familiar de las viviendas seleccionadas como puntos de muestreo.

Se colocó las placas receptoras de PAS en la plataforma de los soportes de cada punto de muestreo, a una altura de 1.5 metros sobre el piso. Así mismo, para evitar la presencia de insectos y otros materiales grotescos, se protegieron las placas con jaulas de malla metálica.

3.4.2.3. Cálculo de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables

Para este estudio se aplicó el método gravimétrico, donde previo a colocar las placas para el muestreo, fueron pesadas para determinar el peso inicial (W_i), y luego de realizar el muestreo también fueron pesadas para determinar peso final (W_f) mediante el uso de una balanza analítica digital. El peso de las partículas atmosféricas sedimentables (WPAS) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$W_{PAS} = \Delta W = W_f - W_i \quad (1)$$

Donde:

WPAS: Peso de partículas atmosféricas sedimentables (mg)

ΔW : Diferencia entre peso inicial y final (mg)

W_i : Peso inicial (mg)

W_f : Peso final (mg)

Posteriormente, para determinar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables se aplica la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\left(\frac{\Delta W}{A}\right)}{\text{mes}} \quad (2)$$

Donde:

C: Concentración de PAS (mg/cm²/mes)

ΔW: Diferencia entre peso inicial y final (mg)

A: Área de la placa petri = π*r² (cm²)

3.4.3. Concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior

Las muestras provenientes de la placa sin vaselina fueron lavadas con agua destilada hasta aforar 30 ml en tubos de centrífuga, luego fueron trasladadas hacia el Laboratorio de Análisis de Suelos UNAS dentro de una caja térmica de tecnopor manteniendo la refrigeración con gel refrigerante para la conservación de la muestra. En el laboratorio, a las muestras se les añadió 10 ml de ácido nítrico y se dejó reposar por 24 horas para luego pasar por digestión ácida para posteriormente filtrar 10ml de la muestra y se determine la concentración de plomo mediante espectrometría de absorción atómica.

3.4.4. Nivel de correlación entre partículas atmosféricas sedimentables y plomo

Se determinó la prueba de normalidad de los datos de cada punto muestreo de las variables mediante la Prueba de Shapiro-Wilk. Para los puntos de muestreo que siguen una distribución normal se aplicó la Prueba de Pearson. Por el contrario, los puntos de muestreo sin distribución normal se aplicó la Prueba de Spearman, por lo que, ambas pruebas permiten determinar el nivel de correlación entre la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del flujo vehicular de los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache.

La tabla 7 presenta el registro del flujo vehicular promedio diario, medido en intervalos de 10 minutos durante una semana previa a la recolección de muestras de partículas atmosféricas sedimentables, en diez puntos de muestreo seleccionados por el tráfico vehicular en la zona urbana del distrito de Tocache.

Tabla 7. Registro del flujo vehicular promedio diario por punto de muestreo durante una semana en la zona urbana del distrito de Tocache.

Puntos de muestreo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio	Coefficiente de variación
PM1	21	16	17	15	15	18	16	17	12%
PM2	13	11	10	11	13	12	11	12	9%
PM3	12	11	9	12	11	14	13	12	12%
PM4	17	9	15	17	14	16	19	15	20%
PM5	15	12	15	15	17	13	10	14	15%
PM6	12	12	11	12	13	14	12	12	7%
PM7	10	9	11	12	11	12	12	11	10%
PM8	12	10	11	11	14	13	11	12	11%
PM9	9	12	12	11	11	13	12	11	11%
PM10	13	14	16	18	13	11	10	14	18%

Se registraron los mayores flujos vehicular con 17, 15 y 14 vehículos/min, lo que coincide con su localización en avenidas principales o zonas de alto tránsito como PM1 (Av. Fredy Aliaga Cdra. 15), PM4 (Av. Aviación Cdra. 5), PM5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), y PM10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), cuyas áreas se caracterizan por alta circulación de vehículos livianos y mototaxis. En contraste, se presentaron los promedios más bajos de flujo vehicular con 11 vehículos/min en PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2) y PM9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8), ubicándose en sectores más residenciales, donde el tránsito vehicular es reducido pero mayor a los descartados, visualizándose en el Anexo B.

El punto de muestreo PM4 (Av. Aviación Cdra. 5), presentó un coeficiente de variación del 20%, cuyo valor es superior a los demás puntos de muestreo, que oscilan entre 7% y 18%. Este resultado indica la variabilidad de los datos respecto a la media, es decir, que el flujo vehicular registrado en este punto fue irregular en la semana de evaluación, siendo el martes el día con menor flujo vehicular. Además, esta variación se explica por las características propias de la vía, al ser una vía principal con alta dinámica de circulación, intersecciones,

semáforos y la influencia de eventos ocasionales, hace que se generen picos y descensos entre horas o días.

La figura 3 permite visualizar las diferencias en el flujo vehicular promedio entre los puntos de muestreo evaluados, resaltando la distribución del tránsito en la zona urbana de Tocache.

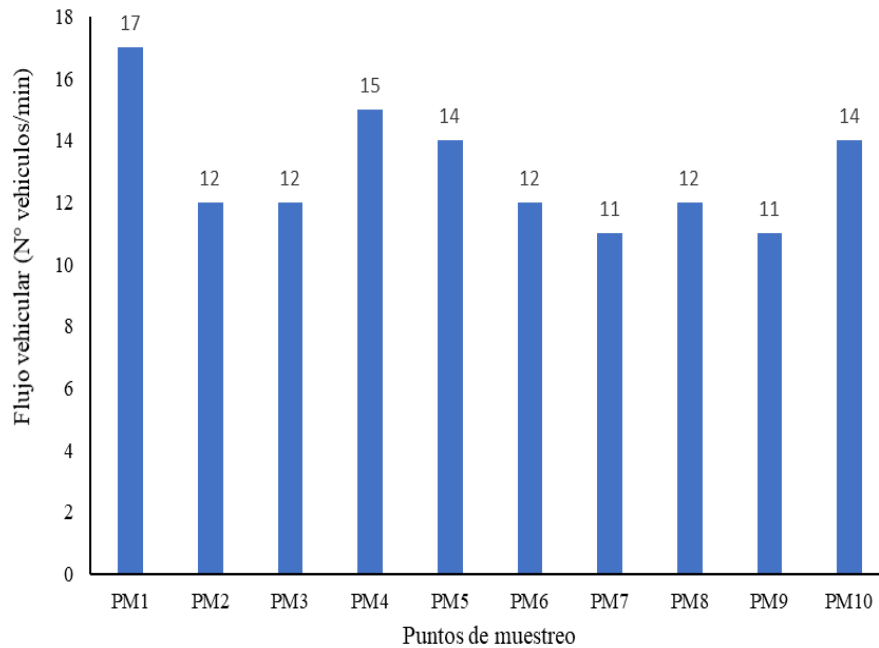


Figura 3. Flujo vehicular promedio en los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache.

El punto de muestreo PM1 (Av. Fredy Aliaga Cdra. 15) registró el flujo vehicular promedio más alto con 17 vehículos/min, mientras que los puntos de muestreo PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2) y PM9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8) mostraron los valores más bajos con 11 vehículos/min. Los 10 puntos de muestreo reflejan las condiciones predominantes del tránsito en la zona urbana, teniendo influencia con las partículas atmosféricas sedimentables. Por su parte, García (2024), expresa que el flujo vehicular contribuye significativamente al aumento de partículas gruesas en las vías debido al desgaste del pavimento, fricción de los neumáticos y frenos, así como a la resuspensión del polvo de las vías sin pavimentar.

La figura 4 evidencia la distribución de vehículos registrados por categoría (motocicletas, vehículos livianos y vehículos pesados) en los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache durante la semana evaluada, evidenciándose 67% (866) de

vehículos livianos (trimóviles, autos y camionetas), un 31% (398) de motocicletas y un 2% (23) de vehículos pesados (bus, camión, semi tráiler, tráiler).

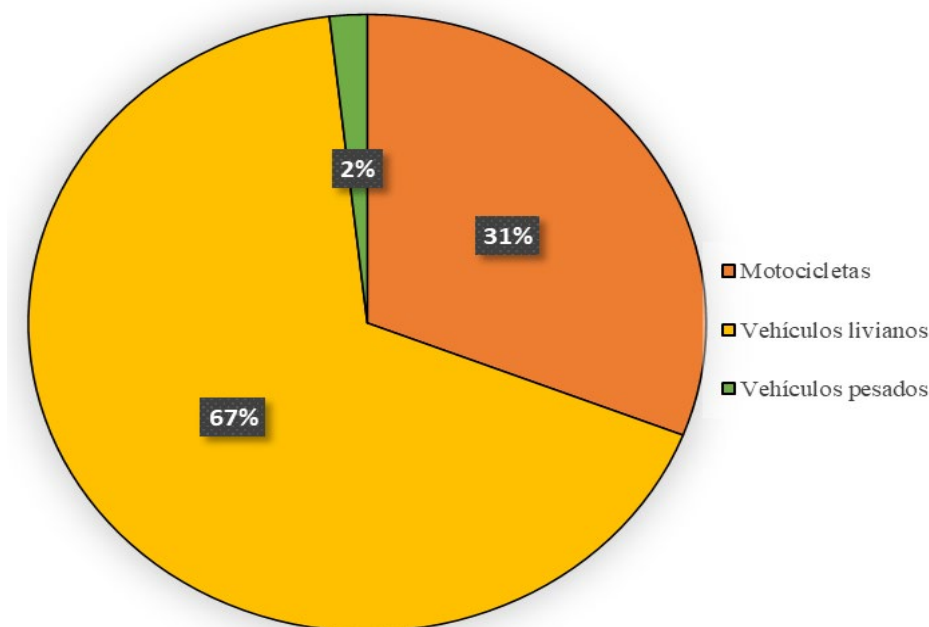


Figura 4. Distribución de vehículos por categoría en la zona urbana del distrito de Tocache

El 67% que representa los vehículos livianos es debido a que hay mayor cantidad de trimóviles que transitan por todos los puntos de muestreo. Por otro lado, la mayor cantidad de motocicletas transitan por PM9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8) y PM1 (Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15). Además, en todos los casos la presencia de vehículos pesados es baja, a excepción de PM1 (Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15), PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8) y PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2) son vías destinadas para la circulación de vehículos de esa categoría. La clasificación vehicular condiciona la distribución de partículas, siendo las motocicletas y vehículos livianos los que generan partículas finas, en tanto, los vehículos pesados aportan en la resuspensión de las partículas atmosféricas sedimentables (García, 2024).

Los sectores con mayor intensidad de tránsito corresponden a áreas donde circulan principalmente motocicletas y vehículos livianos, lo que sugiere que el volumen total del flujo está influenciado tanto por la ubicación estratégica de las vías como por el tipo de transporte más empleado por la población local. La elevada frecuencia de vehículos livianos en los puntos con mayor flujo, junto con una notable presencia de motocicletas confirma un patrón de movilidad urbana orientado a unidades de transporte rápido. La influencia del flujo vehicular por circulación constante de vehículos, aumenta la concentración de partículas atmosféricas, del mismo modo, el estado técnico de los vehículos influye considerablemente (García, 2024).

4.2. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache

La tabla 8 presenta las concentraciones mensuales de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambientes exteriores (PSE) durante los cuatro meses de evaluación en los diez puntos de muestreo.

Tabla 8. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambiente exterior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

Punto de muestreo	Código	PAS (mg/cm ² /mes)				Promedio	Coeficiente de variación
		Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
PM1	PSE1	1.868	1.181	1.093	0.811	1.238	36%
PM2	PSE2	10.644	8.635	4.741	4.793	7.203	41%
PM3	PSE3	6.573	4.423	2.256	1.674	3.732	60%
PM4	PSE4	2.485	1.833	1.145	0.864	1.582	46%
PM5	PSE5	11.560	8.371	5.851	4.635	7.604	40%
PM6	PSE6	7.313	11.261	5.921	5.304	7.450	36%
PM7	PSE7	9.411	4.547	1.410	0.811	4.044	97%
PM8	PSE8	1.128	0.969	0.652	0.881	0.908	22%
PM9	PSE9	1.533	0.987	0.441	0.335	0.824	67%
PM10	PSE10	3.807	3.877	2.044	1.568	2.824	42%
Promedio		5.632	4.608	2.555	2.168		

En la tabla 8, se observa que todos los puntos de muestreo a excepción de PM9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8), presentaron concentraciones que superan el valor de referencia establecido por la OMS (0.5 mg/cm²/mes) durante los cuatro meses evaluados, registrándose en los meses de noviembre y diciembre los valores de 0.441 y 0.335 mg/cm²/mes respectivamente. Por otro lado, el valor más alto de PAS fue registrado en PM5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), alcanzando el pico en el mes de setiembre con un valor de 11.560 mg/cm²/mes.

Además, se muestra que los valores tienen alto coeficiente de variación, superior al 30% lo que demuestra que hay variabilidad entre los datos obtenidos en cada mes de evaluación en conexión con su promedio. La única excepción fue el punto de muestreo PM8 (Jr. San Juan Cdra. 8) con un coeficiente de variación del 22%, representando así que el promedio es representativo y tiene poca variabilidad entre los datos.

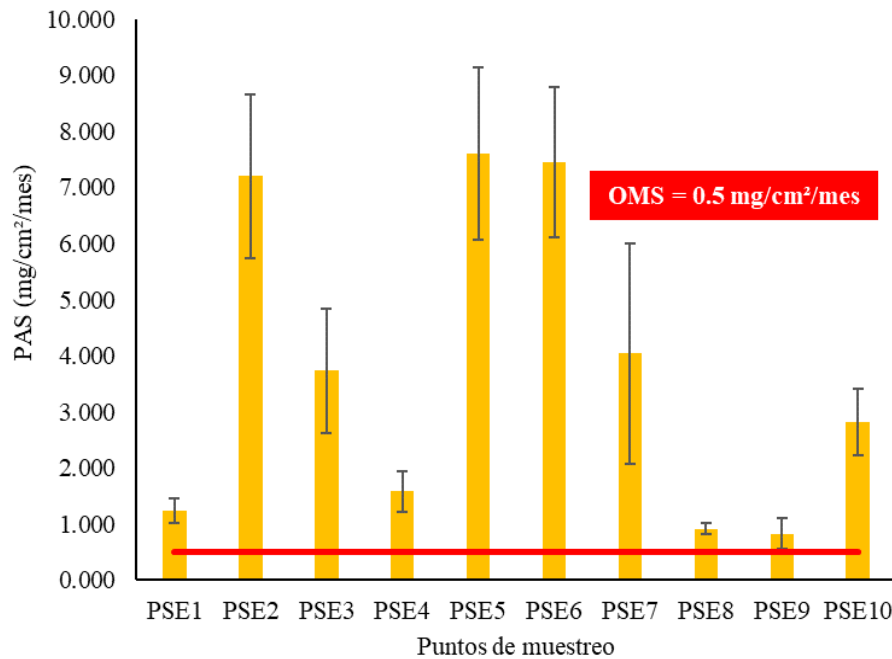


Figura 5. Concentración promedio de PAS en ambiente exterior por punto de muestreo respecto al valor de referencia establecido por la OMS.

La figura 5 muestra la concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambiente exterior (PSE) por punto de muestreo. De ello, se evidencia que, los puntos de muestreo exponen valores por encima del valor de referencia establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$).

La muestra PSE5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), presenta la mayor carga de PAS, alcanzando una concentración promedio de $7.604 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. De manera similar, las muestras PSE2 (Jr. Belaunde Cdra. 8) y PSE6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 6) registran niveles elevados con un promedio superior a $7 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Por otro lado, la muestra PSE9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8), presenta la concentración promedio más baja de PAS con un valor de $0.829 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$.

Las muestras con las concentraciones promedio más bajas son las viviendas ubicadas en vías pavimentadas PSE1 (Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15), PSE8 (Jr. San Juan Cdra. 7) y PSE9 (Av. Ricardo Palma Cdra. 8), con valores que no sobrepasan los $1.25 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y superando el valor de referencia establecido por la OMS. Por su parte Aldoradin y De la Cruz (2023), obtuvieron 5 puntos de muestreo que sobrepasan el valor de referencia, con valores que no sobrepasan los $1.25 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Este resultado concuerda plenamente con lo hallado en los puntos de muestreo ubicados en vías pavimentadas.

En todos los puntos de muestreo al aire libre, los valores superaron ampliamente el valor de referencia establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), con mayor intensidad en los puntos de muestreo PM5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) y PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8), coincidentes con zonas de alto tránsito vehicular y vías sin pavimentar. Esta tendencia concuerda con lo encontrado por Cevallos (2022), que determina que el tránsito y las condiciones deficientes de las vías influyen directamente en el aumento de partículas sedimentables. Así mismo, los resultados son respaldados a nivel local por el estudio de Quiroz (2019), quien evidenció una relación directa entre el polvo acumulado en calles urbanas no asfaltadas y los niveles de PAS registrados en zonas residenciales de Uchiza, de la provincia de Tocache, señalando también la falta de medidas de control ambiental.

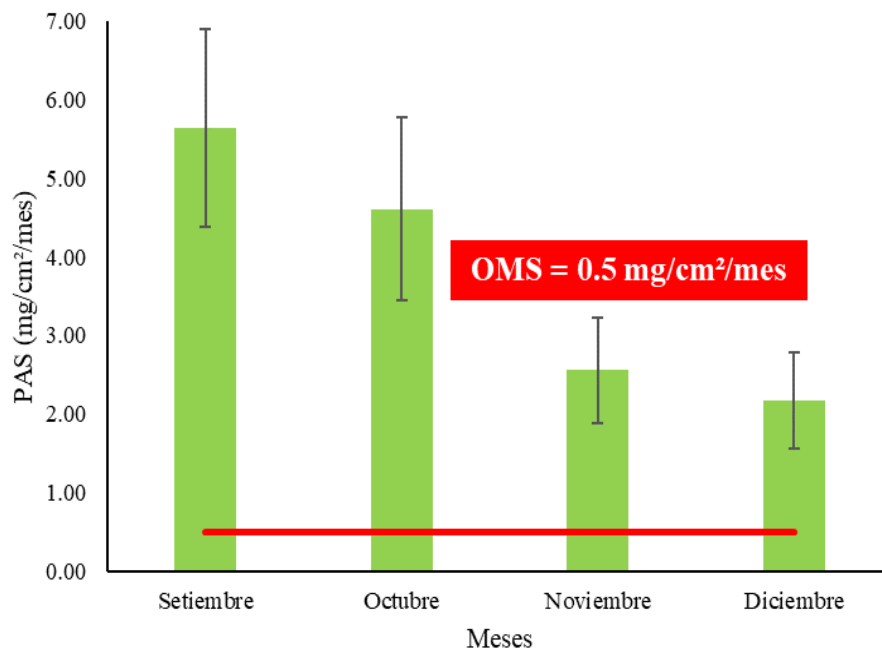


Figura 6. Concentración promedio de PAS en ambiente exterior por mes de evaluación respecto al valor de referencia establecido por la OMS.

La figura 6 muestra la concentración promedio de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) por mes de evaluación, con el valor de referencia establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) indicado por la línea roja. Se registró en el mes de setiembre una mayor concentración promedio de PAS, alcanzando un valor de $5.63 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, de ahí se puede identificar que al pasar los otros meses la concentración promedio se reduce gradualmente, llegando en el mes de diciembre a obtener una concentración promedio de $2.17 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$.

El motivo por el cual la concentración de partículas atmosféricas sedimentables se redujo gradualmente se vio reflejado con las condiciones meteorológicas, ya que en los meses

de noviembre y diciembre se registraron más días con precipitaciones. Sin embargo, Quiroz (2019), determinó que en el mes de diciembre se presentó la concentración promedio de PAS más alta en el distrito de Uchiza, tanto para vía pavimentada y no pavimentada siendo los valores 0.666 y 0.910 mg/cm²/mes respectivamente, registrándose en ese mes, días con pocas precipitaciones. Este resultado contradice a lo hallado, ya que, entre los distritos de la provincia de Tocache no se tienen las mismas condiciones meteorológicas, sumado a ello en el distrito de Uchiza el flujo vehicular es más reducido.

En los meses de noviembre y diciembre se registraron más lluvias torrenciales, asociadas a una mayor frecuencia de vientos. Según Zevallos (2022), el hecho de ubicar los puntos de muestreo en dirección al viento permite determinar las condiciones de distribución y transporte, siendo la velocidad del viento, el factor que dispersa con facilidad las partículas atmosféricas sedimentables en el área de estudio y la dirección del viento el factor que indica la zona de desplazamiento. Sin embargo, en esta investigación no se evaluó la dirección y velocidad del viento, por ello, los datos registrados en los puntos de muestreo son muy variables, incluso teniendo las mismas características del entorno, por lo que influye la ubicación del punto de muestreo. En contraste, García (2024), expresa en su estudio que las partículas atmosféricas sedimentables son guiadas por la dirección del viento, influyendo en el arrastre de forma dirigida, mientras que la concentración se disipa a medida que aumenta la velocidad del viento, lo cual se descarta, que la velocidad del viento influye significativamente en un aumento significativo de concentración de PAS.

Tabla 9. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) en ambiente interior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

Punto de muestreo	Código	PAS (mg/cm ² /mes)				Promedio	Coeficiente de variación
		Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
PM1	PSI1	0.106	0.106	0.176	0.123	0.128	26%
PM2	PSI2	0.511	0.300	0.723	0.300	0.458	44%
PM3	PSI3	1.198	1.621	1.022	0.335	1.044	51%
PM4	PSI4	0.370	0.634	0.282	0.018	0.326	78%
PM5	PSI5	0.247	0.670	0.564	0.582	0.515	36%
PM6	PSI6	10.292	6.591	2.925	2.203	5.503	68%
PM7	PSI7	0.141	0.088	0.035	0.035	0.075	68%
PM8	PSI8	0.176	0.405	0.405	0.247	0.308	37%
PM9	PSI9	0.088	0.282	0.317	0.070	0.189	68%
PM10	PSI10	0.317	0.881	0.159	0.070	0.357	102%
Promedio		1.345	1.158	0.661	0.398		

En la tabla 9, se observa que el punto de muestreo PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) presenta las mayores concentraciones de PAS durante todos los meses de evaluación, incluso superan el valor de referencia establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), registrándose en los meses de setiembre y octubre los valores más preocupantes con 10.292 y $6.591 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ respectivamente. Por otro lado, los valores más bajo de PAS fueron registrado en PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2), alcanzando el valor más bajo con 0.035 mg/cm^2 en los dos últimos meses.

Además, se muestra que la mayoría de los valores tienen alto coeficiente de variación, superior al 30% lo que demuestra que hay variabilidad entre los datos obtenidos en cada mes de evaluación en conexión con su promedio. La única excepción fue el punto de muestreo PM1 (Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15) con un coeficiente de variación del 26%, representando así que el promedio es representativo y tiene poca variabilidad en los datos.

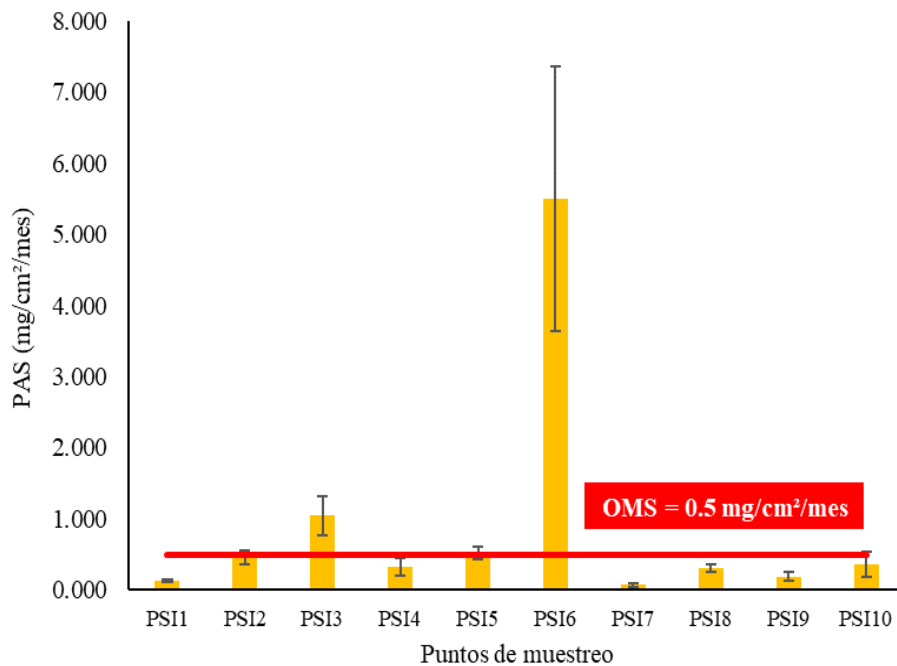


Figura 7. Concentración promedio de PAS en ambiente interior por punto de muestreo respecto al valor de referencia establecido por la OMS.

En la figura 7, se observa que muestra PSI6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) presentó la concentración promedio de PAS más elevada en ambiente interior, alcanzando un valor de $5.503 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. En contraste, los demás puntos de muestreo, tuvieron una concentración promedio de PAS por debajo del valor de referencia establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), siendo la muestra PSI7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2), la que presentó la concentración promedio de PAS más baja con $0.075 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Al Hejami, et al. (2020), quien sostiene que, en zonas con condiciones precarias de infraestructura urbana, el polvo exterior puede influir significativamente en la calidad del aire interior. Por ello, el punto de muestreo PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) al estar ubicado en una vivienda sin ventanas, se infiltra con facilidad el polvo exterior. En contraste, el punto de muestreo PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2) se ubicó en una vivienda, cuya puerta y ventana tenían umbrales sellados, lo cual el polvo exterior no se infiltraba con simplicidad.

Las concentraciones de PAS en ambientes interiores se asemejan a los resultados obtenidos por Livia (2020), cuya mayor concentración promedio fue de 1.148 mg/cm²/mes en el punto de muestreo de Castillo Fondo, mientras que las concentraciones de PAS en los puntos de muestreo de la zona urbana del distrito de Tocache, tuvieron en su mayoría concentraciones menores a ese promedio. Por otro lado, las muestras PSI6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) y PSI3 (Av. Belaunde Cdra. 10) superaron ese promedio con valores de 5.503 y 1.044 mg/cm²/mes respectivamente.

Por otro lado, en los ambientes interiores, la mayoría las concentraciones promedio estuvieron dentro del valor de referencia establecido por la OMS. Se detectaron excedencias reiteradas en PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2), PM3 (Av. Belaunde Cdra. 10) y PM5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), lo cual podría deberse a la entrada constante de polvo desde el exterior y a la acumulación en espacios cerrados mal ventilados. Por su lado, Sánchez (2024), indica que el flujo peatonal en espacios interiores no es proporcional a las concentraciones de PAS, pero si está estrechamente relacionada con las vías sin pavimentar y el flujo vehicular.

Los resultados demuestran que las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) fueron significativamente más elevadas en los ambientes exteriores que en los ambientes interiores, siendo un caso preocupante, la concentración promedio de PAS para ambos ambientes, el punto de muestreo PM6 (Jr. Jorge Chávez Cdra.2), cuya vivienda presenta infraestructura precaria que infiltra con facilidad la contaminación del ambiente exterior.

Por otro lado, la figura 8 muestra las concentraciones promedio de partículas atmosféricas sedimentables en los ambientes interiores por mes de evaluación respecto al valor de referencia establecido por la OMS (0.5 mg/cm²/mes), indicado por una línea roja.

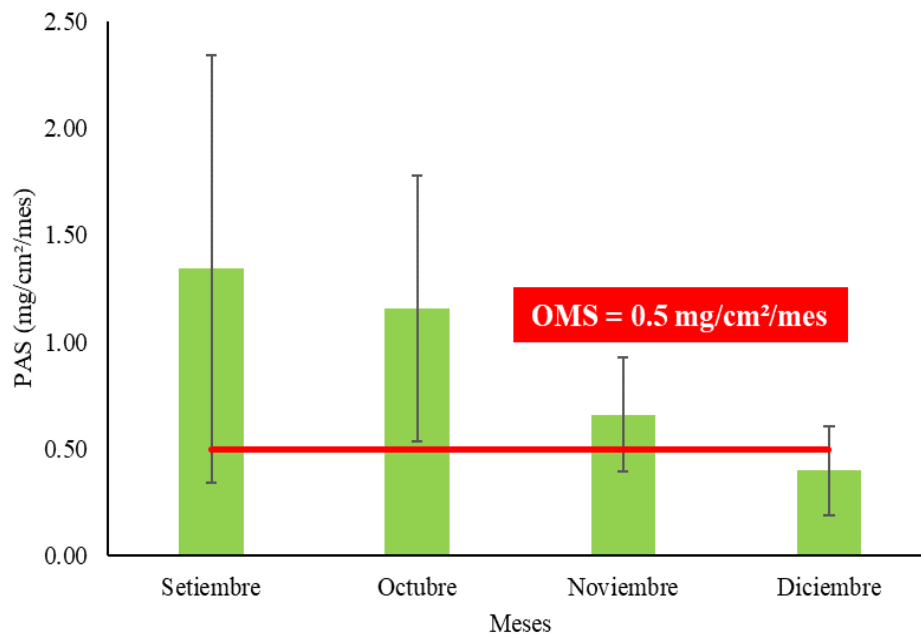


Figura 8. Concentración promedio de PAS en ambiente interior por mes de evaluación respecto al valor de referencia establecido por la OMS.

En el mes de setiembre, se obtuvo una mayor concentración promedio de PAS en ambientes interiores con $1.345 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, mientras que en el mes de diciembre se obtuvo la concentración promedio más baja para PAS con $0.398 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$.

La concentración promedio de PAS de ambientes interiores en los meses de evaluación, sigue el mismo comportamiento de reducción al avanzar los meses como en la concentración promedio de PAS para ambiente exterior, con la única diferencia que los valores son menores. Por su parte, Al Hejami et al. (2020), señalan que en temporadas lluviosas se tiende a abrir con menos frecuencia las ventanas de las viviendas, por lo tanto, disminuye el ingreso de PAS del exterior, así mismo, se reduce su ingreso proveniente del calzado. Además, se suma el aporte de las costumbres y hábitos de cada vivienda muestreada (Livia, 2020).

4.3. Concentración de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente exterior e interior de la zona urbana del distrito de Tocache

La tabla 10 presenta las concentraciones mensuales de plomo en partículas atmosféricas sedimentables en ambientes exteriores (PBE) durante los cuatro meses de evaluación en los diez puntos de muestreo.

Tabla 10. Concentración de plomo (Pb) en partículas atmosféricas (PAS) sedimentables en ambiente exterior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

Punto de muestreo	Código	Plomo (mg/kg PS)				Promedio	Coeficiente de variación
		Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
PM1	PBE1	416.667	220.526	52.667	46.233	184.023	95%
PM2	PBE2	3342.667	684.286	866.667	1463.204	1589.206	76%
PM3	PBE3	67.490	41.935	27.269	21.311	39.501	52%
PM4	PBE4	729.652	267.333	294.118	423.741	428.711	49%
PM5	PBE5	95.355	87.432	75.748	55.042	78.394	22%
PM6	PBE6	156.938	114.561	20.645	17.975	77.530	90%
PM7	PBE7	169.008	111.443	52.083	37.037	92.393	65%
PM8	PBE8	200.533	175.333	136.845	128.292	160.251	21%
PM9	PBE9	119.000	41.000	24.600	18.222	50.706	92%
PM10	PBE10	1477.429	1537.609	1536.875	1475.556	1506.867	2%
Promedio		677.474	328.146	308.752	368.661		

En los ambientes exteriores (PBE), se observa que la mayoría de los puntos de muestreo, se presentaron concentraciones que superaron el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso residencial (140 mg/kg) en al menos uno de los meses evaluados. Se destaca, que la concentración de plomo más alta se presentó en el punto de muestreo PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8), durante el mes de setiembre con un valor de 3342.667 mg/kg.

El punto de muestreo PM10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12) presenta un coeficiente de variación de 2%, lo que significa que la concentración promedio de plomo es representativa, mientras que los demás puntos de muestreo presentan variabilidad entre sus datos, dando un promedio no representativo cuando el coeficiente de variación es superior al 30%.

En zonas urbanas, el plomo está presente en material particulado (PM10) y suelo, lo cual, para ambos casos existen estándares de calidad ambiental (ECA), sin embargo, la partícula atmosférica sedimentable no está regulada como estándar de calidad ambiental. Por ello, en diversos estudios se adopta por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM que establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo (140 mg /kg PS), ya que el suelo constituye el medio receptor final por deposición seca o húmeda y no constituye al material particulado de fracción respirable (Aguirre, 2024).

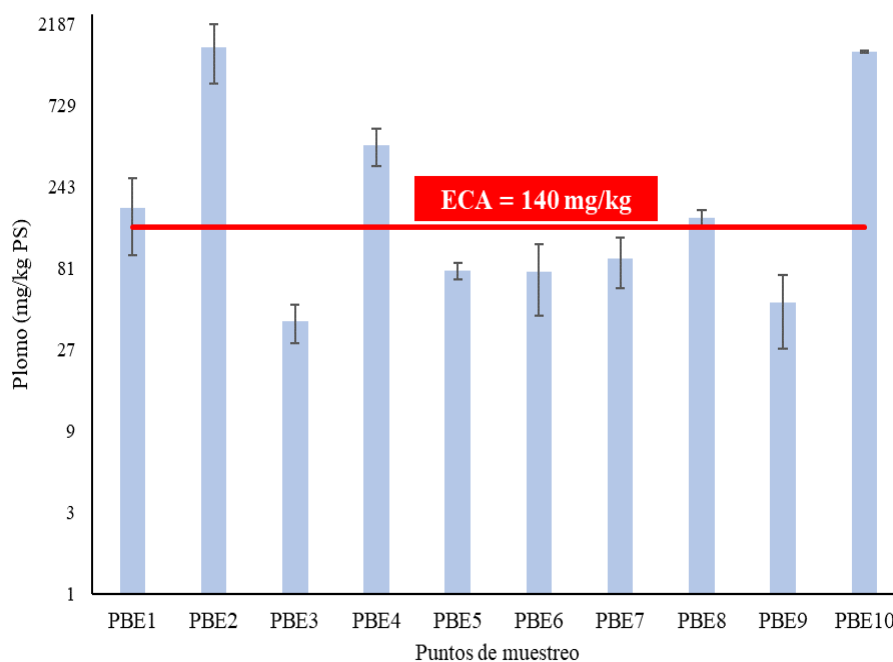


Figura 9. Concentración promedio de plomo en ambiente exterior por punto de muestreo.

En la figura 9, se observa que las concentraciones promedio de plomo de las muestras PBE2 (Av. Belaunde Cdra. 8) y PBE10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), superaron ampliamente el estándar de calidad ambiental para suelo (140 mg/kg PS), registrando valores promedio de plomo de 1589.21 y 1506.87 mg/kg. En contraste, la muestra PBE3 (Av. Belaunde Cdra. 10) representa la concentración promedio de plomo más baja con 30.50 mg/kg.

Los elevados niveles promedio de plomo en las muestras de ambiente exterior para PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8) y PM4 (Av. Aviación Cdra. 5), se relacionan con la presencia de talleres mecánicos cercanos a las viviendas y con la contaminación del suelo por aceite usado de motor. Se ha demostrado que el aceite usado de motor, comúnmente mal dispuesto en actividades mecánicas, contiene plomo, los cuales puede acumularse en el suelo y liberarse posteriormente al ambiente por resuspensión de partículas o mediante procesos de volatilización parcial (Bahaa et al., 2008). Según Safe et al. (2023), expresa que los niveles promedio de plomo de las zonas urbana, comercial, industrial y petroquímica que tienen como residuo el aceite lubricante usado, presentaban concentraciones entre 100 a 1000 mg/kg PS. Estos resultados concuerdan con el presente estudio, en cuanto a la concentración promedio de plomo. No obstante, la muestra de ambiente exterior de PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8) refleja una contaminación muy crítica por la inadecuada disposición de residuos peligrosos de las actividades antropogénicas.

En tanto, las muestras de los puntos de muestreo PM1 (Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15) y PM10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), que también presentaron concentraciones promedio altas siendo 184.02 y 1506.87 mg/kg respectivamente, están ubicados en las cercanías de talleres de soldadura, los cuales generan partículas metálicas finas y humos que pueden contener plomo dependiendo del tipo de electrodo y material trabajado. Estas emisiones, al ser transportadas por el viento o adherirse al polvo urbano, contribuyen directamente a la carga de plomo presente en el ambiente exterior. Por su lado, Sánchez (2018), destacó que la presencia de talleres de soldadura cercanos al punto de muestreo aumenta las concentraciones de plomo en PAS, determinando en su estudio una concentración de 1200 mg/kg en el colegio Mariano Bonín.

Los puntos de muestreo con mayor concentración promedio de plomo coincide con vías no pavimentadas, cuyo factor facilita el transporte de plomo adherido a las partículas atmosféricas sedimentables por saltación, rodamiento y la re suspensión atribuido al flujo vehicular. Según Aguirre (2024), expresa que en las partículas atmosféricas sedimentables presentan valores pico que tiende a estar 2 veces más sobre los valores reportados para polvo urbano y suelo, entendiendo que se sigue recibiendo carga adicional de plomo que con el tiempo termina depositándose en el suelo.

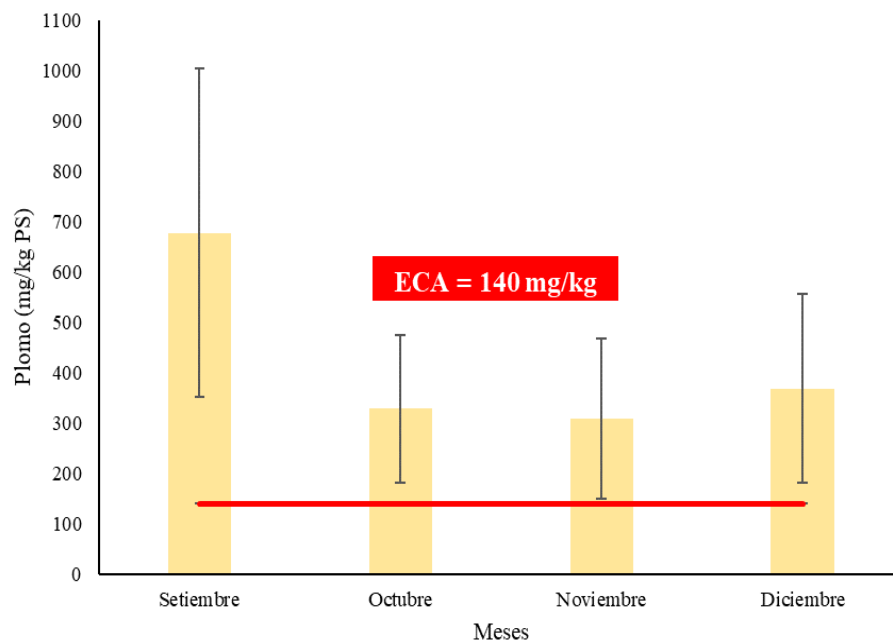


Figura 10. Concentración promedio de plomo en ambiente exterior por mes de evaluación.

En la figura 10, se observa la concentración promedio de plomo en ambientes exteriores, que es mayor en el mes de setiembre con un valor de 677 mg/kg, luego en los meses

de octubre y noviembre se reduce, para luego volver a elevarse en diciembre con un valor de 368.66 mg/kg, por lo que en los tres últimos meses la media no supera los 400 mg/kg, pero se supera el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo en todos los meses de evaluación. Según Safe et al. (2023), indica que la concentración de plomo presenta variaciones temporales asociadas a las partículas atmosféricas sedimentables, al ser su medio de transporte que se expone a condiciones meteorológicas y a los cambios de actividad humana. Por ello, en el mes de diciembre sube la concentración promedio de plomo atribuido a mayor actividad humana por temporada navideña y no alcanzando a superar el valor obtenido en setiembre por los días con mayor frecuencia de lluvias.

Tabla 11. Concentración de plomo (Pb) en partículas atmosféricas (PAS) sedimentables en ambiente interior por punto de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

Punto de muestreo	Código	Plomo (mg/kg PS)				Promedio	Coeficiente de variación
		Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
PM1	PBI1	78.653	73.826	132.254	11.000	73.933	67%
PM2	PBI2	44.639	43.703	66.225	51.522	51.522	20%
PM3	PBI3	34.879	9.646	7.201	3.717	13.861	103%
PM4	PBI4	45.420	13.600	18.112	7.021	21.038	80%
PM5	PBI5	270.200	156.829	497.188	138.466	265.671	62%
PM6	PBI6	700.261	313.636	150.478	120.582	321.239	83%
PM7	PBI7	17.385	11.481	15.013	3.003	11.720	54%
PM8	PBI8	61.053	64.000	68.444	36.018	57.379	25%
PM9	PBI9	43.759	6.437	21.073	8.237	19.877	87%
PM10	PBI10	587.000	911.923	146.008	353.333	499.566	66%
Promedio		188.325	160.508	112.200	73.290		

En los ambientes interiores (PBI), se observa que la mayoría de los puntos de muestreo, se presentan concentraciones que no superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso residencial (140 mg/kg). Se destaca, que la concentración de plomo más alta se presentó en el punto de muestreo PM10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), durante el mes de setiembre con un valor de 587 mg/kg.

Los puntos de muestreo PM2 (Av. Belaunde Cdra. 8) y PM8 (Jr. San Juan Cdra. 7) presenta un coeficiente de variación menor al 30%, lo que significa que la concentración promedio de plomo es representativa, mientras que los demás puntos de muestreo presentan variabilidad entre sus datos, dando un promedio no representativo.

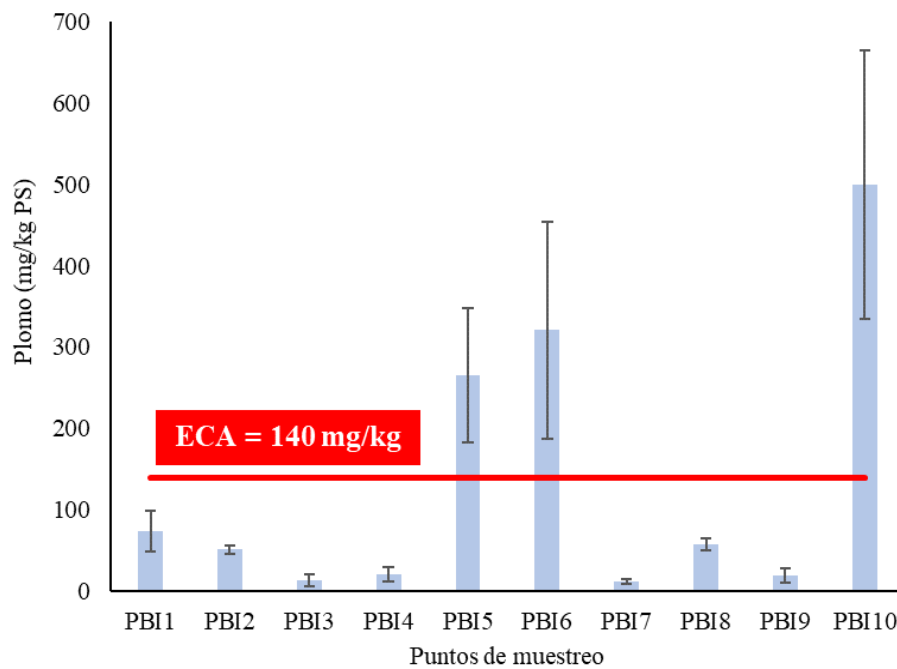


Figura 11. Concentración promedio de plomo en ambiente interior por punto de muestreo.

En la figura 11, se refleja una variación considerable entre los distintos puntos de muestreo, evidenciando que no todos los espacios cerrados presentan el mismo nivel de exposición al plomo. En particular, se evidenció que la concentración promedio de plomo más alta se registró en PM10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12) con 499.57 mg/kg. Cabe destacar que la muestras PBI10, mantuvo concentraciones persistentemente altas en los meses de evaluación lo que indica una fuente continua de contaminación. En contraste, el punto de muestreo PM7 (Jr. Miguel Grau Cdra. 2) presentó la concentración promedio de plomo más baja con 11.720 mg/kg.

Los resultados evidencian que las muestras PBI10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), PBI6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) y PBI5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), presentaron concentraciones elevadas de plomo en partículas atmosféricas sedimentables que superaron el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo. Este comportamiento se respalda por observaciones de campo, que revelaron condiciones específicas asociadas a estos ambientes. En el caso de PBI5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6), se vinculó directamente a la presencia de partículas derivadas del lijado de paredes en un mes en particular, Según EPA (2024), el lijado es una actividad que incrementa significativamente los niveles de plomo en espacios cerrados cuando se manipulan superficies antiguas sin control de polvo ni ventilación adecuada.

Por otro lado, la muestra PBI6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2), es procedente de una vivienda ubicada en una vía de alto tránsito vehicular por la ubicación estratégica de las

agencias de transporte terrestre y cercana a un taller mecánico. Esto es coherente con lo reportado por Al Hejami et al. (2020), quienes vincularon los niveles de metales pesados dentro de las viviendas con zonas de transporte activo, obteniendo el estudio una concentración promedio de plomo de 86.3 mg/kg, estando por debajo de la normativa canadiense y peruana (140 mg/kg). Este resultado contradice al valor que se obtuvo en la muestra PBI6, ya que supera el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo, por lo que influyen también, las actividades antropogénicas y la inadecuada ventilación por condiciones estructurales deficientes lo que permite que el plomo persista en el ambiente interior.

En el caso de las muestras PBI10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12), mostró niveles sostenidos por encima del estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo, por ello, se presume la influencia de talleres de soldadura cercanos, así como la suspensión de polvo contaminado, un fenómeno descrito también por Safe et al. (2023), que argumentan que las partículas metálicas en áreas industriales pueden ser transportadas e infiltradas hacia el interior de viviendas mal cerradas, procedente de la resuspensión de polvo del exterior lo que produce una geoacumulación de plomo en las viviendas.

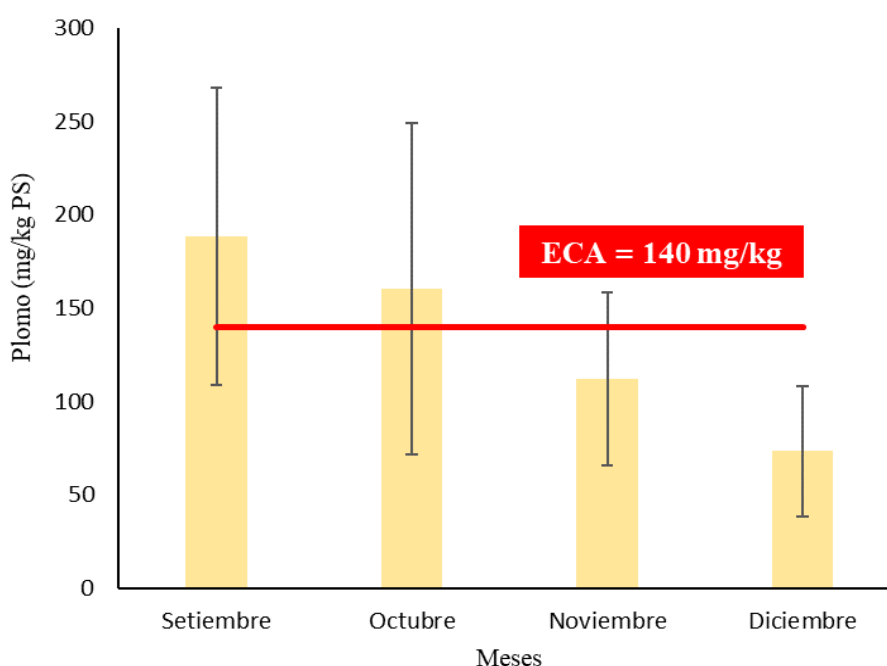


Figura 12. Concentración promedio de plomo en ambiente interior por mes de evaluación.

En la figura 12, se muestra la concentración promedio de plomo en ambientes interiores durante los meses de evaluación, lo cual hay una tendencia de reducción al pasar los meses, siendo el mayor valor en setiembre con 188.32 mg/kg de plomo y el menor valor en

diciembre con 73.29 mg/kg de plomo. Superando el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo solamente en los dos primeros meses. Esa tendencia decreciente en las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y plomo (Pb) durante los últimos meses del período de muestreo (noviembre y diciembre) coincide con el incremento de las precipitaciones registrados en los dos últimos meses, lo que sugiere la influencia de procesos de deposición húmeda de contaminantes. Según Sánchez (2006), la contaminación en interiores se da por el proceso de infiltración y dependiendo a lo que se infiltre el problema puede agravarse, por lo que el viento y la ausencia de precipitaciones juegan un papel crucial.

No obstante, la variabilidad de las concentraciones de estos contaminantes no responde únicamente a las condiciones meteorológicas. También influyen significativamente en la emisión y suspensión de partículas contaminantes de los factores antropogénicos, tales como el tránsito vehicular intenso, la falta de pavimentación, el uso de combustibles y el deficiente manejo de residuos sólidos, especialmente en zonas urbanas con infraestructura deficiente.

Los resultados obtenidos en el estudio, demuestra que el plomo presente en las partículas atmosféricas sedimentables, representa un riesgo significativo a la población, ya que no solo constituye un indicador de contaminación de aporte acumulativo en el suelo persistente durante muchos años, sino el mayor problema radica en su infiltración dentro de las viviendas, terminando por adherirse en los bienes (Aguirre, 2024). La vía principal de exposición es la ingestión previa al tacto, debido que las PAS son partículas de gran tamaño que no ingresan con facilidad a las vías respiratorias. SRT (2018), señala que una vez en el organismo el plomo se distribuye a través de la sangre acumulándose en los huesos, riñones, hígado y cerebro, lo que una exposición constante provoca daños neurológicos irreversibles, hipertensión, daño renal y trastornos reproductivos, siendo los niños y ancianos la población vulnerable a la exposición, incluso la población adulta con malos hábitos alimenticios e ingesta de bebidas alcohólicas.

4.4. Determinación del nivel de correlación entre las partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo

Tabla 12. Nivel de correlación por punto de muestreo entre partículas atmosféricas sedimentables (PAS) y niveles de plomo (Pb) en ambientes exteriores e interiores.

Punto de muestreo	Prueba de correlación	Coefficiente de correlación	Sig.	Interpretación
PM1	Spearman	0.467	0.243	Correlación positiva media
PM2	Spearman	0.886	0.003	Correlación positiva muy alta
PM3	Pearson	0.909	0.002	Correlación positiva muy alta
PM4	Pearson	0.869	0.005	Correlación positiva muy alta
PM5	Spearman	-0.714	0.047	Correlación negativa alta
PM6	Spearman	0.333	0.420	Correlación positiva media
PM7	Spearman	0.958	0.000	Correlación positiva muy alta
PM8	Pearson	0.958	0.000	Correlación positiva muy alta
PM9	Spearman	0.571	0.139	Correlación positiva alta
PM10	Pearson	0.844	0.008	Correlación positiva muy alta

En la tabla 11 se observa que, en los puntos de muestreo hay en su mayoría una correlación positiva muy alta, siendo estos los puntos PM2, PM3, PM4, PM7, PM8 y PM10, a su vez, son estadísticamente significativas (Sig. < 0.05), especialmente en los puntos PM3, PM4, PM8 y PM10 hay una distribución simétrica de los datos cerca de la media, mientras que los otros puntos presentan variación significativa entre sus datos debido a múltiples picos en las concentraciones de PAS y plomo durante los meses de evaluación. Al respecto, Zevallos (2022) en su estudio destaca que, en espacios abiertos, la dispersión atmosférica y el transporte de largo alcance de partículas influyen en la concentración puntual de contaminantes, haciendo que la relación entre cantidad de partículas y su composición química no sea necesariamente proporcional. En contraste, García (2024) sostiene que no hay relación significativa (Sig. > 0.05) entre las partículas atmosféricas sedimentables y los factores meteorológicos (temperatura, humedad y precipitación), obteniendo en sus coeficientes de correlación de Pearson una correlación negativa fuerte en tramo pavimentado y no pavimentado.

Por otro lado, los puntos de muestreo PM1, PM6 y PM9 no presentan relación significativa (Sig. > 0.05), entre las concentraciones de PAS y los niveles de plomo con

coeficientes de correlación positiva media en PM1 y PM6, y correlación positiva alta en el punto PM9, dando a entender la variación de los datos y picos frecuentes en ambos ambientes (exterior e interior). En interiores es más probable que los contaminantes se concentren debido a la limitada ventilación y a la ausencia de mecanismos naturales de dispersión. Safe et al. (2023) señalan que el plomo presente en las partículas sedimentables puede provenir de diversas fuentes, como emisiones industriales, alto flujo vehicular y la combustión de hidrocarburos. Además, EPA (2024) destaca que muchas fuentes internas pueden contribuir a los niveles de plomo, como pintura antigua, polvo suspendido de suelos contaminados, combustión de materiales o presencia de objetos con contenido metálico, lo que refuerza la correlación con la carga de partículas atmosféricas sedimentables. Por lo que las concentraciones de los contaminantes se ven influenciados por factores antropogénicos en los puntos de muestreo.

V. CONCLUSIONES

1. Los niveles de plomo en partículas atmosféricas sedimentables exceden el límite máximo permisible establecidos para Plomo en el Estándar de Calidad Ambiental para Suelo (> 140 mg/kg PS) tanto en los ambientes exteriores como en interiores.
2. En la zona urbana del distrito de Tocache las vías con mayor flujo vehicular son mayor o igual a 11 vehículos/min, siendo el PM 1 (Jr. Freddy Aliaga Cdra. 15) el que lidera el flujo vehicular con 17 vehículos/min.
3. Las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables (PAS) fueron significativamente más elevadas en los ambientes exteriores que en los ambientes interiores, siendo las concentraciones promedio de PAS más altas las muestras PSE5 (Jr. Pedro Gómez Cdra. 6) para ambiente exterior y PSI6 (Jr. Jorge Chávez Cdra. 2) para ambiente interior.
4. Las concentraciones de plomo tuvieron concentraciones elevadas tanto para ambiente exterior e interior, siendo las concentraciones promedio de plomo más altas las muestras PBE2 (Av. Belaunde Cdra. 8) para ambiente exterior y PBI10 (Av. Ricardo Palma Cdra. 12) para ambiente interior.
5. Existe una correlación positiva alta entre las partículas atmosféricas sedimentables y los niveles de plomo en los ambientes exterior e interior de los puntos de muestreo.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se sugiere en futuras investigaciones evaluar por un periodo de tiempo más largo, para observar el comportamiento de las partículas atmosféricas sedimentables en temporada seca y temporada húmeda.
2. Se sugiere que se realice el análisis de más metales pesados y otros contaminantes en las partículas atmosféricas sedimentables.
3. Considerar en futuras investigaciones la influencia de la dirección y velocidad de viento en la concentración de partículas atmosféricas sedimentables.
4. Se sugiere en futuras investigaciones evaluar la relación de las infecciones respiratorias agudas por exposición a partículas atmosféricas sedimentables y la intoxicación por exposición a niveles de plomo en el distrito de Tocache.
5. Se recomienda en futuras investigaciones evaluar los niveles de plomo en material particulado (PM₁₀) y su exposición por inhalación.
6. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Tocache realizar proyectos de inversión pública sobre pavimentación de las vías con mayor flujo vehicular en el distrito de Tocache, lo que aportaría de forma favorable a la reducción de partículas atmosféricas sedimentables.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental (EPA. (2024). Información sobre el plomo. <https://espanol.epa.gov/plomo>.
- Aguirre, M. (2024). Evaluación espacial de la movilización del plomo, mediante partículas sedimentables, proveniente del área contaminada alrededor de los almacenes de concentrados de minerales del Callao. [Tesis de Maestro en Desarrollo Ambiental, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/31242>.
- Al Hejami et al. (2020). Heavy Metals in indoor settled dusts in Toronto. Canada. *Science of the total Environment*, 703(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134895>.
- Aldoradin y De la Cruz. (2023). Concentración de polvo atmosférico sedimentable y la percepción sobre los efectos en la salud de las personas en el mantenimiento del cerco eléctrico en la urbanización Boca Negra, Callao, 2023. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio UNTELS. https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.14717/1265/T088A_70864922-70543598_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Arjona, A. (2006). Determinación de la calidad del aire en interiores por PM10. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo]. Repositorio institucional UQROO. <http://hdl.handle.net/20.500.12249/1239>.
- Bahaa-Eldin, E. A. R., Yusoff, I., Rahim, S. A., Zuhairi, W. y. W., & Ghani, M. R. A. (2008). Heavy Metal Contamination of Soil Beneath a Waste Disposal Site at Dengkil, Selangor, Malaysia. *Soil And Sediment Contamination An International Journal*, 17(5), 449-466. <https://doi.org/10.1080/15320380802304342>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev Esp Salud Pública*, 79(2), 159-175. <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion3.pdf>.
- Bravo, L. (2017). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del Cantón Portovelo. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <https://core.ac.uk/download/pdf/288579848.pdf>.

- CEPIS. (2005). Curso de Autoinstrucción en Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados.
- Cevallos, J. (2022). Concentración de material particulado sedimentable para la determinación del grado de contaminación de aire en la Av. Confraternidad, Cantón Palileo. [Tesis de Maestría en Gestión Ambiental]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35446>.
- Congreso de la Republica del Perú. (30 de diciembre de 1993). Constitución Política del Perú. https://www.oas.org/juridico/spanish/per_res17.pdf.
- Correia y Menezes. (2007). Contaminación del aire exterior y enfermedades alérgicas de la vía aérea. *Ciencia & Trabajo*, 9(23), 23-29. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/midias/lil-475873>.
- DIGESA. (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Ministerio de Salud, Perú.
- Gallegos et al. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja*, 15(1), 18-25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047399003>.
- García, L. (2024). Evaluación y monitoreo de polvo atmosférico sedimentable en la vía pavimentada y no pavimentada de la avenida Ferrocarril en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, mediante el método de placas receptoras. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. Repositorio institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14493>.
- Gil et al. (1997). Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. *Ambiente y Desarrollo*, 13(1), 70-78. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/129035>.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (2006). Tocache hacia el desarrollo sostenible, zonificación ecológica y económica. Programa de Ordenamiento Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-sanmartin/archivos/public/docs/98.pdf>.

- Jaishankar et al. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72. doi.org/10.2478/intox-2014-0009.
- Jara, E. (2024). Parque automotor y sus efectos en la calidad sonora del aire en el casco urbano de la ciudad de Tocache: marzo – agosto del 2022. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a64f7fc9-1801-41a8-87dc-b994e5a1a3c6/content>
- Livia, K. (2020). Contaminación del aire por partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente interior de la zona urbana de Tingo María. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1836/TS_KXLC_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Marchetti, C. (2010). Contaminación y contaminantes del aire exterior. Manual de salud ambiental infantil, Ministerio de Salud Gobierno de Chile.
- Marcos et al. (2008). 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. CEDIT, 49-58.
- Ministerio de Salud. (15 de julio de 1997). Ley N° 26842, Ley General de Salud. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OGTI/SINADEF/Ley-26842>.
- Ministerio del Ambiente. (13 de octubre de 2005). Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>.
- Ministerio del Ambiente. (2 de diciembre de 2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>.
- Ministerio del Ambiente. (2017). La contaminación atmosférica y sus fuentes en el ambiente. Compendio de legislación ambiental. Lima, Perú.
- Moreno, M. (2018). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense.

- Municipalidad Provincial de Tocache. (2016). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la provincia de Tocache 2016-2025. Municipalidad Provincial de Tocache. <https://es.scribd.com/document/336637603/tocache-residuos-solidos>.
- Municipalidad Provincial de Tocache. (2008). Plan provincial participativo de Tocache 2007-2016. Municipalidad Provincial de Tocache. https://www.proviasdes.gob.pe/planes/sanmartin/pvpp/PVPP_Tocache.pdf.
- Quiroz (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 Ingeniero Ambiental, Universidad de Huánuco]. Repositorio UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1666>.
- Rodríguez y Alonzo. (2004). Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo. *Ingeniería*, 8(2), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46780203.pdf>.
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 1-14. <https://www.medigraphic.com/pdfs/medisan/mds-2017/mds17121.pdf>.
- Rosas, I., Belmont, R., & Jáuregui, E. (2009). Seasonal variation of atmospheric lead levels in three sites in Mexico City. *Atmósfera*, 8(4). Recuperado de <https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/8393>.
- Saavedra, J. (2014). Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1872>.
- Safe et al. (2023). Multi-year monitoring of atmospheric dust fall as a sink for lead in an agro-industrial and petrochemical city of Argentina. Geo-accumulation and ecological risk assessment. *Environ Geochem Health*, 45(1), 4817-4835. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01539-2>.

- Saldarriaga (2019). Niveles y características del material particulado sedimentable en la ciudad de Lurigancho – Huachipa 2015. [Tesis de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente]. Repositorio Untumbes. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/296>.
- Sánchez, C. (2006). Una introducción a las causas de la contaminación del aire al interior de una edificación; fuente y riesgos en Colombia. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad de los Andes]. Repositorio Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/fe1e8c7a-a8a7-455d-9602-5cbd471dbda2/content>.
- Sánchez, G. (2018). Polvo atmosférico sedimentable en cinco instituciones educativas de la ciudad de Tingo María, departamento de Huánuco (noviembre 2017 – febrero 2018). [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS.
- Sánchez, G. (2024). Concentración de polvo atmosférico sedimentable en áreas internas de seis municipalidades distritales de la provincia de Leoncio Prado periodo Mayo – Octubre, 2022. [Tesis de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS.
- SENAMHI (mayo, 2008). Boletín Hidrometeorológico del Perú. Evaluación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Lima-Callao mayo 2008. https://www.senamhi.gob.pe/pdf/bolHidro_ambiente.pdf.
- Skoog et al. (2001). Principios de análisis instrumental (5ª ed). Mc Graw Hill.
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2018). Exposición al plomo. Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales. Ministerio de Producción y Trabajo, Presidencia de la Nación.
- Ubilla y Yohannessen. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>.
- US-EPA. (2011). Environmental Cleanup Best Management Practices: Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model.

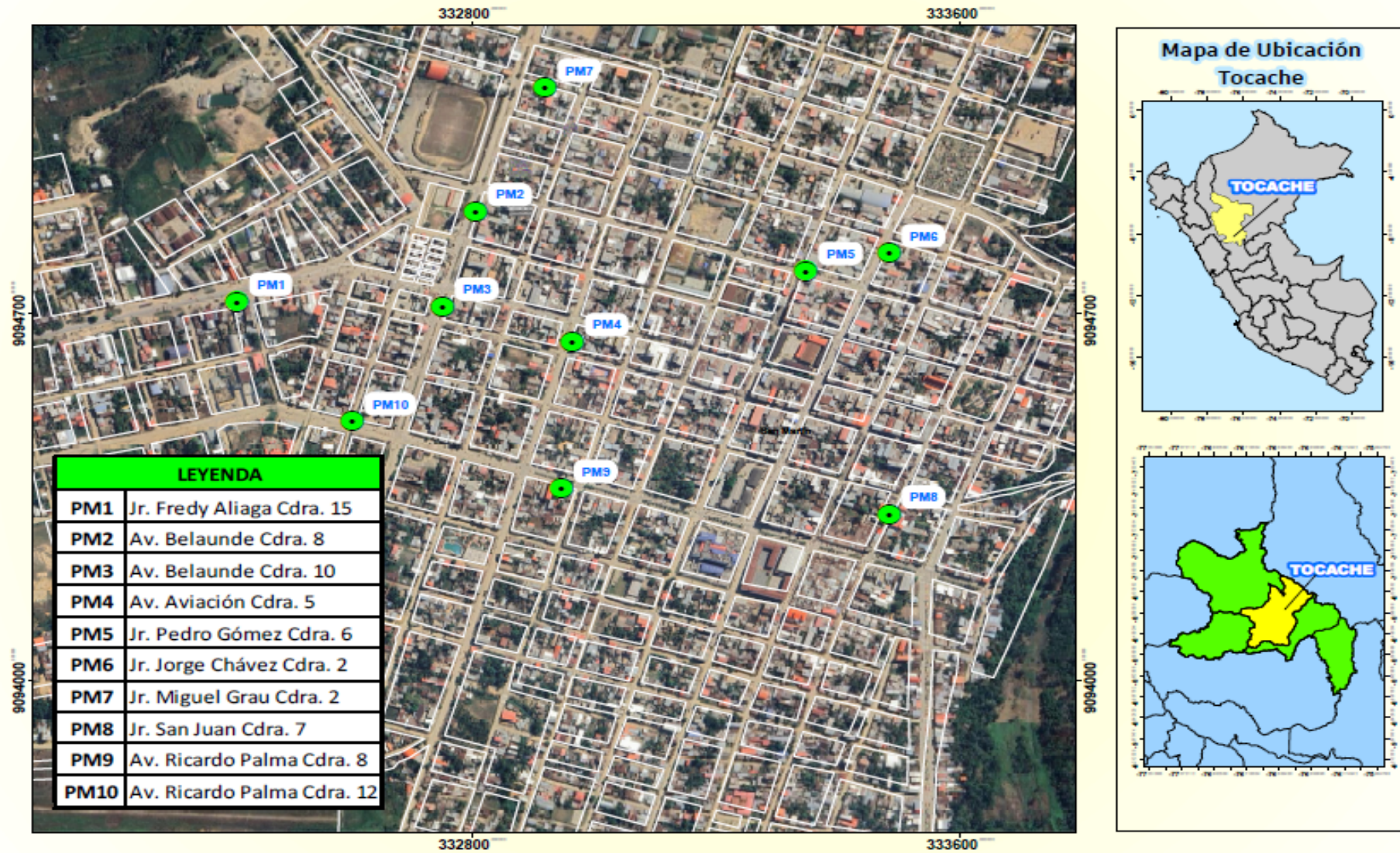
Wani et al. (2015). Lead Toxicity: a review. *Interdiscip Toxicol*, 8(2), 55-64. 10.1515/intox-2015-0009.

Weather Spark. (2023). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Tocache. <https://es.weatherspark.com/y/21406/Clima-promedio-en-Tocache-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

Zevallos, L. (2022). Presencia de materia sedimentable del aire en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas. [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2614>.

VIII. ANEXO

ANEXO A: Mapa de ubicación del distrito de Tocache.



ANEXO C: Flujo vehicular y selección de puntos de muestreo.

Tabla 13. Flujo vehicular evaluado para determinar los puntos de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

Intersecciones de vías	Horario	Flujo Vehicular							Promedio	Selección
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom		
Jr. Fredy Aliaga Cdra. 15 - Carretera Fernando Belaunde Terry	Mañana	18	17	16	13	11	20	16	17	SI
	Tarde	22	9	15	8	18	16	16		
	Noche	25	22	19	23	15	19	17		
Jr. Belaunde con Jr. Amazonas	Mañana	14	14	8	11	12	14	11	12	SI
	Tarde	12	12	9	13	11	12	7		
	Noche	12	8	12	10	15	10	14		
Jr. Belaunde con Jr. Tocache	Mañana	12	9	8	9	7	13	11	12	SI
	Tarde	11	9	8	10	12	13	13		
	Noche	13	14	12	18	13	16	14		
Jr. Fredy Aliaga con Av. Aviación	Mañana	16	8	14	16	13	12	18	15	SI
	Tarde	18	8	10	14	14	17	17		
	Noche	17	12	23	20	15	18	23		
Jr. Fredy Aliaga con Jr. Pedro Gómez	Mañana	10	6	7	7	6	9	7	8	NO
	Tarde	9	6	7	7	7	8	6		
	Noche	11	9	9	9	10	9	8		
Jr. Amazonas con Jr. Pedro Gómez	Mañana	15	11	15	8	12	15	10	14	SI
	Tarde	13	17	12	21	18	9	8		
	Noche	17	8	19	16	20	16	10		
Jr. Jorge Chávez con Jr. Jacinta Cartagena	Mañana	15	12	11	12	9	14	13	12	SI
	Tarde	12	14	9	11	15	13	12		
	Noche	9	10	13	13	14	13	11		

Intersecciones de vías	Horario	Flujo Vehicular							Promedio	Selección
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom		
Jr. Sara Anita con Jr. Belaunde	11	11	10	13	8	14	18	11	11	SI
	Tarde	12	10	11	12	13	10	10		
	Noche	6	6	11	12	12	12	8		
Jr. Fredy Aliaga con Jr. San Juan	Mañana	9	11	11	7	8	11	9	10	NO
	Tarde	12	8	8	7	10	10	10		
	Noche	11	11	12	13	7	13	12		
Jr Progreso con Jr. Malecón	Mañana	3	3	3	2	3	3	3	3	NO
	Tarde	1	3	2	3	2	4	2		
	Noche	2	3	2	3	4	5	3		
Jr Progreso con Jr. Bolognesi	Mañana	4	3	5	4	5	5	4	4	NO
	Tarde	5	5	2	4	5	5	3		
	Noche	3	5	4	4	6	5	4		
Jr. Progreso con Jr. Jorge Chávez	Mañana	5	4	7	6	8	6	6	6	NO
	Tarde	7	4	6	8	7	5	6		
	Noche	5	5	7	7	7	6	6		
Jr. Tocache con Jr. Germán Rengifo	Mañana	5	6	6	4	7	7	7	6	NO
	Tarde	5	7	6	7	7	7	5		
	Noche	5	6	7	6	6	9	5		
Jr. Chorro San Juan con Jr. Pedro Gómez	Mañana	4	5	5	6	7	8	4	5	NO
	Tarde	3	3	5	6	6	6	3		
	Noche	3	5	4	3	6	6	3		
Jr. San Juan con Av. Ricardo Palma	Mañana	13	12	11	15	15	14	12	12	SI
	Tarde	12	8	11	9	12	13	8		

Intersecciones de vías	Horario	Flujo Vehicular							Promedio	Selección
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom		
	Noche	11	10	10	10	15	11	13		
Av. Ricardo Palma con Jr. Jorge Chávez	Mañana	10	9	10	11	9	12	9	10	NO
	Tarde	12	11	12	11	12	12	11		
	Noche	8	9	11	10	8	11	8		
Av. Ricardo Palma con Jr. San Martín	Mañana	8	6	9	8	8	9	8	10	NO
	Tarde	11	13	12	13	11	13	12		
	Noche	9	10	9	9	10	10	9		
Jr. Julio Arévalo con Jr. Pedro Gómez	Mañana	7	5	6	7	7	7	8	6	NO
	Tarde	8	4	7	4	6	7	4		
	Noche	3	4	5	5	5	5	4		
Av. Ricardo Palma con Av. Aviación	Mañana	9	12	9	7	7	9	11	11	SI
	Tarde	9	11	10	12	12	12	10		
	Noche	11	12	16	13	14	18	15		
Av. Ricardo Palma con Jr. Belaunde	Mañana	14	14	12	14	15	12	11	14	SI
	Tarde	22	18	22	21	16	14	13		
	Noche	4	11	15	21	10	8	6		

ANEXO D: Padrón de puntos de muestreo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**PADRÓN DE PUNTOS DE MONITOREO: "NIVELES DE PLOMO EN PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS
 SEDIMENTABLES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE – 2024"**

Tesista: Pujay Escobal, Zócimo Junior

Especialidad: Ingeniería Ambiental

PUNTOS DE MONITOREO	APELIDOS Y NOMBRES	DNI	DIRECCIÓN	TELÉFONO	FECHA DE INSTALACIÓN	FIRMA	FECHA DE RETIRO	FIRMA
PM1	CARRASQUAL Hocesmasa Kevin	41102165	JR. FREDY ALIAGA C-15	927204062	01/09/24		31/12/24	
PM2	HABUISO HINCHAYO ZORBE.	80616806	AV. BELFUNDEN-821.	944854565	01/09/24		31/12/24	
PM3	Vasquez CARRIÓN Ana	76408065	Jr. Belaunde Cdra10	918039415	01/09/24		31/12/24	
PM4	Saldarña Celqui, Ives	47912203	AV. ARIACÓN 580	953976298	01/09/24		31/12/24	
PM5	Manuel Javier Aliaga	00961893	Jr. Pedro Gómez Cdra.6	962080143	01/09/24		31/12/24	
PM6	David Gomez Gonzales	80674012	Jr. Jorge Chávez Cdra.2	918184576	01/04/24		31/12/24	
PM7	Perez Rodriguez Carlos	00962344	Jr. Miguel Grau 257	961206659	01/04/24		31/12/24	
PM8	Fidel Chavez Sanchez	00985111	Jr. San Juan 734	945713592	01/09/24		31/12/24	
PM9	Ríos Jara Heydan Romy	43355493	W. Ricardo Palma 850	946549259	01/09/24		31/12/24	
PM10	Torres Brandon Cintha	80842014	AV. Ricardo Palma cd-12	931406988	01/09/24		31/12/24	

Figura 14. Padrón de puntos de muestreo en la zona urbana del distrito de Tocache.

ANEXO E: Concentración de partículas atmosféricas sedimentables.

Tabla 14. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de setiembre.

Punto de muestreo	Código	Peso placa (g)	Peso inicial (placa + vaselina) (g)	Peso final (g)	Wf - Wi (g)	Wf - Wi (mg)	PAS (mg/cm ² /mes)
PM1	PSE1	6.374	22.552	22.658	0.106	106	1.868
	PSI1	6.017	15.761	15.767	0.006	6	0.106
PM2	PSE2	6.389	25.923	26.527	0.604	604	10.644
	PSI2	5.943	22.525	22.554	0.029	29	0.511
PM3	PSE3	6.397	25.628	26.001	0.373	373	6.573
	PSI3	5.953	20.292	20.36	0.068	68	1.198
PM4	PSE4	6.374	27.651	27.792	0.141	141	2.485
	PSI4	5.975	23.289	23.310	0.021	21	0.370
PM5	PSE5	6.736	14.027	14.683	0.656	656	11.560
	PSI5	5.972	16.484	16.498	0.014	14	0.247
PM6	PSE6	6.369	22.206	22.621	0.415	415	7.313
	PSI6	5.902	15.627	16.211	0.584	584	10.292
PM7	PSE7	6.745	20.039	20.573	0.534	534	9.411
	PSI7	5.884	22.362	22.370	0.008	8	0.141
PM8	PSE8	6.717	16.876	16.94	0.064	64	1.128
	PSI8	5.933	23.197	23.207	0.01	10	0.176
PM9	PSE9	6.717	27.064	27.151	0.087	87	1.533
	PSI9	5.900	14.787	14.792	0.005	5	0.088
PM10	PSE10	6.709	19.025	19.241	0.216	216	3.807
	PSI10	5.877	18.345	18.363	0.018	18	0.317

Tabla 15. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de octubre.

Punto de muestreo	Código	Peso placa (g)	Peso inicial (placa + vaselina) (g)	Peso final (g)	Wf - Wi (g)	Wf - Wi (mg)	PAS (mg/cm ² /mes)
PM1	PSE1	7.145	16.148	16.215	0.067	67	1.181
	PSI1	6.481	18.133	18.139	0.006	6	0.106
PM2	PSE2	7.14	14.525	15.015	0.49	490	8.635
	PSI2	6.487	13.625	13.642	0.017	17	0.300
PM3	PSE3	7.143	10.779	11.03	0.251	251	4.423
	PSI3	6.482	14.035	14.127	0.092	92	1.621
PM4	PSE4	7.139	14.353	14.457	0.104	104	1.833
	PSI4	6.485	12.981	13.017	0.036	36	0.634
PM5	PSE5	7.143	20.581	21.056	0.475	475	8.371
	PSI5	6.482	17.229	17.267	0.038	38	0.670
PM6	PSE6	6.319	15.689	16.328	0.639	639	11.261
	PSI6	6.323	16.987	17.361	0.374	374	6.591
PM7	PSE7	6.325	16.047	16.305	0.258	258	4.547
	PSI7	6.314	16.447	16.452	0.005	5	0.088
PM8	PSE8	6.314	9.637	9.692	0.055	55	0.969
	PSI8	6.328	9.887	9.91	0.023	23	0.405
PM9	PSE9	6.321	14.789	14.845	0.056	56	0.987
	PSI9	6.319	10.81	10.826	0.016	16	0.282
PM10	PSE10	6.323	12.703	12.923	0.22	220	3.877
	PSI10	6.322	13.845	13.895	0.05	50	0.881

Tabla 16. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de noviembre.

Punto de muestreo	Código	Peso placa (g)	Peso inicial (placa + vaselina) (g)	Peso final (g)	Wf - Wi (g)	Wf - Wi (mg)	PAS (mg/cm ² /mes)
PM1	PSE1	6.719	15.838	15.9	0.062	62	1.093
	PSI1	6.721	14.005	14.015	0.01	10	0.176
PM2	PSE2	5.892	21.412	21.681	0.269	269	4.741
	PSI2	5.901	14.382	14.423	0.041	41	0.723
PM3	PSE3	5.964	12.59	12.718	0.128	128	2.256
	PSI3	6.38	14.705	14.763	0.058	58	1.022
PM4	PSE4	5.965	11.988	12.053	0.065	65	1.145
	PSI4	6.414	15.646	15.662	0.016	16	0.282
PM5	PSE5	6.716	13.672	14.004	0.332	332	5.851
	PSI5	6.041	12.9	12.932	0.032	32	0.564
PM6	PSE6	5.947	12.432	12.768	0.336	336	5.921
	PSI6	6.372	12.568	12.734	0.166	166	2.925
PM7	PSE7	5.953	12.443	12.523	0.08	80	1.410
	PSI7	5.947	12.409	12.411	0.002	2	0.035
PM8	PSE8	6.374	12.436	12.473	0.037	37	0.652
	PSI8	6.716	16.036	16.059	0.023	23	0.405
PM9	PSE9	6.764	12.161	12.186	0.025	25	0.441
	PSI9	6.029	12.847	12.865	0.018	18	0.317
PM10	PSE10	6.373	11.214	11.33	0.116	116	2.044
	PSI10	5.863	10.783	10.792	0.009	9	0.159

Tabla 17. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables de los puntos de muestreo en el mes de diciembre.

Punto de muestreo	Código	Peso placa (g)	Peso inicial (placa + vaselina) (g)	Peso final (g)	Wf - Wi (g)	Wf - Wi (mg)	PAS (mg/cm ² /mes)
PM1	PSE1	6.325	9.126	9.172	0.046	46	0.811
	PSI1	6.471	14.547	14.554	0.007	7	0.123
PM2	PSE2	6.474	13.798	14.07	0.272	272	4.793
	PSI2	6.091	9.983	10	0.017	17	0.300
PM3	PSE3	6.325	11.837	11.932	0.095	95	1.674
	PSI3	6.089	10.314	10.333	0.019	19	0.335
PM4	PSE4	6.475	13.987	14.036	0.049	49	0.864
	PSI4	7.134	13.781	13.782	0.001	1	0.018
PM5	PSE5	7.124	10.231	10.494	0.263	263	4.635
	PSI5	7.13	13.253	13.286	0.033	33	0.582
PM6	PSE6	7.125	11.59	11.891	0.301	301	5.304
	PSI6	6.326	10.385	10.51	0.125	125	2.203
PM7	PSE7	6.325	11.592	11.638	0.046	46	0.811
	PSI7	6.101	8.553	8.555	0.002	2	0.035
PM8	PSE8	6.329	10.418	10.468	0.05	50	0.881
	PSI8	6.475	11.874	11.888	0.014	14	0.247
PM9	PSE9	7.129	10.542	10.561	0.019	19	0.335
	PSI9	6.093	9.878	9.882	0.004	4	0.070
PM10	PSE10	6.478	9.669	9.758	0.089	89	1.568
	PSI10	6.095	12.356	12.36	0.004	4	0.070

ANEXO F: Resultados de análisis de plomo.

"UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	ZOCIMO JUNIOR PUJAY ESCOBAL	TIPO DE MUESTRA	POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE
PROCEDENCIA	TOCACHE - SAN MARTIN	REFERENCIA	ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	FECHA DE REPORTE	2/10/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS
Código	Referencia	PLOMO (mg/Kg)
E24-0178-1	PBE1	416.667
E24-0178-2	PBE2	3342.667
E24-0178-3	PBE3	67.490
E24-0178-4	PBE4	729.652
E24-0178-5	PBE5	95.355
E24-0178-6	PBE6	156.938
E24-0178-7	PBE7	169.008
E24-0178-8	PBE8	200.533
E24-0178-9	PBE9	119.000
E24-0178-10	PBE10	1477.429
E24-0178-11	PBI1	78.653
E24-0178-12	PBI2	44.639
E24-0178-13	PBI3	34.879
E24-0178-14	PBI4	45.420
E24-0178-15	PBI5	270.200
E24-0178-16	PBI6	700.261
E24-0178-17	PBI7	17.385
E24-0178-18	PBI8	61.053
E24-0178-19	PBI9	43.759
E24-0178-20	PBI10	587.000

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

analisisdesuelosunat@hotmail.com

CELULAR 944407531

Figura 15. Concentración de plomo en el primer mes de evaluación (setiembre 2024).



ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	ZOCIMO JUNIOR PUJAY ESCOBAL	TIPO DE MUESTRA	POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE
PROCEDENCIA	TOCACHE - SAN MARTIN	REFERENCIA	ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	FECHA DE REPORTE	4/11/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS
Código	Referencia	PLOMO (mg/Kg)
E24-0196-1	PBE1	220.526
E24-0196-2	PBE2	684.286
E24-0196-3	PBE3	41.935
E24-0196-4	PBE4	267.333
E24-0196-5	PBE5	87.432
E24-0196-6	PBE6	114.561
E24-0196-7	PBE7	111.443
E24-0196-8	PBE8	175.333
E24-0196-9	PBE9	41.000
E24-0196-10	PBE10	1537.609
E24-0196-11	PBI1	73.826
E24-0196-12	PBI2	43.703
E24-0196-13	PBI3	9.646
E24-0196-14	PBI4	13.600
E24-0196-15	PBI5	156.829
E24-0196-16	PBI6	313.636
E24-0196-17	PBI7	11.481
E24-0196-18	PBI8	64.000
E24-0196-19	PBI9	6.437
E24-0196-20	PBI10	911.923

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María


Dr. HUGO A. FREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 16. Concentración de plomo en el segundo mes de evaluación (octubre 2024).



ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	ZOCIMO JUNIOR PUJAY ESCOBAL	TIPO DE MUESTRA	POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE
PROCEDENCIA	TOCACHE - SAN MARTIN	REFERENCIA	ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	FECHA DE REPORTE	3/12/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS
Código	Referencia	PLOMO (mg/Kg)
E24-0201-1	PBE1	52.667
E24-0201-2	PBE2	866.667
E24-0201-3	PBE3	27.269
E24-0201-4	PBE4	294.118
E24-0201-5	PBE5	75.748
E24-0201-6	PBE6	20.645
E24-0201-7	PBE7	52.083
E24-0201-8	PBE8	136.845
E24-0201-9	PBE9	24.600
E24-0201-10	PBE10	1536.875
E24-0201-11	PBI1	132.254
E24-0201-12	PBI2	66.225
E24-0201-13	PBI3	7.201
E24-0201-14	PBI4	18.112
E24-0201-15	PBI5	497.188
E24-0201-16	PBI6	160.478
E24-0201-17	PBI7	15.013
E24-0201-18	PBI8	68.444
E24-0201-19	PBI9	21.073
E24-0201-20	PBI10	146.008

VND: VALOR NO DETECTADO - MENOR AL LIMITE DE DETECCIÓN 0.100 ppm

Los Resultados presentados son validos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María


Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 17. Concentración de plomo en el tercer mes de evaluación (noviembre 2024).



ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	ZOCIMO JUNIOR PUJAY ESCOBAL	TIPO DE MUESTRA	POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE
PROCEDENCIA	TOCACHE - SAN MARTIN	REFERENCIA	ZONA URBANA DEL DISTRITO DE TOCACHE
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	FECHA DE REPORTE	3/1/2025

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS
Código	Referencia	PLOMO (mg/Kg)
E24-0222-1	PBE1	46.233
E24-0222-2	PBE2	1463.204
E24-0222-3	PBE3	21.311
E24-0222-4	PBE4	423.741
E24-0222-5	PBE5	55.042
E24-0222-6	PBE6	17.975
E24-0222-7	PBE7	37.037
E24-0222-8	PBE8	128.292
E24-0222-9	PBE9	18.222
E24-0222-10	PBE10	1475.556
E24-0222-11	PBI1	11.000
E24-0222-12	PBI2	51.522
E24-0222-13	PBI3	3.717
E24-0222-14	PBI4	7.021
E24-0222-15	PBI5	138.466
E24-0222-16	PBI6	120.582
E24-0222-17	PBI7	3.003
E24-0222-18	PBI8	36.018
E24-0222-19	PBI9	8.237
E24-0222-20	PBI10	353.333

VND: VALOR NO DETECTADO - MENOR AL LIMITE DE DETECCIÓN 0.100 ppm

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María



 Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología


Figura 18. Concentración de plomo en el cuarto mes de evaluación (diciembre 2024).

ANEXO G: Análisis estadístico de normalidad.

➤ Distribución normal de partículas atmosféricas sedimentables:

1) Planteamiento de Hipótesis

H_0 : PAS = Distribución Normal

H_a : PAS \neq Distribución Normal

2) Nivel de significancia

Sig. $\geq \alpha$; Aceptamos la H_0

Sig. $< \alpha$; Aceptamos la H_a

Tabla 18. Distribución normal de partículas atmosféricas sedimentables en los puntos de muestreo mediante prueba de Shapiro-Wilk.

Punto de muestreo	Estadístico	Sig.
PM1	0.85	0.086
PM2	0.834	0.065
PM3	0.839	0.073
PM4	0.922	0.442
PM5	0.850	0.096
PM6	0.951	0.720
PM7	0.696	0.002
PM8	0.928	0.494
PM9	0.811	0.038
PM10	0.857	0.112

3) Conclusión

PM1: La concentración de PAS en PM1 demuestra un valor de significancia de 0.086. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM2: La concentración de PAS en PM2 demuestra un valor de significancia de 0.065. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM3: La concentración de PAS en PM3 demuestra un valor de significancia de 0.073. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM4: La concentración de PAS en PM4 demuestra un valor de significancia de 0.442. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM5: La concentración de PAS en PM5 demuestra un valor de significancia de 0.096. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM6: La concentración de PAS en PM6 demuestra un valor de significancia de 0.720. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM7: La concentración de PAS en PM7 demuestra un valor de significancia de 0.002. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM8: La concentración de PAS en PM8 demuestra un valor de significancia de 0.494. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM9: La concentración de PAS en PM9 demuestra un valor de significancia de 0.038. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM10: La concentración de PAS en PM10 demuestra un valor de significancia de 0.112. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

➤ Distribución normal de niveles de plomo:

1) Planteamiento de Hipótesis

H_0 : PAS = Distribución Normal

H_a : PAS \neq Distribución Normal

2) Nivel de significancia

Sig. $\geq \alpha$; Aceptamos la H_0

Sig. $< \alpha$; Aceptamos la H_a

Tabla 19. Distribución normal de niveles de plomo en los puntos de muestreo mediante prueba de Shapiro-Wilk.

Punto de muestreo	Estadístico	Sig.
PM1	0.80	0.031
PM2	0.751	0.008
PM3	0.925	0.470
PM4	0.842	0.079
PM5	0.773	0.015
PM6	0.765	0.012
PM7	0.811	0.037
PM8	0.914	0.383
PM9	0.752	0.009
PM10	0.836	0.069

3) Conclusión

PM1: La concentración de plomo en PM1 demuestra un valor de significancia de 0.031. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo no que existe distribución normal.

PM2: La concentración de plomo en PM2 demuestra un valor de significancia de 0.008. Dado que este valor es menor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM3: La concentración de plomo en PM3 demuestra un valor de significancia de 0.470. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM4: La concentración de plomo en PM4 demuestra un valor de significancia de 0.079. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM5: La concentración de plomo en PM5 demuestra un valor de significancia de 0.015. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM6: La concentración de plomo en PM6 demuestra un valor de significancia de 0.012. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM7: La concentración de plomo en PM7 demuestra un valor de significancia de 0.037. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM8: La concentración de plomo en PM8 demuestra un valor de significancia de 0.383. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

PM9: La concentración de plomo en PM9 demuestra un valor de significancia de 0.009. Dado que este valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, por lo que no existe distribución normal.

PM10: La concentración de plomo en PM10 demuestra un valor de significancia de 0.069. Dado que este valor es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, por lo que existe distribución normal.

ANEXO H: Pruebas de correlación de Pearson y Spearman.

➤ Al existir normalidad, se requiere de pruebas paramétricas como el caso de la Prueba de correlación de Pearson para analizar la correlación entre ambas variables:

1) Planteamiento de Hipótesis

H_0 : $\rho = 0$ (No hay correlación)

H_a : $\rho \neq 0$ (Hay correlación)

2) Nivel de significancia

Sig. $\geq \alpha$; Aceptamos la H_0

Sig. $< \alpha$; Aceptamos la H_a

Tabla 20. Prueba de correlación de Pearson entre concentración de partículas atmosféricas sedimentables y niveles de plomo en los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	PAS / PLOMO		PLOMO / PAS	
	Correlación de Pearson	Sig.	Correlación de Pearson	Sig.
PM3	0.909	0.002	0.909	0.002
PM4	0.869	0.005	0.869	0.005
PM8	0.958	0.000	0.958	0.000
PM10	0.844	0.008	0.844	0.008

3) Conclusión

PM3: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM3 tienen un valor de significancia de 0.002 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM3. Además, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.909 indicando una correlación positiva muy alta.

PM4: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM4 tienen un valor de significancia de 0.005 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM4. Además, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.869 indicando una correlación positiva muy alta.

PM8: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM8 tienen un valor de significancia de 0.000 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM8. Además, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.958 indicando una correlación positiva muy alta.

PM10: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM10 tienen un valor de significancia de 0.008 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de

plomo en PM10. Además, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.844 indicando una correlación positiva muy alta.

➤ Al no existir normalidad, se requiere de pruebas no paramétricas como el caso de la Prueba de correlación de Spearman para analizar la correlación entre ambas variables:

1) Planteamiento de Hipótesis

H_0 : $\rho = 0$ (No hay correlación)

H_a : $\rho \neq 0$ (Hay correlación)

2) Nivel de significancia

Sig. $\geq \alpha$; Aceptamos la H_0

Sig. $< \alpha$; Aceptamos la H_a

Tabla 21. Prueba de correlación de Spearman entre concentración de partículas atmosféricas sedimentables y niveles de plomo en los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	PAS / PLOMO		PLOMO / PAS	
	Correlación de Pearson	Sig.	Correlación de Pearson	Sig.
PM1	0.467	0.243	0.467	0.243
PM2	0.886	0.003	0.886	0.003
PM5	-0.714	0.047	-0.714	0.047
PM6	0.333	0.420	0.333	0.420
PM7	0.958	0.000	0.958	0.000
PM9	0.571	0.139	0.571	0.139

3) Conclusión

PM1: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM1 tienen un valor de significancia de 0.243 lo cual es mayor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, indicando que no hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM1. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.467 indicando una correlación positiva media.

PM2: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM2 tienen un valor de significancia de 0.003 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM2. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.886 indicando una correlación positiva muy alta.

PM5: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM5 tienen un valor de significancia de 0.047 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de

plomo en PM5. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de -0.715 indicando una correlación negativa alta.

PM6: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM6 tienen un valor de significancia de 0.420 lo cual es mayor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, indicando que no hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM6. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.333 indicando una correlación positiva media.

PM7: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM7 tienen un valor de significancia de 0.000 lo cual es menor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM7. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.958 indicando una correlación positiva muy alta.

PM9: La concentración de PAS y niveles de plomo en PM9 tienen un valor de significancia de 0.139 lo cual es mayor a la significancia (0.05). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, indicando que no hay una relación significativa entre la concentración de PAS y los niveles de plomo en PM9. Además, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.571 indicando una correlación positiva alta.

ANEXO I: Datos meteorológicos**Tabla 22.** Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de setiembre.

DÍA / MES / AÑO	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/09/2024	34.7	18.8	72	0
2/09/2024	31	20.4	81.3	0
3/09/2024	33.2	18.6	79.3	0
4/09/2024	34.4	17.2	75.6	0
5/09/2024	34.2	18.8	76.8	0
6/09/2024	30.2	21.4	82	0
7/09/2024	35.5	18.7	78.6	0
8/09/2024	34.2	17.8	74.2	0
9/09/2024	33.6	19.8	76	0
10/09/2024	35.5	19.4	73.8	0
11/09/2024	36.2	19.7	S/D	0
12/09/2024	36.6	19.5	71.4	0
13/09/2024	36.2	19.8	73	0
14/09/2024	37	20.7	71.1	0
15/09/2024	31.8	21.8	82.7	10.2
16/09/2024	33	22	78.4	0
17/09/2024	34.2	21.9	78	2.1
18/09/2024	35.8	22	77	16.3
19/09/2024	34.6	21	76.6	0
20/09/2024	35.2	20.6	79	0
21/09/2024	31.2	21.3	81.1	25.8
22/09/2024	30.5	20.7	83.9	0
23/09/2024	34.7	19.9	75.1	0
24/09/2024	34	18.8	75.4	0
25/09/2024	35.6	18.7	73.4	0
26/09/2024	35.8	20.6	76.5	34.7
27/09/2024	29.5	21.4	84.8	0
28/09/2024	28.5	20.8	84.9	0
29/09/2024	34.4	20.4	77.3	0
30/09/2024	29.6	21.7	85.1	23.2

Fuente: SENAMHI,2024

Tabla 23. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de octubre.

DÍA / MES / AÑO	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/10/2024	34.7	20.9	75.7	0
2/10/2024	35	21.8	76.3	0
3/10/2024	32.8	21	83.6	0
4/10/2024	33.2	20.4	82.8	16.4
5/10/2024	25.8	20.2	90.5	0
6/10/2024	32.5	19	79.5	0
7/10/2024	35	20.6	78.3	10.8
8/10/2024	34.5	21.2	75.9	0
9/10/2024	32.6	22.4	81.1	0
10/10/2024	33.8	22	79.8	0
11/10/2024	32	21.2	85.5	0
12/10/2024	33	21.4	81.4	6.3
13/10/2024	34.6	20.8	77.7	52.4
14/10/2024	30.8	21	82.2	0
15/10/2024	32.8	21.7	81.1	3.3
16/10/2024	35.5	19.4	76.1	0
17/10/2024	34.8	22	77.5	1.5
18/10/2024	35	20.2	79.1	0
19/10/2024	35.8	20.6	75.2	0
20/10/2024	34.2	23.4	76.3	1.7
21/10/2024	32.2	23	83.8	0
22/10/2024	30.2	23.6	82.4	46.7
23/10/2024	26.8	22	91.3	23.5
24/10/2024	32.8	21.7	80.6	21.9
25/10/2024	34.8	22.2	81	37.9
26/10/2024	33.6	23	82.9	22.8
27/10/2024	34.2	22.4	80.8	45.7
28/10/2024	26.4	22.8	91.3	10.5
29/10/2024	31.6	22.4	80.4	0
30/10/2024	33.8	22.2	78.7	0
31/10/2024	35.2	20.6	77.8	0

Fuente: SENAMHI,2024

Tabla 24. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de noviembre.

DÍA / MES / AÑO	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/11/2024	32.6	21.8	82.2	0
2/11/2024	26	22.2	89.3	23.2
3/11/2024	31.7	20	81.3	0
4/11/2024	33.2	22.2	81.1	1.9
5/11/2024	32.8	21.4	80.4	0
6/11/2024	33.3	22.9	82.6	34.4
7/11/2024	32.6	22.2	82.9	14
8/11/2024	29.4	22	85.1	0
9/11/2024	27	22.6	88.9	6.6
10/11/2024	32	20	81.9	0
11/11/2024	33.6	22	81.4	2.4
12/11/2024	25	22.8	92.3	79.6
13/11/2024	32	21.4	83.2	0
14/11/2024	28.6	22.5	90	0
15/11/2024	32.4	21.6	84.2	0
16/11/2024	31.2	21.5	87	2.6
17/11/2024	32.8	22.6	84.8	0
18/11/2024	33	22	84.2	0
19/11/2024	32.4	23.8	83.7	10.4
20/11/2024	27.8	23	90.9	74.4
21/11/2024	26.9	21.2	91.1	S/D
22/11/2024	32	21.8	82	0
23/11/2024	32.2	22	81.7	18.2
24/11/2024	31.3	22.6	79.9	3.9
25/11/2024	30.4	22.8	88	10.2
26/11/2024	33.6	22.9	72	0
27/11/2024	31.8	23.2	79.9	3.4
28/11/2024	30.4	23.5	89	4.6
29/11/2024	27.8	22.7	92	19.2
30/11/2024	30.6	22.2	84.6	0

Fuente: SENAMHI,2024

Tabla 25. Datos meteorológicos en el distrito de Tocache durante el mes de diciembre.

DÍA / MES / AÑO	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/12/2024	34.2	21.5	76.4	0
2/12/2024	35.8	21	78.2	8.7
3/12/2024	34	23	80.6	29.3
4/12/2024	32.5	22.2	78.8	11.2
5/12/2024	30.6	22.8	81.3	48.2
6/12/2024	S/D	22.4	83.6	12.3
7/12/2024	26	23.2	90.9	1.5
8/12/2024	28.9	22	83.4	0
9/12/2024	30.8	22.6	81.2	0
10/12/2024	31.8	22.4	82.2	0
11/12/2024	31	23	83.3	8.3
12/12/2024	33.3	21.8	81	0
13/12/2024	32.6	22	82.5	26.4
14/12/2024	31.2	21.7	84.7	80.8
15/12/2024	26.4	22	90.4	109
16/12/2024	30	21.8	82.5	25.3
17/12/2024	30.3	22.2	84.1	0
18/12/2024	30.5	21.7	79.6	119.5
19/12/2024	33	22	80.6	10.3
20/12/2024	31.4	22.6	85.1	3.7
21/12/2024	33.8	23	82	0
22/12/2024	33.4	23.5	83.1	4.9
23/12/2024	27.9	22.8	87.9	10.6
24/12/2024	33.9	22.4	85.1	0
25/12/2024	32.8	23.5	83.7	0
26/12/2024	28.8	22.7	87.3	36.7
27/12/2024	26.4	22	87.9	2.7
28/12/2024	31	20.3	84.7	0
29/12/2024	31.2	21.8	82.8	2.2
30/12/2024	31.6	22.5	80.1	0
31/12/2024	30.7	22.4	85.1	0

Fuente: SENAMHI,2024

ANEXO J: Panel fotográfico

Figura 19. Partículas suspendidas de calle sin pavimentar



Figura 20. Riego en calle sin pavimentar



Figura 21. Conteo de vehículos en el horario de la mañana.



Figura 22. Conteo de vehículos en el horario nocturno



Figura 23. Georreferenciación de los puntos de muestreo.



Figura 24. Recolección de las muestras de PAS en ambiente exterior.



Figura 25. Recolección de muestras de PAS en ambiente interior.



Figura 26. Protección de muestras de PAS para su traslado a laboratorio.

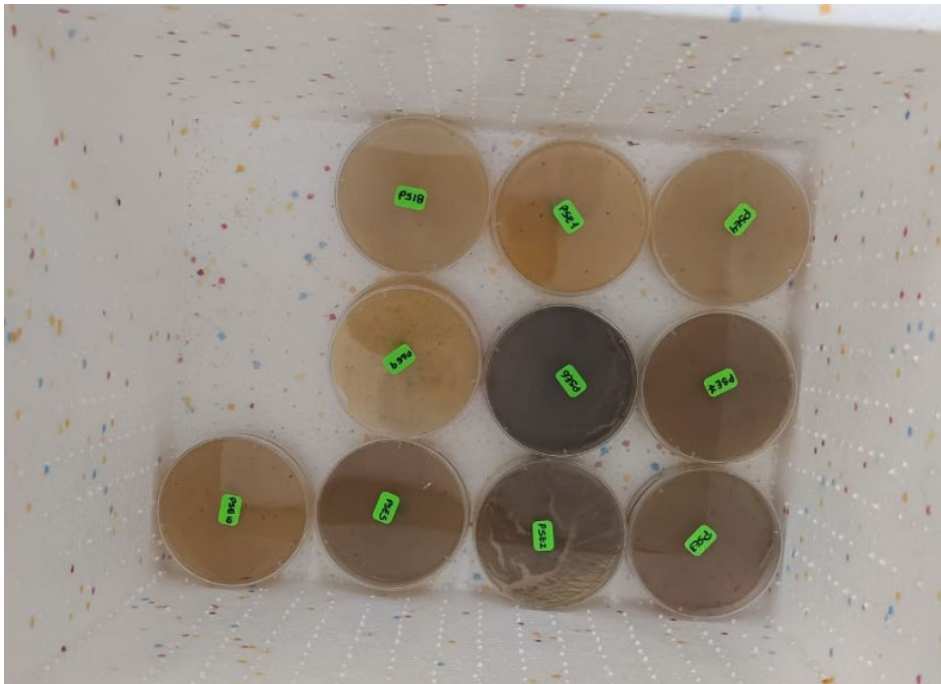


Figura 27. Muestras recolectadas de PAS en el mes de octubre.



Figura 28. Pesado de las placas con vaselina (Peso inicial).



Figura 29. Pesado de las placas con PAS (Peso final).



Figura 30. Lavado de placas con PAS para su análisis de plomo.