

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS
SEDIMENTABLES EN EL AMBIENTE INTERIOR DE LA ZONA URBANA DE
TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

KHEFFINIR XIOMARA LIVIA CALIXTO

**Tingo María - Perú
2020**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 0022-2020-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de Diciembre de 2019, a horas 8:30 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS SEDIMENTABLES EN EL AMBIENTE INTERIOR DE LA ZONA URBANA DE TINGO MARÍA”

Presentado por la Bachiller, **LIVIA CALIXTO, KHEFFINIR XIOMARA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 30 de Octubre de 2020

Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
PRESIDENTE

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
MIEMBRO

Blgo. CÉSAR AUGUSTO GOZME SULCA
MIEMBRO

Ing. MSc. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS
SEDIMENTABLES EN EL AMBIENTE INTERIOR DE LA ZONA URBANA DE
TINGO MARÍA**

Autor : Kheffinir Xiomara, Livia Calixto

Asesor de tesis : M.Sc. Víctor Beteta Alvarado

Escuela Profesional : Ingeniería Ambiental

Programa de Investigación : Ciencia y Tecnologías Limpias

Línea : Niveles de contaminación ambiental

Eje temático : Contaminación atmosférica

Lugar de Ejecución : Tingo María

Fecha de Inicio : Abril del 2016

Término : Octubre del 2016

Financiamiento : Propio

**Tingo María - Perú
2020**

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por guiarme, iluminarme, protegerme y proteger
a los míos.

A mis padres Sonia y Fernando por el apoyo incondicional en todos los
momentos de mi vida.

A mi querido hermano Jheferson mi mejor amigo, por ayudarme y
apoyarme en innumerables ocasiones, y creer en mí. A mi pequeño hermano
Liam porque su nacimiento sumó un motivo más.

A mis abuelos Felicita, Ildfonso y Vilma por la paciencia y
compartir sus enseñanzas en este largo camino de
la vida.

A Germán mi querido abuelo, por creer en mí y apoyarme hasta
que Dios lo permitió.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por llenar mi vida de alegrías y aprendizaje, permitiéndome gratas experiencias en mi etapa universitaria.

A mi UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, por darme la oportunidad de ser profesional, por brindarme su acogedor calor en cada una de sus instalaciones durante toda mi formación profesional.

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a cada uno de sus docentes, por brindarme sus conocimientos y experiencias profesionales, la cual repercutió en mi formación profesional y personal.

A mi asesor de tesis, Ing. Víctor Manuel Beteta Alvarado por sus contribuciones, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia, apoyo en la redacción, gran calidad humana y por su confianza puesta en mí persona.

A mis padres que siempre me apoyan, guían y cuidan con mucho amor. Gracias de corazón por todas las oportunidades que siempre me brindan.

A mis queridos abuelos y tíos por el apoyo para lograr mis metas.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Contaminación Atmosférica.....	4
2.2.1. Contaminación en interiores	5
2.3. Contaminantes atmosféricos	7
2.4. Partículas atmosféricas o material particulado atmosférico	7
2.4.1. Composición química de las partículas.....	8
2.4.2. Material Particulado en diferentes escenarios.....	12
2.5. Partículas atmosféricas sedimentables	16
2.5.1. Efectos de las partículas sedimentables	17
2.6. Metodología de medición de partículas atmosféricas sedimentables	18
2.6.1. Método de placas receptoras.....	19
2.7. Normativa para las partículas atmosféricas sedimentables	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Lugar de investigación	21
3.1.1. Ubicación política.....	21
3.1.3. Aspectos ambientales.....	22
3.2. Materiales y equipos	23
3.2.1. Materiales	23
3.2.2. Equipos	23

3.3. Tipo y nivel de investigación.....	23
3.3.1. Método de investigación	23
3.4. Metodología	24
3.4.1. Fase de precampo.....	24
2. Preparación e instalación de la placa receptora	25
3.4.2. Fase de campo.....	26
3.4.3. Fase de gabinete y laboratorio.....	26
4. Identificación del sector con mayor contaminación.....	30
IV. RESULTADOS	31
4.1. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables.....	31
4.2. Determinación de la composición química en las partículas atmosféricas sedimentables de la fracción soluble	38
4.3. Identificar los sectores con mayor contaminación por partículas atmosféricas sedimentables	46
V. DISCUSIÓN	49
VI. CONCLUSIÓN	55
VII. RECOMENDACIONES	56
VIII.ABSTRACT	57
IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	58
X. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Valores medios de las variables estudiadas en las partículas atmosféricas sedimentables ($t\ km^{-2}\ x\ mes$).....	14
2. Límites máximos permisibles por DIGESA Y SENAMHI según metodología empleada.	20
3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	22
4. Análisis de varianza.....	30
5. Valoresv de pH de la materia sedimentable soluble en los 6 meses de muestreo.	38
6. Concentraciones del ion Ca^{2+} en el material sedimentable soluble, obtenidas de las muestras recolectadas.....	39
7. Concentraciones del ion Mg^{2+} en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras recolectadas.....	40
8. Concentraciones del ion bicarbonato HCO_3^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.	41
9. Concentraciones del ion Cl^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.	43
10. Concentraciones del ion sulfato SO_4^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.	44
11. Análisis de varianza de las concentraciones de partículas	

atmosféricas en los diferentes puntos de muestreo	46
12. Prueba Duncan de las concentraciones de PAS en diferentes puntos.....	46
13. Resultados obtenidos de la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de abril 2016.....	72
14. Resultados obtenidos de la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de mayo 2016.....	73
15. Resultados obtenidos de la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de junio 2016.....	74
16. Resultados obtenidos de la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de julio 2016	75
17. Resultados obtenidos de la composición e física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de agosto 2016.....	76
18. Resultados obtenidos de la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de setiembre 2016.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema del captador de partículas atmosféricas sedimentable.....	25
2. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables para el mes de abril	31
3. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables para el mes de mayo	32
4. Composición física de las PAS para el mes de junio	33
5. Composición física de las PAS para el mes de julio	34
6. Composición física de las PAS en el mes de agosto	35
7. Composición física de las PAS en el mes de setiembre	35
8. Partículas sedimentables insolubles con respecto al tiempo de muestreo	36
9. Partículas sedimentables solubles con respecto al tiempo de muestreo	37
10. Promedios de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y HCO_3^- para cada punto de muestreo.	42
11. Promedio mensual de Cl^- y SO_4^- en los doce puntos de muestreo.	45
12. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables por sector de muestreo.	47
13. Recolección del punto de muestreo de Castillo Fondo.	78

14. Filtración de las muestras.....	78
15. Secado de los filtros en la estufa a 105°C	79
16. Medición de la alícuota para la obtención de la PSS	79
17. Medición del pH en la materia sedimentable soluble	80
18. Determinación de cloruros por volumetría de precipitación.....	80
19. Filtros de los puntos de muestreo de Av. Amazonas (izquierda) y Afilador (derecha)	81

RESUMEN

Esta investigación aspira poder contribuir con información sobre la contaminación del aire, específicamente por Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) en el ambiente interior de la zona urbana de Tingo María. Bajo este objetivo se realizó un monitoreo entre los meses de abril a setiembre, en 12 puntos de muestreo; mediante el método pasivo de placas receptoras se recolectaron las muestras durante un tiempo determinado (30 días), pasado este tiempo se recogieron las partículas con agua desionizada, obteniendo así una solución de agua con partículas. Las concentraciones de PAS se determinaron mediante el análisis gravimétrico expresadas en $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, también determinó la composición física (soluble e insoluble) de las PAS, y posteriormente se analizó el material soluble para la determinación del pH y la composición química. De los 72 datos recogidos, se observó que 53 sobrepasan el límite establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$). La composición física está compuesta por un 83% material soluble y el restante con un 17% insoluble. Los iones encontrados en el material soluble fueron Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4 . La zona con mayor contaminación por PAS fue Castillo Fondo con $1.148 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Palabras claves: *Partículas atmosféricas sedimentables, análisis gravimétrico, material soluble, composición física y química.*

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire viene siendo afectada en muchas partes del mundo, ya sea por el crecimiento de acciones antropogénicas u otras actividades que se llevan a cabo en el medio ambiente; numerosos estudios demuestran que el deterioro de la calidad del aire se relaciona con el deterioro en la salud humana.

QUISPE *et al.* (2014), estimó la contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María (Huánuco, Perú), mediante la presencia o ausencia de líquenes, llegando a la conclusión que en la ciudad existe niveles de contaminación atmosférica y que éstas guardan una gran relación con las tasas de flujo vehicular.

Muchas veces, los contaminantes ingresan desde el exterior y de vez en cuando, las sustancias tóxicas que se forman en el interior de los ambientes cerrados no se disuelven con el aire limpio que ingresa del exterior (HERNÁNDEZ, 2004).

En su mayoría, las investigaciones referentes a la contaminación atmosférica, se han realizado a exteriores de los domicilios sin tener en cuenta la contaminación que se puede originar o enfrascar en el interior, ya sea mediante la penetración de los contaminantes del exterior o por las mismas costumbres que sus habitantes tienen en el interior de sus hogares.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los estudios se realizan en ambientes exteriores dejando de lado la contaminación que existe en los interiores se recoge una problemática existente, por la cual se realizó la investigación al interior de los domicilios u hogares en diferentes puntos de la ciudad de Tingo María, con el fin de estimar la contaminación de las partículas atmosféricas sedimentables, así como su composición física y química mediante el análisis gravimétrico. El método es de placas receptoras, que es extensamente utilizado y se basa en recolectar muestras durante 30 ± 2 días, que posteriormente fueron llevados al laboratorio para su respectivo análisis.

En ese sentido el enunciado del problema es el siguiente: ¿Cuál es el nivel contaminación del aire por partículas atmosféricas sedimentables, en el ambiente interior en la zona urbana de Tingo María?

Objetivo General.

Evaluar la contaminación en interiores por partículas atmosféricas sedimentables en la zona urbana de Tingo María.

Objetivos Específicos.

- Determinar la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables.
- Determinar la composición química de las partículas atmosféricas sedimentables en las partículas solubles.
- Identificar los sectores con mayor contaminación por partículas atmosféricas sedimentables.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

QUISPE *et al.* (2014), estimó la contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María (Huánuco, Perú), mediante la presencia o ausencia de líquenes, estos organismos son considerados como bioindicadores de la calidad del aire por la sensibilidad que presentan ante los cambios en el medio ambiente.

Las zonas de monitoreo que consideraron en su investigación fueron jirones y las avenidas de la ciudad (Jr. Huánuco Z1 y las avenidas Amazonas Z2, Ucayali Z3, Alameda Perú Z4 y Raimondi Z5); desarrollaron el método de cartografía de líquenes, expresados en frecuencia y abundancia. Esto favoreció en estimar el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) para cada zona de monitoreo.

Determinaron los niveles de contaminación atmosférica, únicamente en el Jr. Huánuco el nivel de contaminación fue baja, y para las otras zonas los niveles de contaminación fueron determinados como moderados. Llegando a la conclusión que las tasas de flujo vehicular guardan relación con la contaminación que existe en la zona urbana de Tingo María

2.2. Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica se define como la alteración no esperada en las características físicas, químicas o biológicas de la atmósfera, causan o pueden causar daño en la salud y el bienestar de los seres humanos y otros seres vivos, afectando el funcionamiento de los ecosistemas (PÁEZ, 2008).

La OMS (2004), define que los contaminantes pueden ser de origen antropogénico o natural. Los contaminantes antropogénicos son originados por el hombre y se clasifican según la fuente de emisión u origen, existen tres grandes grupos:

- Fuentes estacionarias: a causa de las fuentes industriales puntuales, como incineradores de residuos urbanos, zonas rurales con producción agrícola o minera, calefacción de edificios, cocinas, etc.
- Fuentes móviles: considerado cualquier tipo de vehículos con combustión a motor de gasolina o diésel.
- Fuentes de interiores: abarca todo tipo de combustible utilizado, fuentes biológicas y las emisiones por uso de sustancias químicas o sintéticas.

Asimismo, los contaminantes naturales tienen como procedencia fuentes como la erosión, la actividad volcánica, compuestos orgánicos volátiles resultantes de incendios forestales, etc. (CALA, 2004).

Por otro lado, existen contaminantes que aportan al deterioro de la atmósfera, éstos pueden ir directamente o pueden formarse mediante procesos químicos atmosféricos, entre los contaminantes considerados se encuentran los gases inorgánicos (óxidos de nitrógeno, azufre y carbono), vapores y partículas (MANAHAN, 2007).

WADDEN y SCHEFF (1987), sostiene que la alteración de la calidad del aire no tiene que ver únicamente con los niveles exteriores, sino también con el deterioro de ambientes interiores relacionándolo con una variedad de efectos en la salud de los seres humanos, desde el malestar e irritación hasta enfermedades crónicas y cáncer, debido a que los ambientes interiores son un reflejo del aire y condiciones del exterior. Por lo tanto, una herramienta importante para determinar los niveles de contaminación en interiores es la concentración de contaminantes externos (CÁCERES *et al.*, 2001).

2.2.1. Contaminación en interiores

GARCÍA y GONZÁLEZ (2008), define el aire en interiores; como el aire que se encuentra dentro de un inmueble o ambiente ocupado por personas durante un tiempo mínimo de una hora. En esta definición se entiende que son ambientes como centros comerciales, hospitales, oficinas, aulas, medios de transporte y también casas.

Por lo tanto, la contaminación en interiores puede entenderse como las características y propiedades del aire que puede deteriorar la salud de las personas por efecto del tiempo que ésta pueda permanecer en ese sitio.

SABAHA (2006), considera que en su mayoría las personas se encuentran más del 80% en espacios internos y que el 60% de estos en sus hogares, encontrándose así al grupo más vulnerable (ancianos, enfermos y lactantes) que pueden alcanzar hasta el 100% en sus casas; convirtiendo en un problema importante la calidad del aire en interiores.

En los ambientes interiores la calidad del aire posee una diversidad de contaminantes físicos, químicos y biológicos que tienen su origen en diversas fuentes o por el uso de combustible de alta toxicidad, materiales de construcción y actividades desarrolladas por los seres humanos, entre otros (GIL *et al.* 1997).

En este sentido, una fuente importante de contaminación en interiores para las grandes ciudades está compuesta por el aire que se infiltra del exterior conteniendo sustancias peligrosas como derivados de fuentes móviles, gases industriales o insumos utilizados en trabajo de construcción (CÁCERES *et al.*, 2001). Entre los contaminantes más importantes en ambientes interiores se enfatizan el material particulado o partículas atmosféricas, SO₂, NO_x, CO, oxidantes fotoquímicos y plomo.

En por esto que, las concentraciones de los contaminantes en ambientes interiores son similar a la de exteriores, sin embargo, se presentan situaciones donde las concentraciones de los productos de combustión en interiores consiguen ser mayores a la de exteriores; se entiende que este comportamiento es por el uso de dispositivos o equipos que generan calor (GIL *et al.* 1997).

GÜNTER (2005), considera la existencia de un intercambio de aire entre interiores y exteriores, por consiguiente, la mayor parte de contaminantes que existen en exteriores se hallan en los interiores. También sostiene que los contaminantes que existen en los interiores pueden clasificarse de acuerdo a su origen o como agentes físicos, químicos y biológicos, dependiendo de la naturaleza física de las partículas.

2.3. Contaminantes atmosféricos

MARTÍNEZ *et al.* (2007), define a los contaminantes, “como cualquier sustancia que añadida a la atmósfera produzca un efecto considerable sobre las personas o el medio puede ser clasificado como contaminante, así pues, las partículas en suspensión o las especies radiactivas producidas en los ensayos nucleares están también incluidas”.

Según cita PÁEZ (2008), los contaminantes atmosféricos de mayor importancia son: monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas, ozono.

2.4. Partículas atmosféricas o material particulado atmosférico

Acorde a la Norma ISO 4225 (1994), las partículas son pequeñas masas de materia líquida o sólida, y se definen como partículas atmosféricas si se encuentran suspendidas en masa de aire estable.

PUTUAD *et al.* (2004), citado por ALDABE (2011), define que, el término partículas atmosféricas comprende tanto a las partículas en suspensión como a aquellas que poseen un diámetro aerodinámico mayor de 10 μm ,

denominadas partículas sedimentables, su mayor característica es presentar un tiempo de vida corto en la atmósfera.

Asimismo, el material particulado atmosférico es un componente usual de la atmosfera terrestre de origen natural o antropogénico, en ambos casos es considerado un contaminante atmosférico porque causa una variación a la composición inicial de la atmosfera. Las emisiones naturales como las partículas que proviene de la actividad volcánica, material mineral resuspendido o el aerosol marino son mayores en comparación a las emisiones antropogénicas, debido a que estas últimas se encuentran principalmente en zonas urbanas o industriales (IPPC, 2001).

POSCHL (2005), citado por BORRÁS (2013), menciona que las partículas de menor tamaño penetran hacia las zonas más profundas del pulmón, en comparación las partículas de mayor tamaño llegan a ser filtradas durante la inhalación. Los efectos más severos de éstas se encuentran sujetas a la composición la concentración numérica de partículas, su solubilidad, estructura química, etc.

2.4.1. Composición química de las partículas

La estructura de la materia particulada es compleja, ésta contiene sustancias orgánicas e inorgánicas presentando una composición física y química variable. En las especies que se encuentran en su composición química tenemos al material geológico, materia orgánica, carbón elemental, sulfatos, nitratos, amonio y especies solubles en agua como el cloruro de sodio (FERNÁNDEZ, 2001).

En este sentido, QUIJANO *et al.* (2010), considera importante conocer la calidad del aire que se respira en las zonas urbanas a través de la composición química del material particulado.

a. Materia mineral o geológica

IPPC (2001), sostiene que la materia mineral alcanza el 44% de las emisiones globales, figurando como la fracción mayoritaria.

La materia mineral o geológica, generalmente se encuentra constituida por calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], arcillas y porciones mínimas de sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y óxidos de hierro (Fe_2O_3). Esta composición varía de un lugar a otro y dependerá de las características y estructura de los suelos (ÁVILAS *et al.*, 1997; SÁNCHEZ DE LA CAMPA, 2003), citado por ALDABE (2011).

Pese a que la mayoría de las emisiones de material mineral son naturales, existen emisiones derivadas de acciones antropogénicas, especialmente en zonas urbanas, como por ejemplo la construcción, la minería, el desgaste de rodadura y la resuspensión por tránsito del tráfico (QUEROL *et al.*, 2004; MAZZEI *et al.*, 2008).

b. Compuestos de carbono

Los compuestos carbonosos alcanzan el 2 y 5% de las emisiones a escala global. Estos comprenden una amplia variedad en su composición y estructura tanto en especies naturales como antropogénicas, cuya característica común es la presencia de carbono en su composición (IPPC, 2001).

Los compuestos de carbono orgánico (CO), tienden a ser contaminantes primarios (origen natural y antrópico) o secundarios, por formarse a través de la condensación de compuestos orgánicos volátiles (también de origen natural o antrópico). Las partículas primarias de origen natural son formadas principalmente por compuestos vegetales y edáficos. En tanto, las emisiones primarias de origen antrópico son principalmente por procesos de combustión incompleta de material orgánico y el tráfico (ROGGE *et al.*, 1993; JONES y HARRISON, 2005), citado por ALDABE (2011).

c. Aerosol marino

El aerosol marino producidas en mares y océanos, se encuentra en el segundo tipo de partícula con más relevancia referente a emisiones a escala global, se encuentra entre el 38% de las emisiones totales a nivel terrestre (IPCC, 2001).

El proceso de formación de los aerosoles marinos se da por la pulverización de las olas del mar cuando la velocidad del viento es muy alta y por el estallido de las burbujas de aire durante la formación de la espuma. Sus principales componentes son los iones: Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ . Estas partículas son compuestas en su mayoría por NaCl , sin embargo, existen otras especies como MgCl_2 , Na_2SO_4 y MgSO_4 . Similar al material particulado mineral, las partículas de aerosol marino son en su mayoría primarias y biogénicas, sin embargo, existen partículas secundarias de sulfato originadas por la oxidación de compuestos naturales (ALDABE, 2011).

d. Partículas sulfurosas

Las partículas sulfurosas tienen su origen en fuentes naturales y antropogénicas. En el origen natural pueden ser partículas primarias (yesos, S elemental) o, partículas secundarias formados a partir de SO_2 (origen volcánico) o el dimetilsulfuro (origen biogénico; son gases sulfurados emitidos por compuestos orgánicos y microorganismos en las superficies de mares y océanos). Las partículas de fuente antropogénicas son generadas a partir del SO_2 por la combustión de carbón y fuel-oil (FARIÑA, 2012).

e. Partículas derivadas del nitrógeno

Su origen mayoritariamente es secundario, se forman por gases precursores emitidos por fuentes naturales o por fuentes antrópicas. Las reacciones de oxidación de NO_x y de NH_3 resultan en la formación de HNO_3 y NH_4 y de la combinación de éstos surge el NH_4NO_3 (FARIÑA, 2012).

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), que son emitidos durante la combustión de combustible fósiles, las actividades agrícolas y la quema de biomasa son los precursores antropogénicos con mayor importancia. Las fuentes naturales que destacan son los incendios forestales (NO_2 , NO), las descargas eléctricas (NO), las emisiones de los suelos (N_2O) y las emisiones biogénicas (NH_3) (ALDABE, 2011).

f. Elementos traza

PEY *et al.* (2009), sostiene que el concepto de metales pesados se refiere a una propiedad física de los metales, denominándose de esta forma a elementos con una densidad superior a 6g cm^{-3} . Sin embargo, en la bibliografía existe una falta de consenso entre diversos autores en el momento de qué metales incluir bajo esta terminología y cuáles no; aun cuando es habitualmente aceptado aplicar dicho término a elementos como Ni, Cu, Zn, Cd, Hg y Pb y, en menor medida, a Cr, Mn y Fe. Sin embargo, el término “elementos traza” hace referencia a elementos como P, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Hg y Pb”

LIN *et al.* (2005), sostiene que estos elementos se encuentran en las fracciones fina ($< 1\ \mu\text{m}$) y ultrafina ($< 0.1\ \mu\text{m}$) del material particulado, y pueden ser emitidos mayoritariamente por fuentes antropogénicas, como por procesos naturales. Existen elementos que son emitidos durante procesos de combustión de combustible fósiles como V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Sn y Sb; en tanto, QUEROL *et al.* (2002) afirma que los metales como Cr, Mn, Cu, Zn y As tienen un origen de procedencia de las industrias metalúrgicas. Asimismo, BIRMILI *et al.* (2006), menciona que los metales derivados de emisiones del tránsito de vehículos son Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Sn, Sb y Ba.

2.4.2. Material Particulado en diferentes escenarios

En la ciudad de Bogotá se realizaron diversos estudios y según estos, la composición química del material particulado (MP) es diferente para cada sector. También menciona que en general las fracciones que más

contribuyen al material particulado es la geológica que se encuentra relacionado al polvo fugitivo y resuspendido, entre el 37 y 42%; las fracciones carbonáceas, entre un 11 y 12% para el carbono elemental y un 34 y 43% para materia orgánica; en la fracción iónica encontraron entre un 5 y 8% (VARGAS y ROJAS, 2010).

Además, CHOW *et al.* (1997) durante el invierno realizó un estudio donde se reflejó la variada composición química del material particulado., realizaron un muestreo en 7 puntos en Tlalnepantla. Los puntos de muestreo se llevaron a cabo en una zona industrial – comercial de la ciudad (industria electrónica, metalúrgica, cervecería, etc). El componente que refleja más es el material geológico (Al – U), seguido del carbono orgánico y elemental (10% y 4% respectivamente) y el sulfato de amonio.

MORENO *et al.* (2004), realizó una estimación metódica de las potenciales secuelas ambientales de las alternativas de acción recomendadas por un sistema de toma de decisiones en Cartagena - España, reunieron 27 muestras de la materia particulada sedimentable, en las que determinaron pH, peso de la fracción soluble, peso de la fracción insoluble, peso total, cloruro, sulfato, fluoruro, nitrato, fosfato, calcio, magnesio, sodio, amonio y potasio en la fracción soluble, efectuaron también las determinaciones analíticas de los metales cadmio, cinc, cobre y hierro en la fracción insoluble.

Los muestreos de material particulado con respecto a la salud no sólo deben involucrar a la vía de inhalación, sino también a la ruta ecológica, a

la que contribuye de una forma importante la deposición atmosférica. En este sentido se considera importante el estudio de la fracción gruesa de las partículas atmosféricas, teniendo en cuenta el proceso principal de transferencia desde la atmósfera a las superficies.

MORENO *et al.* (2004), concluye que las concentraciones de las partículas atmosférico sedimentable cuantificadas en el periodo de estudio son muy altas, colocando en evidencia la repercusión de las actividades que se desarrollan en la zona evaluada tienen sobre estas variables”.

Cuadro 1. Valores medios de las variables estudiadas en las partículas atmosféricas sedimentables ($t\ km^{-2}\ x\ mes$)

Variable	Los Mateos				Puerto de Cartagena			
	N	Media	Mínimo	Máximo	N	Media	Mínimo	Máximo
pH	34	6.64	3.5	8	27	7.84	6.79	10.02
Peso soluble	34	7.08	1.24	20.72	27	6.77	1.98	14.80
Peso insoluble	34	6.08	1.75	15.43	27	12.48	2.99	35.42
Peso total	34	13.16	3.85	28.86	27	19.25	6.21	43.58
Cloruro	34	1.57	0.17	6.07	27	0.72	0.10	9.82
Nitrato	34	0.19	0.01	1.16	27	0.21	0.00	0.81
Fosfato	-	0.00	0.00	0.00	27	0.24	0.00	2.00
Sulfato	34	4.08	0.37	61.53	27	1.34	0.38	3.24
Sodio	18	0.21	0.03	0.62	27	0.20	0.02	1.30
Amonio	18	0.41	0.01	1.70	27	0.09	0.00	0.60
Potasio	18	0.62	0.02	3.62	27	0.78	0.00	8.16
Magnesio	18	0.08	0.01	0.38	27	0.15	0.03	0.90
Calcio	18	0.65	0.16	2.44	27	1.35	0.14	3.81
Cinc	31	0.13	0.03	0.42	12	0.31	0.08	0.86
Plomo	31	0.01	0.00	0.02	12	0.02	0.01	0.04
Cobre	31	0.00	0.00	0.01	12	0.00	0.00	0.01
Cadmio	31	0.00	0.00	0.00	12	0.00	0.00	0.00
Hierro	31	0.31	0.10	0.69	12	0.19	0.07	0.45

Fuente: MORENO *et al.* (2004)

PALACIOS (2014), indica en su estudio sobre la deposición atmosférica que el calcio presenta altas concentraciones posiblemente por influencia de minas y rocas calizas, puntualizando que las rocas calizas utilizadas contienen por lo menos 70% de carbonato de calcio (CaCO_3) y cantidades variables de carbonatos de magnesio (MgCO_3). Sin embargo, en la producción cementera local utilizan caliza dolomítica que contiene un 30 y 45% de carbonato de magnesio (MgCO_3), dando mayor entendimiento sobre su concentración, aunque en menor grado que el Ca^{2+} .

Los vehículos diésel generalmente emiten partículas en cantidades más grandes a comparación de los vehículos de gasolina, y en mayor cantidad de carbono elemental, al mismo tiempo que las cantidades de Cl y Fe (HARRISON Y VAN GRIEKEN, 1998), citado por ARTIÑAÑO y QUEROL (2005).

STECHMANN (1990), citado por SUÁREZ *et al.* (2017) indica que el parque automotor es el centro urbano con mayor presencia de vehículos menores y transporte público, por consiguiente, las concentraciones de SO_4 estarían en aumento por los procesos de combustión, típicas en áreas urbanas.

La concentración y distribución del material particulado va a depender de diversas variables locales según la zona de estudio, considerando que sus efectos han sido investigados por diferentes autores en el mundo. Indicando que los ingresos por afectaciones respiratorias a los centros hospitalarios son referentes a las zonas muestreadas, concluyendo que toda investigación debe ser puntual para poder determinar la relación entre los

elementos mineralógicos y químicos encontrados en las muestras (ARCINIÉGAS, 2012).

2.5. Partículas atmosféricas sedimentables

FERNÁNDEZ (2001), indica que las partículas atmosféricas sedimentables se encuentran constituidas por partículas sólidas con un diámetro entre los 10 μm y los 100 μm . Una de las características que estas partículas es que permanecen en suspensión durante periodos cortos de tiempo, por lo que sus efectos solo pueden encontrarse en las proximidades de las fuentes que las emiten.

En este sentido las partículas sedimentables están compuestas por sustancias solubles e insolubles. En conjunto contiene gran una cantidad de elementos metálicos y compuestos orgánicos, en áreas contaminadas la fracción soluble recogida es rica en sulfatos y la solución es ácida (ARJONA, 2006).

Las partículas atmosféricas sedimentables poseen una composición química diversa, considerando algunos constituyentes como nutrientes, también los metales pesados son considerados contaminantes tóxicos potenciales. Entre los componentes químicos más representativos de las partículas sedimentables son las sustancias inorgánicas (sílice, sulfatos, cloruros, nitratos, hierro, calcio, aluminio, plomo, cinc, etc.), los componentes orgánicos son básicamente sustancias que proceden de la combustión incompleta del carbón o derivados del petróleo (FERNÁNDEZ, 2001).

FERNÁNDEZ (2001), sostiene que estas partículas son eliminadas por deposición húmeda mediante la retención y el arrastre de las gotas de lluvia o nieve, además de depositarse por acción de la fuerza de gravedad denominada deposición seca.

2.5.1. Efectos de las partículas sedimentables

Los efectos de las partículas sedimentables provienen de la acción que se produce sobre la superficie que se deposita según su constitución química.

a. Efecto sobre la atmósfera

Según EPA (2004), sostiene que las partículas pueden disminuir la visibilidad ya que las partículas reflejan y absorben parte de la energía solar, provocando una afectación sobre el clima.

b. Daños causados a los suelos y vegetación

Según EPA (2004), considera que las partículas sedimentables tienen la posibilidad de producir contaminaciones, llegando a alterar la composición original de los suelos, así como también en las plantas dificultando ciertos procesos celulares vitales causado por la deposición sobre las hojas.

El suelo y las plantas son los principales receptores de las partículas sedimentables o materia sedimentable, por lo cual el estudio de la deposición atmosférica de componentes tóxicos es de suma importancia. Los altos niveles de deposición dan lugar a que la acumulación de estos contaminantes sea de

un nivel considerable, disminuyendo así la capacidad de eliminación por los vegetales y el efecto de lavado en los suelos (FERNÁNDEZ, 2001).

c. Deterioro de los materiales

La deposición de partículas sobre superficies de metales, inmuebles, etc., perjudica no solamente a la estética de los mismos, sino que, algunas veces al producirse un ataque químico superficial, puede dar lugar a su deterioro.

En este sentido, no solo puede ensuciar diversas superficies de instalaciones, sino también fenómenos de corrosión de los materiales de construcción y recubrimientos industriales, por ejemplo, favorecen a la oxidación de superficies metálicas porque actúan como catalizadores (FERNÁNDEZ, 2001).

Según EPA (2004), destaca que, aunque no presenta un peligro significativo para la salud humana, puede llegar a empeorar ciertas afecciones respiratorias.

2.6. Metodología de medición de partículas atmosféricas sedimentables

En tanto para el muestreo de las partículas sedimentables existen diversos métodos cuales son divididos en métodos continuos y discontinuos. El método continuo involucra captar y analizar el contaminante en el punto de muestreo de manera continua y automática, el método discontinuo se realiza mediante la captación del contaminante en el punto de muestreo y su posterior transporte al laboratorio para realizar el análisis (ROBERTS, 2000).

Sin embargo, a partir de estas metodologías, se obtienen cinco tipos genéricos: muestreadores activos y pasivos, analizadores automáticos en línea, bioindicadores y sensores remotos. A su vez, en los muestreadores pasivos el muestreo de contaminantes se obtiene por dispositivos de toma de muestras, cuyo objetivo es recoger un contaminante específico por medio de su adsorción ((jarras y placas receptoras) y absorción de un sustrato químico seleccionado (tubos pasivos) (ROBERTS, 2000).

2.6.1. Método de placas receptoras

Con respecto al método de placas receptoras se basa en el uso de placas o láminas, el cual compone el elemento sensible, donde la partícula atmosférica sedimentable (PAS) o contaminante sólido sedimentable (CSS) quedará atrapado. Se realiza mediante un conveniente período de exposición de muestreo, que puede ser desde un par de horas hasta un mes, posteriormente la muestra retorna al laboratorio donde se analiza cuantitativamente por el método gravimétrico.

Una de las importantes ventajas de esta metodología son los costos bajos en la aplicación, permitiendo obtener diversos dispositivos para lograr obtener información de la distribución espacial de contaminantes. No obstante, el tiempo de resolución de esta técnica es reducido, por lo cual sólo se puede proporcionar información de concentraciones promedio de contaminantes. En tanto, esta investigación utilizó de referencia el método utilizado por el SENAMHI para el monitoreo de PAS para la Ciudad de Lima Metropolitana y Callo, el método es de muestreo pasivo mediante placas receptoras.

2.7. Normativa para las partículas atmosféricas sedimentables

En nuestro país no se evidencia una normativa establecida por la entidad correspondiente (Ministerio del Ambiente) por ello instituciones como DIGESA y SENAMHI, toman como referencia las normativas internacionales. En consecuencia, esta investigación utilizó como referente el parámetro máximo para polvo atmosférico sedimentable ($5 \text{ t km}^{-2} \times \text{mes}$) según la normativa Organización Mundial de la Salud (OMS)

Cuadro 2. Límites máximos permisibles por DIGESA Y SENAMHI según el método y técnica empleada.

Institución	Tiempo promedio	Límites Máximos		Técnica - Método
		$\text{t km}^{-2} \times \text{mes}$	$\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$	
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 de vidrio)

Fuente: DIGESA, SENAMHI (2008)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los meses de abril a setiembre, se realizó en dos etapas. La primera etapa fue investigación de campo en interiores de la zona urbana; comprende Tingo María, Castillo Grande, Naranjillo, Supte y Afilador. Se siguió con el análisis de las muestras en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Agraria de la Selva.

3.1.1. Ubicación política

Políticamente los puntos de monitoreo se encuentran ubicados en:

Distrito : Rupa Rupa, Castillo Grande y Naranjillo

Provincia : Leoncio Prado

Departamento : Huánuco

3.1.2. Ubicación geográfica

Los puntos para el monitoreo de partículas atmosféricas sedimentables se encuentran ubicados en las coordenadas descritas en el siguiente cuadro. Para mayor detalle ver el plano en el Anexo D.

Cuadro 3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo en las zonas urbanas de Tingo María, Naranjillo, Supte y Afilador.

Lugar	Dirección	Zona	Coordenadas UTM	
			Este (m)	Norte (m)
Supte	Av. Hipólito T. Mz 18 Lt 5		392903	8973185
Afilador	Mar de Plata Mz J Lt 5		390891	8969300
Brisas	Av. Arenales Mz G Lt 18		389844	8970571
Castillo Fondo	Av. Iquitos N° 913		389164	8973736
Castillo Entrada	Av. Abelardo Q. N° 120		389441	8971765
Raimondi 3	Av. Raimondi N° 322	18 L	391686	8971946
Julio Burga	Jr. Julio Burga N° 425		390564	8972576
Amazonas	Av. Amazonas N° 628		390413	8972044
Raimondi 9	Av. Raimondi N° 947		390225	8972609
Electrocentro	Av. Las Palmeras N° 101		390895	8973078
Naranjillo Fondo	Av. Primavera Mz 14 Lt 5		391244	8975932
Naranjillo Entrada	Ctra F. B. Terry Km 3.2		390795	8977359

3.1.3. Aspectos ambientales

Las zonas de estudio tienen un clima tropical, la temperatura media mensual en verano varía entre 29°C y 20°C y en invierno entre 30°C y 19°C, el periodo de lluvia más importantes es de noviembre a abril, con precipitaciones promedio mensual de 260 L m⁻² en enero y de 74 L m⁻² en junio. La precipitación anual supera los 3100 L m⁻² (SENAMHI, 2014).

Según el mapa ecológico corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT) (HOLDRIDGE, 1987).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Se utilizó lunas de reloj, trípode, enrejado metálico, embudo de vidrio, matraz, crisoles, pipetas, papel de filtro de vidrio (Whatman), plumón de tinta indeleble y los demás materiales conocidos en laboratorio.

3.2.2. Equipos

Se utilizó una balanza analítica, estufa con regulación de temperatura y espectrofotómetro.

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Método de investigación

En esta investigación se utilizó el método de muestreo pasivo mediante placas receptoras, el cual viene siendo utilizado por el SENAMHI para el monitoreo de PAS en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao. Se obvió el uso de vaselina como adherente de partículas, permitiendo así el análisis posterior de la composición química de ésta. La muestra fue recolectada para ser llevada al laboratorio donde se analizó cuantitativamente por el método gravimétrico.

3.3.2. Tipo de investigación

Descriptiva porque se muestrearon diferentes zonas para determinar las concentraciones de las partículas atmosféricas sedimentables en

los ambientes interiores de las zonas urbanas de Tingo María, Castillo Grande y Naranjillo

3.3.3. Variables

Variable dependiente: Concentración de PAS.

Variable independiente: Contaminación en interiores.

3.3.4. Análisis de varianza estadístico

Se realizó un análisis de varianza para saber si existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de concentración entre un punto de muestreo y otro y para determinar qué medias son significativamente diferentes de otras se realizó la prueba de Duncan.

3.4. Metodología

3.4.1. Fase de precampo

Se realizó las coordinaciones para obtener permiso por parte de los dueños de las casas en todos los puntos de muestreo para la ubicación del equipo captador de partículas atmosféricas sedimentables.

1. Diseño y construcción del soporte las placas receptoras

Se diseñó un soporte (trípode) con una altura de 30 cm y una plataforma interior, cuya finalidad es brindar soporte a las placas receptoras de PAS. Para evitar que penetren materiales extraños y grotescos a lo que se desee determinar, el trípode se protegió con un enrejado metálico de 25 mm de malla.

En el Anexo E se presenta el equipo completo del captador de partículas atmosféricas sedimentables.

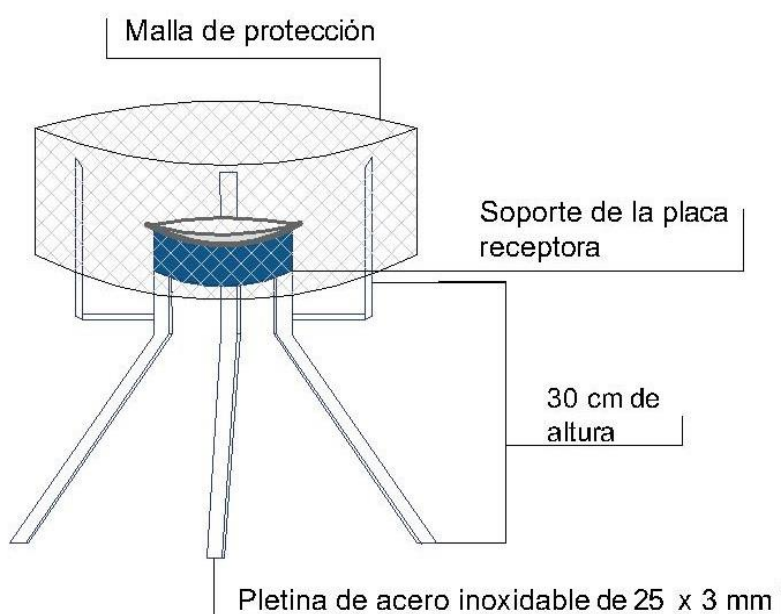


Figura 1. Esquema del captador de partículas atmosféricas sedimentable

2. Preparación e instalación de la placa receptora

La metodología propuesta por el SENAMHI, 2014 indica el uso de vaselina en las placas, la cual se obvió en este estudio para el análisis posterior de la composición química de PAS.

La preparación se limitó a la limpieza cuidadosa de las placas de vidrio con ayuda de una solución líquida dejándolas secar el tiempo necesario, se verificó que las placas estén en perfectas condiciones y se identificó con plumón indeleble para su posterior traslado a sus respectivos puntos de muestreo.

3.4.2. Fase de campo

1. Determinación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables

La toma de muestras se realizó por el método de placas receptoras, trasladando las placas hasta los sitios de monitoreo. Se colocó las placas receptoras en los soportes para ubicarlos en los interiores de los sitios seleccionados donde se dejaron expuestos durante un mes, y posteriormente se llevó a cabo un lavado de placa, de manera que no quedaran partículas adheridas a él, mediante la aplicación de 1L de agua desionizada y el uso de una varilla que arrastró las partículas hasta el frasco colector, luego fueron trasladados al Laboratorio de Microbiología de la UNAS para su respectivo análisis.

3.4.3. Fase de gabinete y laboratorio

1. Cálculo de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables

La concentración total de partículas sedimentables es la suma de la materia soluble e insoluble, normalizadas con respecto al área total de la placa. Se obtiene con la siguiente ecuación (1).

$$PAS = \left[\left(\frac{t}{km^2} \right) \times mes \right] = \left(\frac{PSI+PSS}{Área} \right) \times 30 \text{ días} \text{---- (1)}$$

Dónde:

PSI: Es el peso de la partícula sedimentable insoluble

PSS: Es el peso de la partícula sedimentable soluble

Área de la placa receptora

2. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables

Las partículas recolectadas se clasificaron en solubles e insolubles.

– Partícula sedimentable insoluble

La partícula sedimentable insoluble se determinó por la diferencia de peso ganado por un filtro. Se filtró la muestra para separar y determinar la materia sedimentable soluble e insoluble utilizando un filtro de microfibra de vidrio (Whatman GF/C) seco y tarado colocado en un embudo Büchner.

Una vez terminado el filtrado, se retiró el filtro del embudo y en un vidrio de reloj se llevó a la estufa a 105 °C durante una hora. Pasado ese tiempo se llevó al desecador durante media hora y se procedió a su pesado. Se repitió este proceso hasta la obtención de un peso constante, para asegurar que el filtro está realmente seco.

Para determinar la concentración de la partícula sedimentable insoluble (PSI) de la muestra, se aplica la siguiente ecuación (2):

$$PSI = P_{final} - P_{inicial} \text{ ---- (2)}$$

Dónde:

PSI: Partícula insoluble total

$P_{inicial}$ Es el peso inicial del filtro

P_{final} Es el peso del filtro más muestra

– **Partícula sedimentable soluble**

La partícula sedimentable soluble se determinó mediante la diferencia de peso ganado en una cápsula de porcelana, en la cual se evaporó el líquido filtrado de la muestra.

Se secaron las cápsulas de porcelana y se pesaron en la misma balanza que los filtros para determinar su tara. Se llenó con 100 mL de agua de los puntos de muestreo y se llevaron a la estufa hasta su total evaporación, después al desecador durante media hora. Pasado este tiempo se vuelven a pesar. Se repitió este proceso hasta la obtención de un peso constante.

Con el resultado del peso de la PSS y teniendo en cuenta el área de la placa receptora, el volumen de agua que hemos recogido, la alícuota que hemos tomado para realizar esta experiencia (100 mL), se determinó la materia sedimentable soluble.

Al final del procedimiento se guardó la fracción soluble restante para el análisis de los iones (BOE, 1976).

Para determinar la concentración de la partícula sedimentable soluble (PSS) de la muestra, se aplica la siguiente ecuación (3):

$$PSS = [C_{final} - C_{inicial}]x \left(\frac{V_T}{V_a}\right) \text{ ---- (3)}$$

Dónde:

PSS: Partícula soluble total

C_{inicial} : Es el peso inicial de la cápsula tarada

C_{final} : Peso de la cápsula más la muestra

V_T : Volumen total del líquido

V_A : Volumen de la alícuota tomada

3. Características químicas de las partículas atmosféricas sedimentables de la fracción soluble

– Medición de pH

Se llevó a cabo la medida del pH (Hitech 98108). Para medir el pH, se llenó medio vaso con el agua filtrada y se puso en marcha el pH-metro. Se calibró el pH-metro utilizando tampones de pH 4.0 y pH 7.0 siguiendo las instrucciones del instrumento.

– Composición iónica

Para conocer la composición iónica de la materia soluble se procederá al análisis de los cationes y aniones disueltos. Los métodos analíticos utilizados son coloración, valoración ácido-base, volumetrías y espectrofotometrías de absorción molecular (UV-visible); y se encuentran en el Anexo B.

La determinación de los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó por Coloración complexométrica. La concentración ion HCO_3^- se dio por valoración ácido – base. El ion Cl^- se dio por volumetría de precipitación, y el ion SO_4^- por el método turbidimétrico.

4. Identificación del sector con mayor contaminación

Se aplicó la prueba Duncan para la comparación de medias por puntos de muestreo.

Cuadro 4. Análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor de F
Tratamiento	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y^2}{tr}$	SC_{trat}/gl_{trat}	CM_{trat}/CM_{ee}
Error	$t(r - 1)$	$SC_{total} - SC_{trat}$	SC_{ee}/gl_{ee}	
Total	$t.r - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{tr}$		

IV. RESULTADOS

4.1. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables

Las partículas atmosféricas sedimentables se componen en solubles e insolubles. El cuadro 13, 14, 15, 16, 17 y 18 del Anexo B presenta los datos de las partículas sedimentable por cada mes de muestreo.

La figura 2 nos muestra la composición física en el mes de abril por cada punto de muestreo, la mayor concentración se encuentra en las partículas sedimentables solubles con $1.198 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

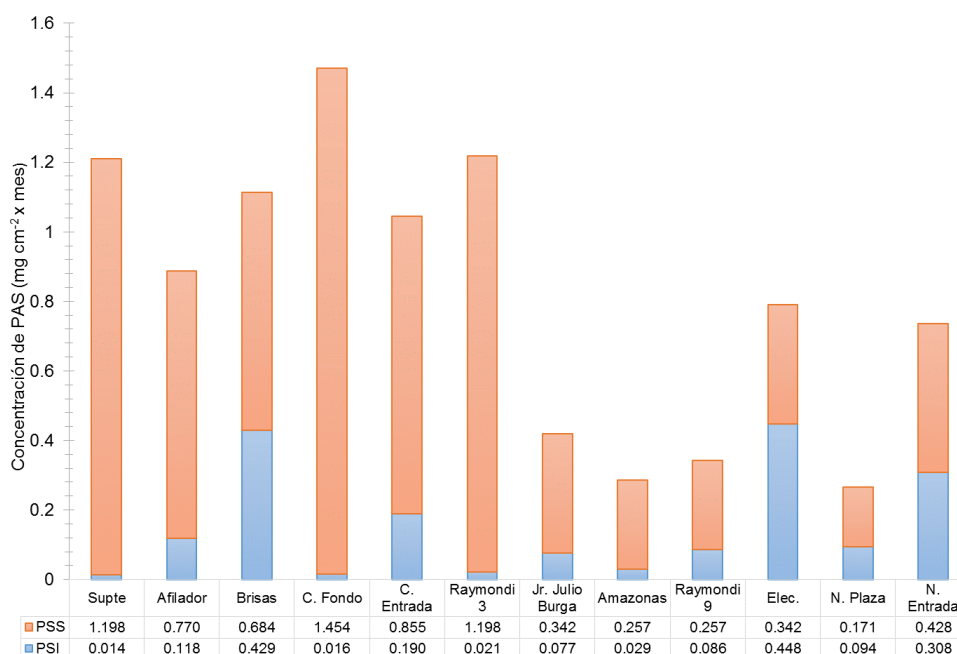


Figura 2. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables para el mes de abril

La Figura 3 nos muestra concentraciones altas para las partículas sedimentable soluble, indicando que las PAS muestreadas contienen una alta solubilidad. La concentración más alta de las partículas sedimentables soluble para el mes de mayo se da en Raymondi 3 con $1.198 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, y la más baja en el Julio Burga con $0.171 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Las partículas sedimentables insolubles alcanzan su concentración más alta en Brisas con $0.362 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, y la más baja en la Av. Raymondi 3 con $0.027 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

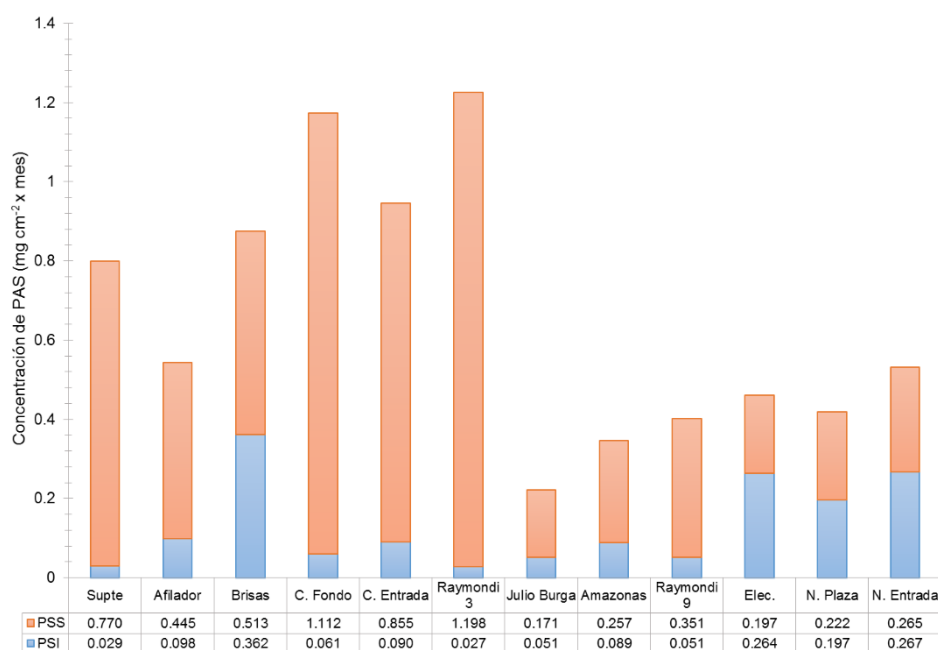


Figura 3. Composición física de las partículas atmosféricas sedimentables para el mes de mayo

La Figura 4 nos muestra la composición física del PAS muestreado en el mes de junio, se evidencia que las concentraciones de las partículas atmosféricas solubles poseen una mayor concentración que las partículas atmosféricas insolubles.

Castillo fondo presenta la concentración más alta para las partículas sedimentables solubles con $1.181 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja en Electrocentro con $0.222 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

La concentración más alta en las partículas sedimentables insolubles se encuentra en Naranjillo Plaza con $0.557 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja en Castillo Entrada con $0.040 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

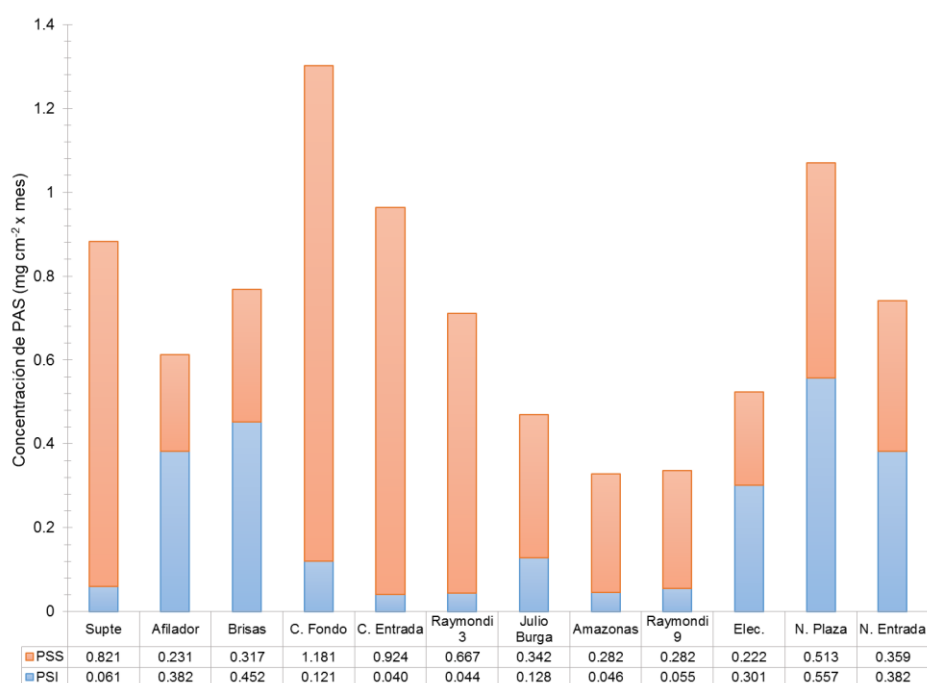


Figura 4. Composición física de las PAS para el mes de junio

Para el mes de julio la Figura 5 nos indica que el punto de muestreo con concentración más alta para partículas sedimentables solubles se encuentra en Supte con $1.061 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja en Amazonas con $0.154 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. Para las partículas sedimentables insolubles en Castillo fondo con $0.041 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja en Castillo entradas con $0.017 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

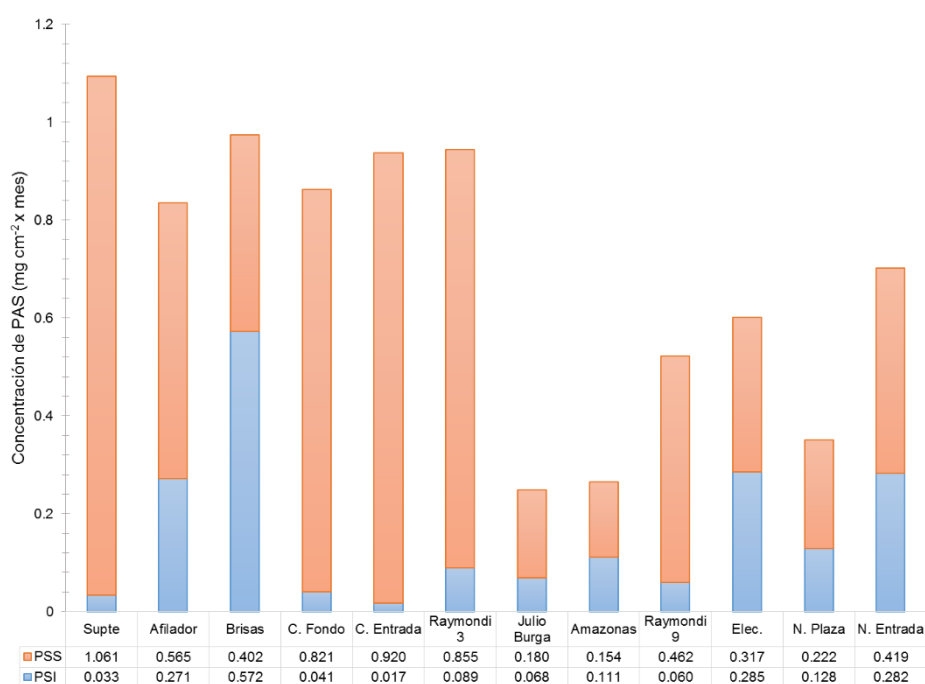


Figura 5. Composición física de las PAS para el mes de julio

En la Figura 6 para el mes de agosto las partículas sedimentables solubles tienen una concentración más alta en comparación a las partículas sedimentables insolubles. El punto de muestreo con mayor concentración para las partículas sedimentables solubles es Supte con $1.129 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y para las partículas sedimentables insolubles es $0.032 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

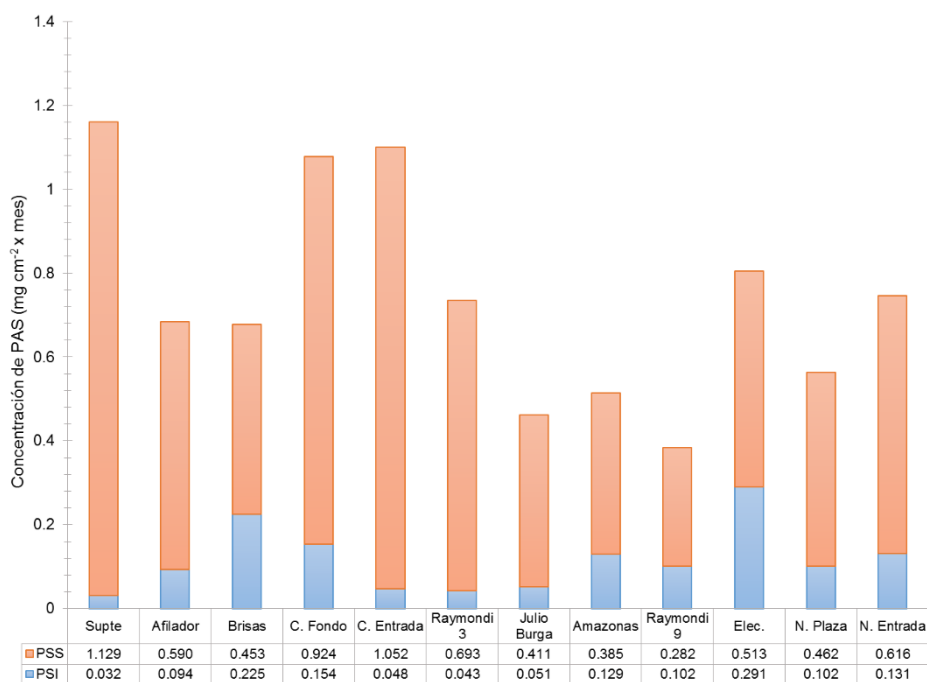


Figura 6. Composición física de las PAS en el mes de agosto

La Figura 7 nos muestra la composición física para el mes de setiembre, la mayor concentración se da en partículas sedimentables solubles.

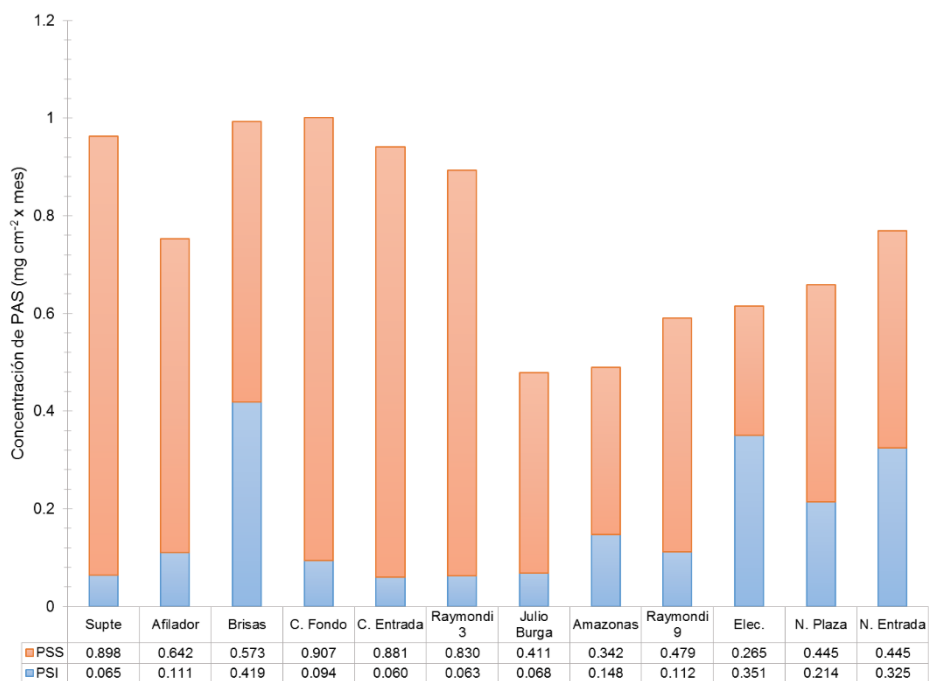


Figura 7. Composición física de las PAS en el mes de setiembre

La Figura 8 nos muestra las concentraciones de las partículas sedimentables insolubles de los 12 puntos de muestreo a través de los 6 meses de monitoreo.

La variación más notable se da para Naranjillo Plaza, alcanzando su mayor concentración en junio con $0.557 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja para el mes de abril con $0.094 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Brisas también muestra variaciones, en el mes de julio con $0.572 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ se encuentra la mayor concentración y para el mes de agosto con $0.225 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ la menor concentración.

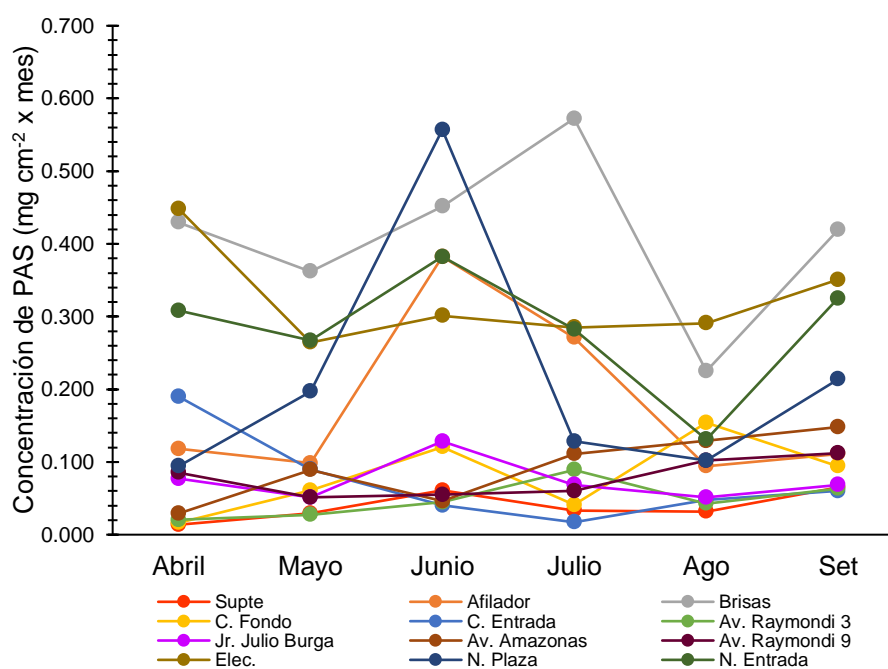


Figura 8. Partículas sedimentables insolubles con respecto al tiempo de muestreo

En la Figura 9 se presenta las concentraciones de las partículas sedimentables solubles de los 12 puntos de muestreo en los meses de monitoreo.

La variación más representativa se da en la Av. Raymondi 3, alcanzado su máximo nivel de concentración en el mes de mayo con 1.198 mg cm^{-2} x mes y la menor en el mes de junio con 0.667 mg cm^{-2} x mes.

Los otros puntos de muestreo también presentan pequeñas variaciones en sus concentraciones con respecto a los meses en los que fueron evaluados.

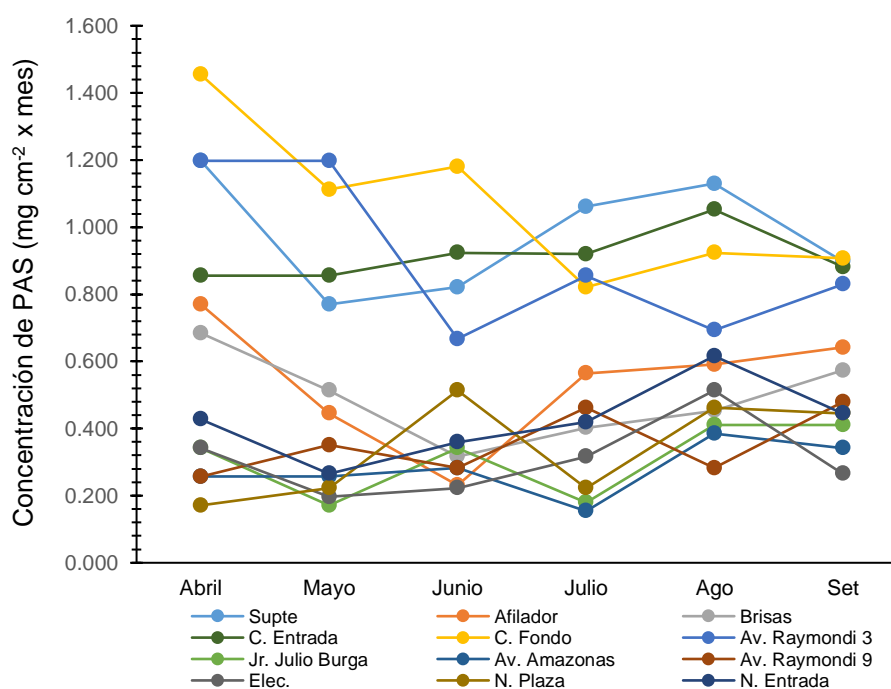


Figura 9. Partículas sedimentables solubles con respecto al tiempo de muestreo

4.2. Determinación de la composición química en las partículas atmosféricas sedimentables de la fracción soluble

La composición química a determinar en las partículas sedimentables solubles fue el pH, aniones cloruro, sulfato, bicarbonato y cationes de calcio y magnesio.

Cuadro 5. Valores de pH de la materia sedimentable soluble en los 6 meses de muestreo.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
Supte	5.50	5.60	5.30	5.30	5.40	5.40	5.42	2.16
Afilador	5.40	5.60	5.30	5.40	5.30	5.30	5.38	2.17
Brisas	5.60	5.40	5.40	5.40	5.50	5.40	5.45	1.54
Castillo Fondo	5.50	5.60	5.30	5.40	5.30	5.40	5.42	2.16
Castillo Entrada	5.50	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.33	1.53
Raymondi 3	5.40	5.60	5.40	5.30	5.50	5.40	5.43	1.90
Julio Burga	5.40	5.40	5.30	5.40	5.40	5.30	5.37	0.96
Amazonas	5.40	5.40	5.30	5.60	5.30	5.30	5.38	2.17
Raymondi 9	5.40	5.40	5.30	5.30	5.40	5.40	5.37	0.96
Electrocentro	5.40	5.40	5.30	5.30	5.40	5.40	5.37	0.96
N. Plaza	5.60	5.60	5.30	5.30	5.40	5.40	5.43	2.51
N. Entrada	5.30	5.50	5.30	5.40	5.50	5.40	5.40	1.66

En el Cuadro 5, los valores de pH para las diferentes muestras oscilan entre 5.30 y 5.60, el promedio de pH más ácido es 5.33 y se encuentra en el punto Castillo entrada.

Cuadro 6. Concentraciones del ion Ca^{2+} en el material sedimentable soluble, obtenidas de las muestras recolectadas.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
	mg cm^{-2} x mes							
Supte	0.025	0.025	0.022	0.023	0.026	0.023	0.024	6.901
Afilador	0.033	0.027	0.026	0.030	0.029	0.033	0.029	10.183
Brisas	0.026	0.026	0.023	0.023	0.023	0.025	0.024	6.162
C. Fondo	0.030	0.031	0.018	0.026	0.026	0.027	0.026	16.867
C. Entrada	0.022	0.033	0.022	0.027	0.023	0.022	0.025	17.668
Raymondi 3	0.028	0.028	0.019	0.021	0.023	0.023	0.024	15.523
Julio Burga	0.018	0.028	0.023	0.025	0.026	0.023	0.024	14.216
Amazonas	0.018	0.027	0.020	0.023	0.022	0.023	0.022	14.137
Raymondi 9	0.020	0.023	0.015	0.023	0.022	0.021	0.021	14.319
Electrocentro	0.026	0.027	0.022	0.022	0.022	0.021	0.023	10.888
N. Plaza	0.019	0.026	0.018	0.022	0.021	0.023	0.022	12.415
N. Entrada	0.042	0.026	0.025	0.023	0.021	0.023	0.027	28.767

En el Cuadro 7 se muestran las concentraciones del ion Ca^{2+} de la partícula al sedimentable soluble para los doce puntos de muestreo, expresados en mg cm^{-2} x mes

Las medias de las concentraciones del ion Ca^{2+} en los 6 meses de evaluación no muestran variabilidad en sus niveles de concentración por cada punto de muestreo, oscilando entre 0.021 y 0.029 mg cm^{-2} x mes correspondiente a la Raimondi 9 y Afilador respectivamente.

Cuadro 7. Concentraciones del ion Mg^{2+} en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras recolectadas.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
	mg cm^{-2} x mes							
Supte	0.014	0.016	0.011	0.013	0.015	0.014	0.014	11.449
Afilador	0.012	0.013	0.018	0.017	0.018	0.016	0.016	17.030
Brisas	0.017	0.022	0.018	0.018	0.020	0.019	0.019	9.540
Castillo Fondo	0.012	0.013	0.011	0.013	0.012	0.014	0.013	7.042
Castillo Entrada	0.014	0.013	0.010	0.012	0.013	0.014	0.013	11.134
Raymondi 3	0.011	0.014	0.010	0.013	0.014	0.013	0.012	11.196
Julio Burga	0.011	0.012	0.014	0.012	0.014	0.015	0.013	13.417
Amazonas	0.012	0.012	0.011	0.012	0.013	0.013	0.012	6.114
Raymondi 9	0.016	0.013	0.009	0.012	0.014	0.016	0.013	19.071
Electrocentro	0.016	0.012	0.009	0.014	0.015	0.014	0.013	18.456
Naranjillo Plaza	0.013	0.013	0.012	0.013	0.014	0.014	0.013	5.618
Naranjillo Entrada	0.025	0.017	0.016	0.016	0.021	0.019	0.019	19.503

En el Cuadro 8 se muestran las concentraciones del ion Mg^{2+} de la partícula sedimentable soluble para los doce puntos de muestreo, expresados en $mg\ cm^{-2}$ x mes.

Las medias de las concentraciones del ion Mg^{2+} en los 6 meses de evaluación no muestran variabilidad en sus niveles de concentración por cada punto de muestreo, oscilando entre 0.012 y 0.019 $mg\ cm^{-2}$ x mes correspondiente a Raymondi 3 y Naranjillo Entrada respectivamente.

Cuadro 8. Concentraciones del ion bicarbonato HCO_3^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
	mg cm^{-2} x mes							
Supte	0.066	0.037	0.050	0.061	0.064	0.049	0.055	20.847
Afilador	0.070	0.031	0.071	0.064	0.090	0.068	0.066	29.215
Brisas	0.054	0.047	0.050	0.052	0.068	0.056	0.055	13.185
C. Fondo	0.059	0.031	0.045	0.056	0.073	0.049	0.052	26.998
C. Entrada	0.049	0.040	0.043	0.043	0.049	0.043	0.045	7.661
Raymondi 3	0.050	0.040	0.054	0.054	0.043	0.049	0.048	11.679
Julio Burga	0.045	0.042	0.049	0.043	0.061	0.054	0.049	14.795
Amazonas	0.049	0.050	0.052	0.033	0.071	0.061	0.053	24.285
Raymondi 9	0.040	0.050	0.043	0.045	0.054	0.043	0.046	11.130
Electrocentro	0.042	0.043	0.049	0.043	0.056	0.043	0.046	11.383
N. Plaza	0.028	0.049	0.033	0.035	0.059	0.045	0.041	28.136
N. Entrada	0.059	0.045	0.056	0.043	0.064	0.056	0.054	14.992

En el Cuadro 9 se muestran las concentraciones del ion Bicarbonato HCO_3^- de la partícula sedimentable soluble para los doce puntos de muestreo, expresados en mg cm^{-2} x mes.

Las medias de las concentraciones del ion HCO_3^- en los 6 meses de evaluación oscilan entre 0.041 y 0.066 mg cm^{-2} x mes, el valor más alto corresponde al punto en Afilador y el más bajo a Naranjillo Plaza.

En la Figura 10 podemos observar que las concentraciones del ion HCO_3^- son mayores a los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} .

Sin embargo, los promedios de los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} para los doce puntos de muestreo no presentan variabilidades bruscas en sus concentraciones.

El ion HCO_3^- presenta variabilidades notables en sus concentraciones promedios, alcanzando la concentración más alta para Afilador con $0.66 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y la más baja para Castillo Entrada con $0.048 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.



Figura 10. Promedios de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y HCO_3^- para cada punto de muestreo.

Cuadro 9. Concentraciones del ion Cl^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
	mg cm^{-2} x mes							
Supte	0.023	0.024	0.022	0.021	0.020	0.021	0.022	6.607
Afilador	0.020	0.023	0.021	0.023	0.014	0.017	0.020	19.501
Brisas	0.018	0.022	0.024	0.022	0.018	0.021	0.021	12.024
Castillo Fondo	0.023	0.023	0.023	0.023	0.018	0.023	0.022	9.636
Castillo Entrada	0.019	0.021	0.021	0.023	0.022	0.020	0.021	7.209
Raymondi 3	0.021	0.021	0.022	0.021	0.017	0.018	0.020	10.880
Julio Burga	0.023	0.021	0.020	0.021	0.017	0.018	0.020	10.508
Amazonas	0.022	0.020	0.023	0.022	0.019	0.021	0.021	7.660
Raymondi 9	0.023	0.020	0.022	0.021	0.018	0.020	0.021	8.812
Electrocentro	0.021	0.022	0.021	0.020	0.018	0.022	0.021	7.108
N. Plaza	0.025	0.024	0.024	0.022	0.026	0.024	0.024	5.790
N. Entrada	0.023	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022	4.696

En el Cuadro 10 se muestran las concentraciones del ion Cl^- de las partículas sedimentables solubles para los doce puntos de muestreo, expresados en mg cm^{-2} x mes.

La concentración más alta se encontró en Naranjillo Plaza para el mes de agosto con 0.026 mg cm^{-2} x mes.

Las medias de las concentraciones del ion Cl^- en los 6 meses de evaluación oscilan entre 0.020 y 0.024 mg cm^{-2} x mes, siendo el valor más alto para Naranjillo Plaza y el valor más bajo para Afilador.

Cuadro 10. Concentraciones del ion sulfato SO_4^- en el material sedimentable soluble, obtenidas en las muestras colectadas en el 2016.

Lugar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	\bar{x}	CV (%)
	mg cm^{-2} x mes							
Supte	0.077	0.073	0.136	0.105	0.089	0.092	0.095	23.886
Afilador	0.080	0.073	0.126	0.088	0.117	0.105	0.098	21.577
Brisas	0.079	0.086	0.122	0.091	0.079	0.094	0.092	17.396
C. Fondo	0.105	0.065	0.125	0.061	0.111	0.082	0.092	28.615
C. Entrada	0.085	0.056	0.117	0.079	0.066	0.110	0.085	27.954
Raymondi 3	0.086	0.073	0.121	0.099	0.090	0.105	0.096	17.484
Julio Burga	0.083	0.063	0.079	0.111	0.103	0.093	0.089	19.583
Amazonas	0.074	0.037	0.124	0.077	0.084	0.079	0.079	34.751
Raymondi 9	0.059	0.072	0.115	0.103	0.081	0.077	0.084	24.610
Electrocentro	0.082	0.078	0.114	0.128	0.083	0.096	0.097	20.852
N. Plaza	0.078	0.065	0.130	0.105	0.076	0.084	0.090	26.736
N. Entrada	0.121	0.097	0.114	0.104	0.091	0.106	0.105	10.486

En el Cuadro 11 se muestran las concentraciones del ion sulfato SO_4^- de las partículas sedimentable soluble para los doce puntos de muestreo, expresados en mg cm^{-2} x mes.

Las medias de las concentraciones del ion SO_4^- en los 6 meses de evaluación oscilan entre 0.079 y 0.105 mg cm^{-2} x mes, siendo el valor más alto para Naranjillo Entrada y el valor más bajo para Amazonas.

La Figura 11 nos muestra las variabilidades en las concentraciones de los iones con respecto a cada punto de muestreo.

La concentración promedio de los iones SO_4^- es muy variable para todos los puntos de muestreo, presentando una concentración mayor en Naranjillo Entrada con $0.105 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$ y una menor en Raymondi 9 con $0.084 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Para el ion Cl^- las concentraciones en los doce puntos de muestreo no presentan mucha variabilidad ya que oscilan entre 0.020 y $0.024 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

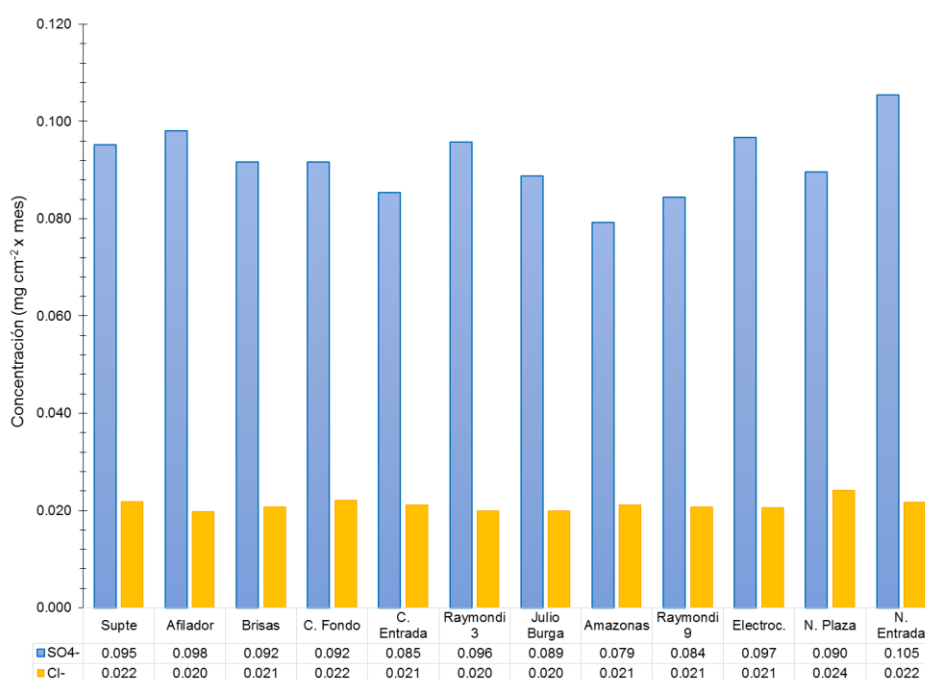


Figura 11. Promedio mensual de Cl^- y SO_4^- en los doce puntos de muestreo.

4.3. Identificar los sectores con mayor contaminación por partículas atmosféricas sedimentables

El ANVA del análisis estadístico realizado indica que existen diferencias significativas entre los puntos de muestreo como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 11. Análisis de varianza de las concentraciones de partículas atmosféricas en los diferentes puntos de muestreo.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	505.859	11	45.987	22.16	0
Error experimental	124.535	60	2.076		
Total	630.394	71			

Cuadro 12. Prueba Duncan de las concentraciones de PAS en diferentes puntos.

Lugar	Casos	Media	Grupos homogéneos
Amazonas	6	0.372	A
Julio Burga	6	0.384	A
Raimondi 9	6	0.430	A
Naranjillo Plaza	6	0.478	A B
Electrocentro	6	0.633	B C
Naranjillo Entrada	6	0.705	C
Afilador	6	0.722	C
Raimondi 3	6	0.955	D
Brisas	6	0.966	D
Castillo Entrada	6	0.989	D E
Supte	6	1.018	D E
Castillo Fondo	6	1.148	E

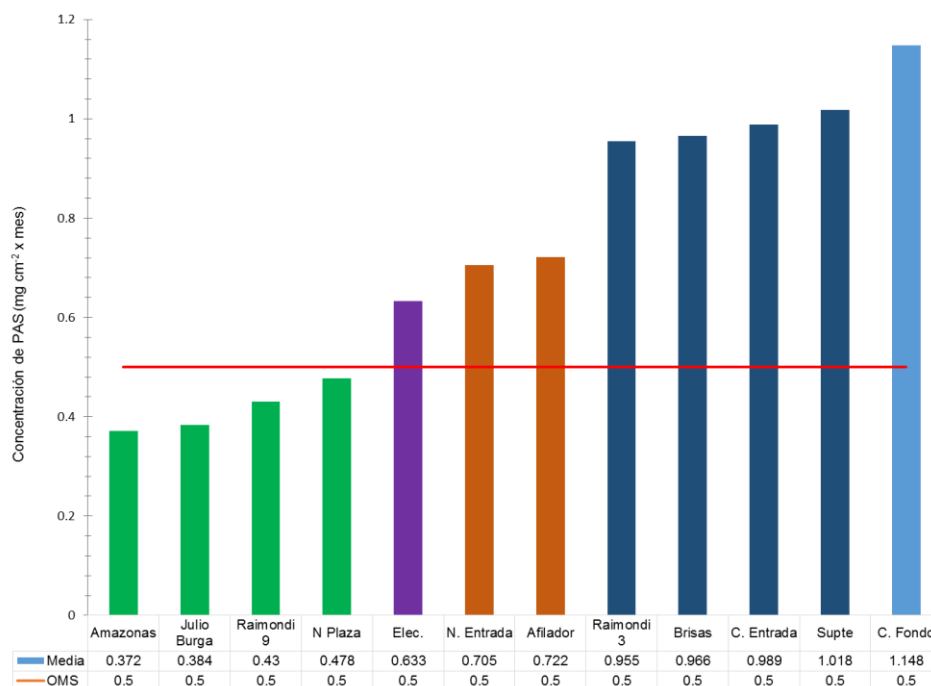


Figura 12. Concentración de partículas atmosféricas sedimentables por sector de muestreo.

La prueba Duncan aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Como resultado tenemos que existen 5 grupos que son diferentes entre sí, pero que sus componentes no son significativamente diferentes. Los grupos formados son: A (Amazonas, Julio Burga, Raimondi 9 y Naranjillo Plaza), B (Naranjillo Plaza y Electrocentro), C (Electrocentro, Naranjillo Entrada y Afilador), D (Raimondi 3, Brisas, Castillo Entrada y Supte) y por último E (Castillo entrada, Supte y Castillo Fondo).

El Cuadro 12 se da la comparación de medias mediante la prueba Duncan, éste indica que el sector Amazonas tiene una concentración baja en

partículas atmosféricas sedimentables con $0.372 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. El sector con alta concentración estadísticamente es Castillo Fondo con $1.148 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Haciendo referencia a la normativa de la OMS en ella se establece el valor límite de $0.5 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, en las medias de las concentraciones se encontraron que 8 puntos superan el valor límite.

V. DISCUSIÓN

El análisis gravimétrico de las partículas atmosféricas sedimentables se realizó sobre 72 muestras colectadas de abril a setiembre del año 2016 en 12 puntos diferentes, realizado en un muestreo mensual.

Del total de 72 datos, observamos que 53 sobrepasan el límite por la OMS. Se observó que los puntos de muestreo como Julio Burga, Amazonas y Raimondi 9 son los únicos que no sobrepasaron los límites máximos permitidos por la OMS a excepción de la Av. Raimondi 9 para el mes de setiembre que registró $0.599 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. La zona de Naranjillo Plaza no sobrepasó los límites máximos en los meses de abril, mayo y julio.

La concentración más alta se dio en el mes de abril en el punto de Castillo fondo con una concentración de $1.454 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$., se presume que este punto tuvo influencia de las actividades propias de los residentes como la afluencia de fuentes móviles en esta zona, REÁTEGUI (2016), indica en su estudio que encontró un mayor tráfico vehicular en Castillo Grande. Asimismo, QUISPE *et al.* (2014), estimó la contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María (Huánuco, Perú)., llegando a la conclusión que en la ciudad existe niveles de contaminación atmosférica y que éstas guardan una gran relación con las tasas de flujo vehicular.

La contaminación por partículas atmosféricas sedimentables en ambientes interiores puede darse por fuentes fijas y móviles, estos son grandes contribuyentes para los contaminantes atmosféricos, no obstante, es importante mencionar la aportación por costumbres y hábitos de cada hogar muestreado. ARCINIÉGAS (2012), sostiene que va a depender de diferentes variables locales la obtención de concentración y distribución de tamaños aerodinámicos del material particulado.

El hecho más evidente de la presencia de partículas atmosféricas sedimentable es el ensuciamiento que ocasiona, sin embargo, MORENO *et al.* (2004), indica que el muestreo de partículas en relación a la salud no solo debe involucrar la vía de inhalación, pues también la ruta ecológica. En este sentido, se considera relevante el estudio de la fracción gruesa de las partículas atmosféricas, teniendo en cuenta la causa principal de transferencia desde la atmósfera hacia la superficie.

El Estado Australiano del Medio Ambiente (2001), citado por MORENO *et al.* (2004), considera que la deposición se utiliza como indicador ambiental específico, proponiendo una mejor idea de efectividad y el grado de buena práctica que se está empleando.

En cuanto a la distribución del peso en la composición física de las partículas atmosféricas sedimentables, está constituida por el material soluble e insoluble. Los datos recogidos en el periodo de evaluación, encontró que el mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables corresponde a partículas solubles con un 83% y el restante con un 17% partículas insolubles.

MORENO *et al.*, (2004), señala a la presencia de lluvias como compuestos que brindan acidez al depósito, estableciendo un aumento en el material soluble. Cabe mencionar que en el estudio las muestras se obtuvieron por deposiciones secas, lo que refiere que el mayor peso obtenido en el material soluble corresponde a la presencia de compuestos.

Las características químicas se determinaron en la fracción soluble. Los valores de pH encontrados en las 72 muestras oscilan entre 5.3 y 5.6, indicando que el material soluble es ligeramente ácido. HERRERA *et al.*, (2015) menciona que la disminución de los valores de pH es básicamente originada por la presencia de ácido sulfúrico, nítrico y ácidos carboxílicos, ácido carbónico, acético y fórmico, entre otros. La deposición ácida puede ser causada por el aporte que se genera en las fuentes locales, así como por el transporte de los contaminantes.

SEINFELD y PANDIS (1998), citado por MORENO *et al.* (2004), plantea que los valores de pH entre 5.0 y 5.6 pueden estar influenciados por emisiones de origen antropogénico, mientras que el pH por encima de 5.6 no encuentra influencia por actividades antropogénicas, o existe la suficiente capacidad de taponamiento para que la acidificación no ocurra.

El ion Ca^{2+} presentó concentraciones medias por zonas de 0.021 a 0.029 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. Las zonas Afilador, Castillo Fondo y Naranjillo Entrada presentaron medias superiores con 0.029, 0.026 y 0.027 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, respectivamente. Por el contrario, las zonas más céntricas como Amazonas y Raimondi 9 presentaron medias bajas con 0.021 y 0.022 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

Para el ion Mg^{+2} la concentración varía desde 0.012 a 0.019 $mg\ cm^{-2}$ x mes, las zonas de Brisas y Naranjillo Entrada presentaron las medias altas, mientras que las estaciones céntricas como Amazonas y Raimondi 3 presentaron las medias bajas con 0.012 $mg\ cm^{-2}$ x mes.

El Ca^{2+} y Mg^{+2} presentan mayor concentración en los alrededores de la ciudad, como Afilador, Castillo Fondo y Naranjillo Entrada, debido probablemente a la influencia de la extracción de materiales (hormigón, etc) y ladrilleras donde se utiliza dolomita (carbonato de calcio y magnesio). PALACIOS (2014), indica en su estudio que el calcio presenta alta concentraciones posiblemente por influencia de minas y rocas calizas, puntualizando que las rocas calizas utilizadas contienen por lo menos 70% de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y cantidades variables de carbonatos de magnesio ($MgCO_3$). Sin embargo, en la producción cementara local utilizan caliza dolomítica que contiene un 30 y 45% de carbonato de magnesio ($MgCO_3$), dando mayor entendimiento sobre su concentración, aunque en menor grado que el Ca^{2+} .

El ion HCO_3^- presenta una media de 0.041 a 0.066 $mg\ cm^{-2}$ x mes., la zona que presentó una media alta fue afilador.

La concentración de Cl^- presenta baja variabilidad de 0.020 a 0.024 $mg\ cm^{-2}$ x mes en todas las zonas de muestreo. Naranjillo Plaza presenta una mayor concentración.

Las medias de las concentraciones del ion SO_4^- oscilan entre 0.079 y 0.105 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$, siendo el valor más alto para Naranjillo Entrada y el valor más bajo para Amazonas.

El Cl^- y SO_4^- tienen presencia en el material soluble, ARTIÑAÑO y QUEROL (2005), indica que los vehículos diésel emiten una mayor cantidad de partículas que los vehículos de gasolina como el Cl^- . La presencia de SO_4^- por SUÁREZ *et al.*, (2017) indica que se debería al parque automotor, típicas en áreas urbanas.

En Perú, la norma que corresponde a la calidad del aire no comprende límites de concentración de partículas atmosféricas para los iones determinados en este estudio. En este sentido, al realizar comparaciones de concentraciones de los iones de las partículas en la atmósfera de Tingo María con otras regiones del mundo, se observa que las concentraciones de los iones encontrados como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y SO_4^- son menores a las medias encontradas en Cartagena, esta diferencia en concentraciones podría estar relacionada a que la evaluación por Moreno *et al.* (2004) se llevó a cabo en ambientes exteriores.

AMARILLO y PASTRANA (2005), concluye que la concentración de contaminantes en el interior se encuentra influenciada por el ambiente exterior. Asimismo, debido al constante intercambio del aire entre interiores y exteriores, la mayor parte de estos contaminantes exteriores se encuentran en interiores (GÜNTER, 2005).

QUIJANO *et al.* (2010), considera importante conocer la calidad del aire que se respira en las zonas urbanas a través de la composición química del material particulado.

Se aplicó la prueba Duncan para saber cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La zona con alta concentración estadísticamente es Castillo fondo, alcanzado una concentración de $1.148 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. La prueba Duncan emplea un método de comparación múltiple para comprobar cuáles medias son significativamente diferentes de otra.

De los grupos formados, el grupo A no sobrepasa el límite establecido por la OMS ($0.5 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{mes}$), los grupos B, C, D y E sobrepasan el límite permitido.

VI. CONCLUSIÓN

- Se determinó un mayor contenido en la partícula soluble con un 83% del total, y el restante con un 17% partícula insoluble.
- La composición química se determinó en las partículas solubles. Se determinó que el pH encontrado oscila entre 5.3 y 5.6. Las concentraciones medias del ion de Ca^{+2} por punto de muestreo oscilan entre 0.021 a 0.029 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. En el ion Mg^{2+} las concentraciones por punto de muestreo varían desde 0.012 a 0.019 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. El ion HCO_3^- por punto de muestreo presenta una concentración media de 0.041 a 0.066 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. La concentración de Cl^- presenta una concentración media entre 0.020 a 0.024 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$. Las medias de las concentraciones del ion SO_4^- oscilan entre 0.079 y 0.105 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.
- El punto de muestreo con mayor concentración estadísticamente es Castillo fondo, alcanzando una concentración media de 1.148 $\text{mg cm}^{-2} \times \text{mes}$.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluaciones al interior de instituciones educativas, centros de salud, u otras instituciones con existencia de población vulnerable.
2. Realizar evaluaciones de las concentraciones de otros contaminantes atmosféricos en los interiores.
3. Realizar una caracterización química más completa incluyendo a la partícula sedimentable insoluble.
4. Para la elección de los puntos de muestreo, es preciso tener el apoyo, seguridad, acceso e interés por parte de las personas que brindan el ambiente para realizar los muestreos del estudio.
5. Realizar una evaluación en ambientes exteriores e interiores para determinar el intercambio existente en las partículas atmosféricas sedimentables como en su composición química.

VIII. ABSTRACT

This research aims to be able to contribute information on air pollution, specifically by Sedimentable Atmospheric Particles (PAS) in the interior environment of the urban area of Tingo María. Under this objective, a monitoring was carried out between the months of April to September, in 12 sampling points; Through the passive method of receiving plates, the samples were collected for a certain time (30 days), after which time the particles were collected with deionized water, thus obtaining a water solution with particles. The concentrations of PAS were determined by gravimetric analysis expressed in $\text{mg cm}^{-2} \times \text{month}$, the physical composition (soluble and insoluble) of the PAS were also determined, and subsequently the soluble material was analyzed for the determination of pH and chemical composition. Of the 72 data collected, it was observed that 53 exceed the limit established by the WHO ($0.5 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{month}$). The physical composition is composed of 83% soluble material and the remaining 17% insoluble. The ions found in the soluble material were Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , Cl^- and SO_4 . The area with the highest contamination by PAS was Castillo Fondo with $1,148 \text{ mg cm}^{-2} \times \text{month}$.

Keywords: Atmospheric sedimentable particles, gravimetric analysis, soluble material, physical and chemical composition.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALDABE, J. 2011. Caracterización físico-química del material particulado en la comunidad Foral de Navarra. Tesis Doctoral. Pamplona, España Universidad de Navarra. 217 p.
- ARAMAYO, J. L. 2010. Plan de Monitoreo Ambiental para Programas de Salud de USAID/Bolivia. Socios para el desarrollo. p. 17-26. [En línea]: PROSALUD, (http://www.sociosparaeldesarrollo.org.bo/pdf/monitoreo_ambiental.pdf , PDF, 30 de agosto de 2015).
- ARCINIÉGAS, C.A. 2012. Diagnóstico y control de Material Particulado: Partículas Suspendidas totales y Fracción Respirable PM 10. Scielo, Manizales – Colombia, 34(1):195 – 213.
- ARJONA, A. 2006. Determinación de la calidad del aire en interiores por PM 10. Tesis de grado. Quintana Roo, México. Universidad de Quintana Roo. 100 p.
- ARTIÑANO, B., QUEROL, X. 2005. Caracterización de la contaminación atmosférica producidas por partículas en suspensión en Madrid. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. 319 p.

- AYALA, B. B., OCHOA, D.E. 2011. Determinación de la contaminación del medio ambiente, ocasionada por polvo sedimentable, índice de corrosividad y lluvia ácida en cinco facultades de la Ciudad Universitaria. Trabajo de Graduación. El Salvador. Universidad de El Salvador. San Salvador.
- BIRMILI, W., ALLEN, A. G., BARY, F., HARRISON, R.M., 2006. Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. *Environmental Science and Technology*. 40: 1144-1153.
- BORRÁS, E. 2013. Caracterización del material particulado atmosférico generado en reactores fotoquímicos y procedentes de muestras ambientales. Tesis Doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 310 p.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Num 266. ORDEN de 10 de agosto de 1978 por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera [En línea]: BOE, (<https://www.boe.es/boe/dias/1976/11/05/pdfs/A21822-21832.pdf>, PDF, 7 de agosto de 2015).
- CÁCERES, D., ADONIS, P., RETAMAL, G., ANCIC, C., VALENCIA, G., RAMOS S., OLIVARES, V., GIL H. 2001. Contaminación intradomiciliaria en un sector de extrema pobreza de la comuna de La Pintana. *Revista médica de Chile*. 129(1), 33-42.

- CALA, J. P. 2004. Muestreo y Análisis de Partículas PM10 como contaminantes del aire. Bogotá. Trabajo de Grado. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. 170 p.
- ELSOM., D. 1990. La Contaminación Atmosférica. Teodora Esteban Lobato. Madrid, España. Ediciones Cátedra S.A. 179 p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. Air Quality Criteria for Particulate Mater (Final Report, October 2004). US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- FARIÑA, L. 2012. Determinación de As, Cd, Pb y Ni en la Materia Particulada Atmosférica. Tesis Química. A Coruña – España. Universidad de A Coruña. 109 p.
- FERNÁNDEZ, A.J. 2001. Especiación química y física de metales en la materia particulada. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, Sevilla. 562 p.
- GARCÍA, F., GONZÁLEZ, K. 2008. Evaluación de la concentración de iones contenidos en material particulado respirable y su incidencia sobre ambientes intra – extramurales en la localidad de Puente Arana. Tesis Ing. Ambiental y Sanitario. Bogotá, Colombia. Universidad de la Salle. 214 p.
- GIL, L., QUIÑONES, L., CÁCERES, D., ADONIS, M. 1997. Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. Ambiente y Desarrollo. Chile. 13(1):70-78.

- GUTIÉRREZ, H.J., ÁVILA VALDIVIESO, J.J. 1997. Contaminación del aire: riesgos para la salud. México, D.F. Manual Moderno. 4-5 p.
- GÜNTER, K. 2005. Lead and cadmium in indoor air and the urban environment. 136(1):47-61 [En línea]: El Servier (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15809107?report=abstract>, Journals, 15 de Sep. 2017).
- IPPC 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press.
- IPPC 2007. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Cambridge University Press.
- ISO 4225. 1994. Calidad del aire – Aspectos generales. [En línea]: ISO (<https://www.iso.org/standard/10025.html>, PDF, 12 de octubre de 2017).
- KORC, M. E. 2000. Situación de los programas de gestión de calidad del aire urbano en América Latina y El Caribe. Lima. [En línea]: CEPIS (<http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/monitlac/monitlac.pdf>, PDF, 9 de agosto de 2015).
- LIN, C., CHE, S., HUANG, K., 2005. Characteristics of metals in nano/ultrafine/fine/coarse particles collected besides a heavily trafficked road. Environmental Science and Technology 39, 8113-8122.
- MANAHAN, E. 2007. Introducción a la química ambiental. 1ed. DF México, México, Reverté. 709 p.

- MARCOS, R., CABRERA, M., LAOS, H., MAMANI, D., VALDERRAMA, A. 2008. Estudio Comparativo para la Determinación de Polvo Atmosférico Sedimentable Empleando las Metodologías de Tubo Pasivo y de Placas Receptoras en la Ciudad Universitaria de San Marcos – Lima. Revista de investigación CEDIT; Volumen 3, p. 49-58. [En línea]: CEDIT, (<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Publicaciones/rev.../a06v3.pdf> , PDF, 18 de julio de 2015).
- MARTÍNEZ, E., BEDOYA, J., CORREA, M., MUÑOZ, A., PAZ, J., MORALES, O., ROMERO, A., MARÍN, A., MONTOYA, A. 2007. Diagnóstico de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 420 p.
- MAZZEI, F., ALESSANDRO, A., LUCARELLI, F., NAVA, S., PRATI, P., VALLI, G., VECCHI, R. 2008. Characterization of particulate matter sources in an urban environment. Science of the Total Environment. 401:81-89.
- MORENO, S. 2004. Informe final titulado 'Evaluación de las consecuencias ambientales de las alternativas de actuación recomendadas por el sistema de toma de decisiones'. Universidad Politécnica de Cartagena. España, Cartagena. 45 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2004. Guías para la Calidad del aire. Lima: CEPIS/OPS. p. 2
- PÁEZ, C. 2008. Gestión de la calidad del aire. CORPAIRE, Quito – Ecuador. 123 p.

- PALACIOS, V. 2014. Análisis de la deposición atmosférica en el Valle de Sugamuxi. *Revista Ambiental*. Boyacá, Colombia. 5(1): 11-23.
- PEY, J., QUEROL, X., ALASTUEY, A., 2009. Variation of levels and composition of PM10 and PM2.5 at an insular site in Western Mediterranean. *Atmospheric research*. 94:285-299.
- QUEROL, X., ALASTUEY, A., DE LA ROSA, J., SÁNCHEZ DE LA CAMPA, A., PLANA, F., RUIZ, C. 2002. Source apportionment analysis of atmospheric particles in an industrialized urban site in southwestern Spain. *Atmospheric Environment* 36: 3113-3125.
- QUEROL, X., ALASTUEY, A., RODRÍGUEZ, S., VIANA, M., ARTIÑANO, B., SALVADOR, P., MANTILLA, E., GARCIA DO SANTOS, S., FERNÁNDEZ PATIER, R., DE LA ROSA J., SANCHEZ DE LA CAMPA, A., MENÉNDEZ, M., GIL, J. 2004. Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain. *Science of the Total Environment*. 76:334-335.
- QUIJANO, P.A., QUIJANO, V.J., GUTIERREZ J. 2010. Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado PM 2.5 en Cúcuta - Norte de Santander, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, Pamplona – Colombia*. 10(1):24-38 p.
- QUISPE, K., ÑIQUE, M., CHUQUILIN, E. 2014. Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú. *Rev. IA*, 3(2): 99 – 104.

- REATEGUI, M. 2016. Niveles de contaminación sonora en las zonas periféricas de Tingo María. Tesis Ing. Ambiental. Tingo María. Universidad Agraria de la Selva. 92 p.
- ROBERTS, A. 2000. Manual de Control de Calidad de Aire. 1a ed. CD. México, México. Mc Graw Hill. 315 p.
- SABAHA., A.W. 2006. Relaciones interiores y exteriores de partículas atmosféricas en Omán. Sage Journals. 15 (3): 247 – 255.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2014. Boletín Vigilancia de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Lima y Callao. Boletín Mensual N°09. 18 p.
- SUÁREZ, L., ÁLVAREZ, D., BENDEZÚ, Y., POMALAYA, J. 2017. Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú. 83(2): 187-199.
- TURK, A., TURK, J., WITTES, J. T. 1973. Ecología, contaminación, medio ambiente. Traducido por Carlos Gerhard Ottenwaelder. México Interamericana. 114 p.
- VARGAS, F., ROJAS, N. 2010. Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. Ingeniería e Investigación. 30(2): 105-115.

WADDEN, R., SCHEFF, P. 1987. Contaminación del aire en interiores. Ed Limus. Chicago, 115 p.

ZAPATA, C.E., QUIJANO, R., MOLINA, E., RUBIANO, C.M., LONDOÑO, G. 2008. Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. Revista Gestión y Ambiente. [En línea]: GA (<http://www.unalmed.edu.co/.../Informe%20Medidores%20Pasivos%20Fina>, PDF, 30 de agosto de 2015).

X. ANEXOS

ANEXO A: Metodologías usadas para la composición química del PSS

1. DETERMINACIÓN DE Ca^{2+} Y Mg^{2+} POR COLORACIÓN COMPLEXOMÉTRICA

a. Preparación de las disoluciones

- **Disolución de NaOH 4 M:** Disolver 40 gr de NaOH en 250 mL de agua.
- **Disolución amortiguadora de pH 10:** Disolver 6.75 gr de NH_4Cl en 57 mL de amoníaco concentrado ($d = 0.910 \text{ g/mL}$) y enrasar a 100 mL con agua destilada.
- **Indicar negro de Eriocromo T:** Disolver 0.5 gr del sólido negro de eriocromo T y 4.5 gr de hidroxilamina en 100 mL de etanol del 96%.
- **Indicador murexida:** Mezclar 0.20 gr de murexida con 100 gr de NaCl muy puro y bien pulverizado. Homogenizar la mezcla.
- **Disolución de la disolución patrón de EDTA 0.005 M:** Disolver 1.861 gr de la sal disódica dihidratada del ácido etilendiamino-tetraacético y 0.05 gr de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y enrasar a 1 litro con agua destilada.

b. Procedimiento

- **Determinación de Ca^{2+}**

En un Erlenmeyer de 250 mL colocar 50 mL de fracción soluble y añadir 1 mL de NaOH para asegurar un $\text{pH} = 12$.

Añadir aproximadamente 0.2 gr de murexida (una punta de espátula) y a continuación valorar con la disolución de EDTA hasta viraje del indicador desde rojo a violeta. Si el volumen de EDTA consumido es muy pequeño; diluir

convenientemente la disolución de EDTA y volver a valorar. Repetir la valoración tres veces.

- **Determinación de Mg^{2+}**

En un Erlenmeyer de 250 mL colocar 50 mL de fracción soluble. Añadir 10 gotas de la disolución amortiguadora de pH 10 y calentar hasta 60 °C.

Añadir 3 ó 4 gotas de indicador negro de Eriocromo T y valorar en caliente con EDTA hasta viraje color azul del indicador. Si el volumen de EDTA consumido es muy pequeño, diluir convenientemente la disolución de EDTA y volver a valorar. Repetir al menos tres veces la valoración.

2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HCO_3 POR VALORACIÓN ÁCIDO-BASE

a. Preparación de las disoluciones

- **HCl 0.01 M:** Preparar a partir de HCl concentrado y valorar con un patrón primario (Na_2CO_3)
- **Naranja de metilo al 0.05% en agua:** Disolver 0.05 gr de naranja de metilo en 60 mL de etanol de 95% y añadir a continuación 40 mL de agua.

b. Procedimiento

En un erlenmeyer de 250 mL colocar 100 mL de fracción soluble.

Añadir 2 gotas de naranja de metilo y valorar con HCl 0.01 M hasta viraje del indicador a naranja. Anotar el volumen de HCl consumido. Repetir al menos tres veces el procedimiento.

3. DETERMINACIÓN DE CLORUROS POR VOLUMETRÍA DE PRECIPITACIÓN

a. Preparación de las disoluciones

- **Disolución de AgNO_3 0.01 M:** Disolver 1.699 gr de AgNO_3 , secado en estufa, en agua destilada y diluir a 1 litro. Almacenar en un frasco de color topacio.
- **Disolución de K_2CrO_4 al 5%:** Disolver 5 gr de cromato potásico en 50 mL de agua destilada

b. Procedimiento

En un Erlenmeyer de 250 mL colocar 100 mL de la muestra de fracción soluble.

Si la muestra tiene un pH entre 6 y 10 se valora directamente, si no, ajustarlo con H_2SO_4 ó NaOH . Utilizar el papel indicador para medir el pH.

Añadir 5 ó 6 gotas del indicador.

Valorar con la disolución de AgNO_3 hasta aparición de un precipitado pardorrojizo. Realizar al menos tres veces la valoración

Realizar un ensayo en blanco (por triplicado) siguiendo el mismo protocolo pero sustituyendo los 100 mL de muestra por agua destilada.

4. DETERMINACIÓN DE SULFATOS POR TURBIDIMETRÍA

a. Reactivos

- **Solución ácida acondicionadora:** Añadir 50 ml de glicerina a una solución que contenga: 30.0 ml de HCl concentrado, 300 ml de agua destilada, 100 ml de alcohol etílico y 75 g de cloruro de sodio.
- **Reactivo de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (tamaño de partícula: malla 20 a 30):** Se requieren 0.5 g de cristales para cada muestra.
- **Solución patrón de 100 ppm de SO_4^- :** Disolver 0.1479 g de Na_2SO_4 secados a 110 °C durante 2 horas y aforar a 1000 ml.

b. Estandarización

- **Curva de calibración de sulfatos:** Preparar una curva de calibración con los siguientes puntos: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ppm de SO_4^- .

Se colocan en 6 matraces volumétricos de 100 ml los siguientes volúmenes de solución estándar de 100 ppm de SO_4^- : 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml, se afora con agua destilada hasta la marca.

Continúe los pasos marcados en el procedimiento, para desarrollar la turbidez. Grafique absorbancia contra las ppm de SO_4^- .

c. Procedimiento

- **Blanco:** Preparar un blanco con agua destilada y reactivos y ajustar la absorbancia a un valor de 0.

- **Muestra:** Colocar 10 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 50 ml. Añadir 1 ml de la solución ácida acondicionadora, mezclar bien y agregar 0.5 g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Agitar durante 1 minuto.

Transferir la muestra a una celda de 1 cm del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm dentro de los 2 minutos siguientes.

Anexo B: Cálculos para la determinación de la composición estructural de PAS

Cuadro 13. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de abril 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro seco	Filtro con PSI	Peso final	Cápsula seca	Cápsula con PSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.639	0.641	0.002	63.864	63.878	0.140	1.211
Afilador	0.649	0.663	0.014	45.504	45.513	0.090	0.888
Brisas	0.599	0.650	0.050	52.951	52.959	0.080	1.114
C. Fondo	0.669	0.671	0.002	53.932	53.949	0.170	1.471
C. Entrada	0.664	0.686	0.022	68.125	68.135	0.100	1.045
Raymondi 3	0.677	0.679	0.002	52.691	52.705	0.140	1.218
Julio Burga	0.648	0.657	0.009	53.253	53.257	0.040	0.419
Amazonas	0.650	0.653	0.003	45.518	45.521	0.030	0.286
Raymondi 9	0.647	0.657	0.010	45.518	45.521	0.030	0.342
Electrocentro	0.645	0.698	0.052	53.923	53.963	0.040	0.790
N. Plaza	0.591	0.602	0.011	52.959	52.961	0.020	0.265
N. Entrada	0.655	0.691	0.036	63.878	63.883	0.050	0.736

La materia insoluble viene dado por la diferencia de peso del filtro antes y después de filtrar la muestra, y la materia soluble se determina por evaporación a sequedad de una parte alícuota del líquido filtrado. En el Cuadro 13, del mes de abril el lugar con mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables fue Castillo Fondo.

Cuadro 14. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de mayo 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro Seco	Filtro con MSI	Peso Final	Cápsula Seca	Cápsula con MSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.657	0.660	0.003	63.875	63.884	0.090	0.799
Afilador	0.657	0.669	0.012	45.542	45.547	0.052	0.543
Brisas	0.669	0.711	0.042	53.252	53.258	0.060	0.875
C. Fondo	0.659	0.666	0.007	52.697	52.710	0.130	1.173
C. Entrada	0.652	0.663	0.011	68.121	68.131	0.100	0.945
Raymondi 3	0.658	0.661	0.003	45.515	45.529	0.140	1.225
Julio Burga	0.639	0.645	0.006	63.909	63.911	0.020	0.222
Amazonas	0.668	0.678	0.010	53.280	53.283	0.030	0.346
Raymondi 9	0.667	0.673	0.006	52.724	52.728	0.041	0.402
Electrocentro	0.649	0.680	0.031	68.158	68.160	0.023	0.461
N. Plaza	0.647	0.670	0.023	45.540	45.543	0.026	0.419
N. Entrada	0.648	0.679	0.031	53.283	53.286	0.031	0.532

En el Cuadro 14, en el mes de mayo el lugar con mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables fue en la Raymondi 3.

Cuadro 15. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de junio 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro Seco	Filtro con MSI	Peso Final	Cápsula Seca	Cápsula con MSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.644	0.652	0.007	68.160	68.170	0.096	0.882
Afilador	0.633	0.678	0.045	53.284	53.287	0.027	0.613
Brisas	0.650	0.703	0.053	63.911	63.915	0.037	0.768
C. Fondo	0.612	0.626	0.014	52.711	52.725	0.138	1.301
C. Entrada	0.661	0.666	0.005	63.890	63.901	0.108	0.964
Av. Raymondi 3	0.663	0.668	0.005	53.262	53.270	0.078	0.712
Jr. Julio Burga	0.614	0.629	0.015	52.722	52.726	0.040	0.471
Av. Amazonas	0.665	0.671	0.005	63.912	63.915	0.033	0.328
Av. Raymondi 9	0.641	0.648	0.006	45.541	45.545	0.033	0.337
Elec.	0.668	0.703	0.035	68.160	68.162	0.026	0.524
N. Plaza	0.645	0.710	0.065	53.285	53.285	0.060	1.070
N. Entrada	0.659	0.703	0.045	45.541	45.546	0.042	0.742

Los resultados obtenidos en la composición estructural de las Partículas atmosféricas sedimentables para el mes de junio varían en los sitios de muestreo seleccionados, de acuerdo al método aplicado.

En el Cuadro 15, el lugar con mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables (1.301 mg cm⁻² x mes) corresponde a Castillo Fondo y el más bajo (0.328 mg cm⁻² x mes) corresponde a Amazonas.

Cuadro 16. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de julio 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro Seco	Filtro con MSI	Peso Final	Cápsula Seca	Cápsula con MSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.617	0.621	0.004	45.515	45.518	0.124	1.094
Afilador	0.630	0.661	0.032	52.698	52.701	0.066	0.836
Brisas	0.642	0.709	0.067	63.879	63.884	0.047	0.974
C. Fondo	0.668	0.673	0.005	53.254	53.257	0.096	0.862
C. Entrada	0.612	0.614	0.002	68.120	68.124	0.108	0.937
Raymondi 3	0.619	0.630	0.010	45.517	45.520	0.100	0.944
Julio Burga	0.632	0.640	0.008	56.238	56.259	0.021	0.248
Amazonas	0.652	0.665	0.013	52.702	52.704	0.018	0.265
Raymondi 9	0.663	0.670	0.007	63.882	63.884	0.054	0.522
Electrocentro	0.636	0.669	0.033	53.257	53.261	0.037	0.601
N. Plaza	0.627	0.642	0.015	68.124	68.126	0.026	0.351
N. Entrada	0.633	0.666	0.033	52.703	52.708	0.049	0.701

En el Cuadro 16 para el mes de Julio el mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables en interiores se dio en Supte con 1.094 mg cm⁻² x mes, donde el material sedimentable insoluble tuvo como peso final 0.004g y el material sedimentable soluble en un litro tuvo un peso final 0.031g. El contenido más bajo de las partículas atmosféricas sedimentables se dio en Julio Burga con 0.2481 mg cm⁻² x mes.

Cuadro 17. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de agosto 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro Seco	Filtro con MSI	Peso Final	Cápsula Seca	Cápsula con MSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.613	0.617	0.004	68.116	68.129	0.132	1.161
Afilador	1.400	1.411	0.011	45.515	45.522	0.069	0.684
Brisas	1.481	1.507	0.026	52.698	52.708	0.053	0.678
C. Fondo	1.399	1.417	0.018	63.879	63.890	0.108	1.078
C. Entrada	0.670	0.675	0.006	56.251	56.263	0.123	1.100
Raymondi 3	1.397	1.402	0.005	53.253	53.261	0.081	0.736
Julio Burga	1.405	1.411	0.006	68.116	68.121	0.048	0.462
Amazonas	1.397	1.412	0.015	45.517	45.521	0.045	0.514
Raymondi 9	1.412	1.424	0.012	52.701	52.705	0.033	0.384
Electrocentro	0.654	0.688	0.034	63.880	63.886	0.060	0.804
N. Plaza	1.436	1.448	0.012	56.256	56.261	0.054	0.564
N. Entrada	1.398	1.413	0.015	68.119	68.126	0.072	0.747

En el Cuadro 17 para el mes de agosto el mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables en interiores se dio en Supte con 1.161 mg cm⁻² x mes, donde el material sedimentable insoluble tuvo como peso final 0.004g y el material sedimentable soluble en un litro tuvo un peso final 0.132g. El contenido más bajo de las partículas atmosféricas sedimentables se dio en Raymondi 9 con 0.3841 mg cm⁻² x mes.

Cuadro 18. Resultados obtenidos de la composición estructural de las partículas atmosféricas sedimentables en el mes de setiembre 2016

Lugar	Partícula sedimentable insoluble (gr)			Partícula sedimentable soluble (gr)			PAS mg cm ⁻² x mes
	Filtro Seco	Filtro con MSI	Peso Final	Cápsula Seca	Cápsula con MSS	Peso final en 1 L	
Supte	0.664	0.672	0.008	53.415	53.426	0.105	0.963
Afilador	0.628	0.641	0.013	63.114	63.122	0.075	0.753
Brisas	0.651	0.700	0.049	45.382	45.389	0.067	0.992
C. Fondo	0.663	0.674	0.011	68.122	68.133	0.106	1.001
C. Entrada	0.615	0.622	0.007	56.251	56.261	0.103	0.941
Raymondi 3	0.619	0.626	0.007	52.701	52.711	0.097	0.893
Julio Burga	0.653	0.661	0.008	63.121	63.126	0.048	0.479
Amazonas	0.635	0.652	0.017	68.130	68.134	0.040	0.490
Raymondi 9	0.628	0.642	0.013	45.380	45.386	0.056	0.591
Electrocentro	0.658	0.699	0.041	56.259	56.263	0.031	0.616
N. Plaza	0.665	0.690	0.025	63.122	63.128	0.052	0.659
N. Entrada	0.622	0.660	0.038	52.709	52.714	0.052	0.770

En el Cuadro 18 para el mes de setiembre el mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables en interiores se dio en Supte con 0.963 mg cm⁻² x mes, donde el material sedimentable insoluble tuvo como peso final 0.004g y el material sedimentable soluble en un litro tuvo un peso final 0.132g. El contenido más bajo de las partículas atmosféricas sedimentables se dio en Raymondi 9 con 0.591 mg cm⁻² x mes.

Anexo C: Fotografías del estudio realizado

Figura 13. Recolección del punto de muestreo de Castillo Fondo.



Figura 14. Filtración de las muestras.



Figura 15. Secado de los filtros en la estufa a 105°C

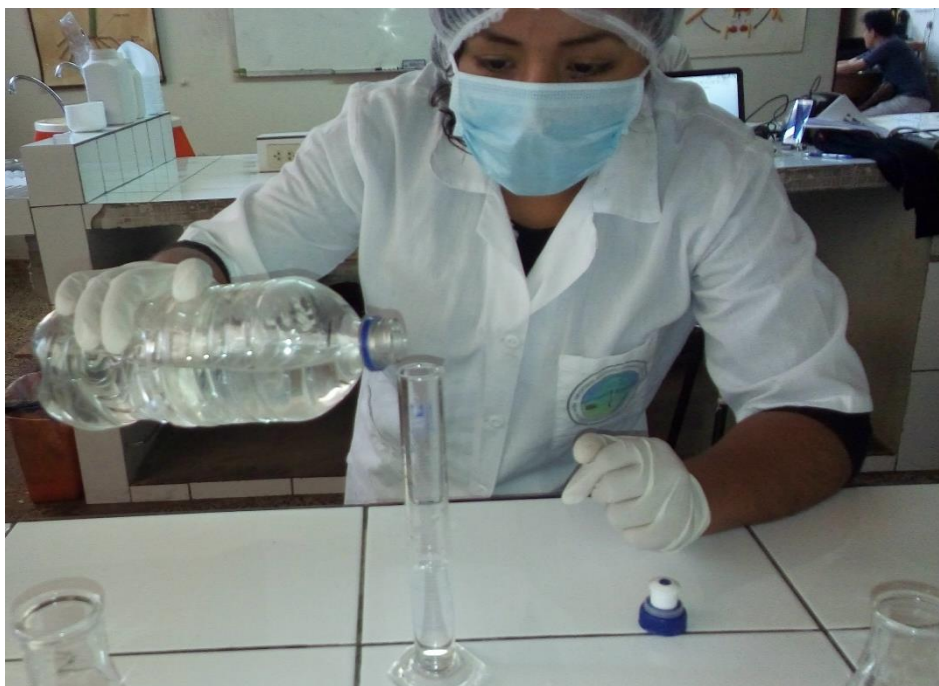


Figura 16. Medición de la alícuota para la obtención de la MSS



Figura 17. Medición del pH en la materia sedimentable soluble



Figura 18. Determinación de cloruros por volumetría de precipitación

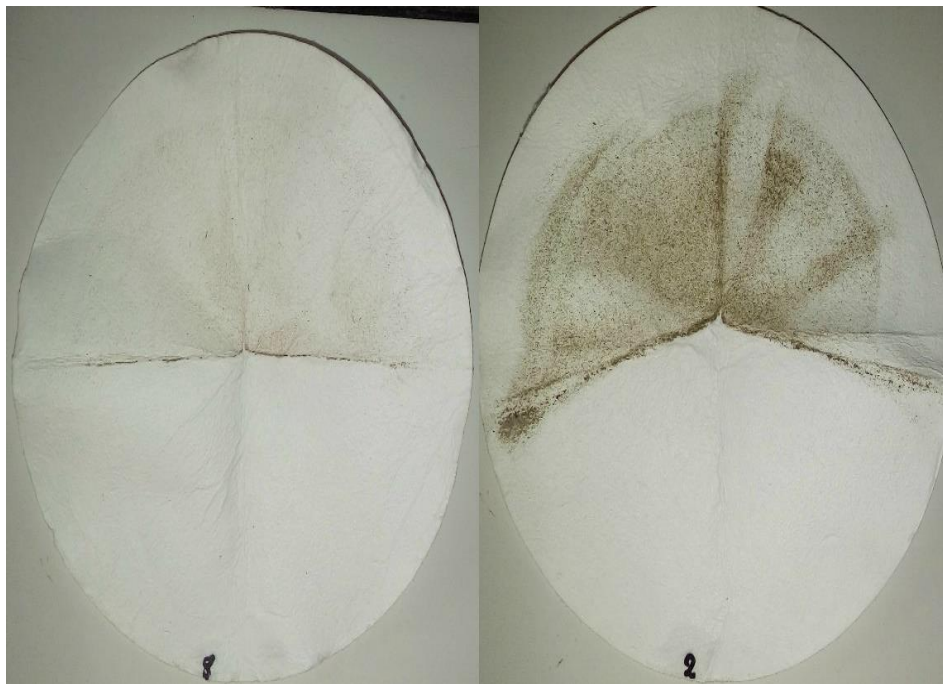
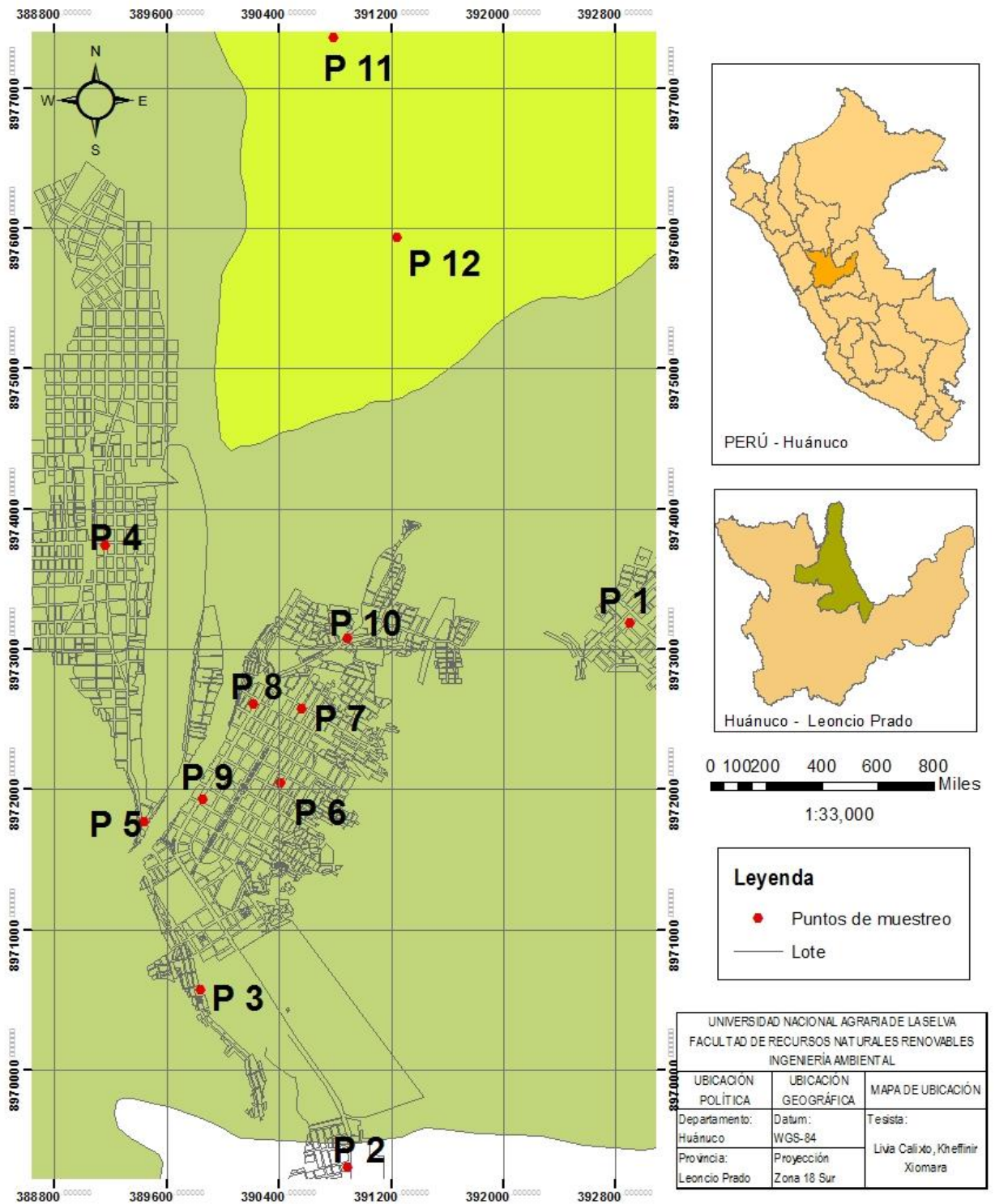


Figura 19. Filtros de los puntos de muestreo de Av. Amazonas (izquierda) y Afilador (derecha)

Anexo D

MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Anexo E

Equipo captador de partículas sedimentables atmosféricas

