

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PRESENCIA DE MATERIA SEDIMENTABLE DEL AIRE EN LA CIUDAD DE  
TINGO MARÍA Y ZONAS PERIFÉRICAS**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ZEVALLOS GARCIA, LUZBELINDA**

**Tingo María – Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Tingo María- Perú**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 086-2023-FRNR-UNAS**

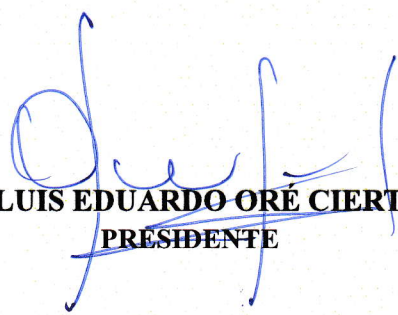
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 06 de junio del 2022, a horas 11:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PRESENCIA DE MATERIA SEDIMENTABLE DEL AIRE EN LA CIUDAD  
DE TINGO MARÍA Y ZONAS PERIFÉRICAS”.**

Presentado por la Bachiller: **ZEVALLOS GARCIA, Luzbelinda**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

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

Tingo María, 03 de octubre de 2023

  
**Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO**  
**PRESIDENTE**



  
**Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. M. Sc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO**  
**MIEMBRO**

  
**Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 281 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### **CERTIFICA QUE:**

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

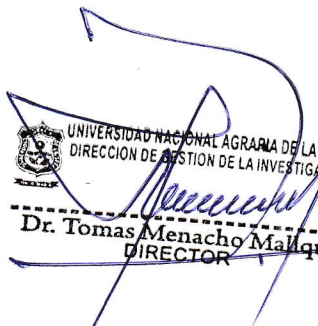
Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

|       |   |                          |
|-------|---|--------------------------|
| Tesis | X | Trabajo de investigación |
|-------|---|--------------------------|

| TÍTULO                                                                                     | AUTOR                       | PORCENTAJE DE SIMILITUD            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| PRESENCIA DE MATERIA SEDIMENTABLE DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TINGO MARIA Y ZONAS PERIFÉRICAS | ZEVALLOS GARCÍA, LUZBELINDA | <b>24 %</b><br><b>Veinticuatro</b> |

Tingo María, 17 de octubre de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

C.C. Archivo

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



### PRESENCIA DE MATERIA SEDIMENTABLE DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TINGO MARÍA Y ZONAS PERIFÉRICAS

|                                  |                                      |                  |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| <b>Autor</b>                     | : ZEVALLOS GARCIA, Luzbelinda        |                  |
| <b>Asesor</b>                    | : Dr. BETETA ALVARADO, Víctor Manuel |                  |
| <b>Programa de Investigación</b> | : Niveles de Contaminación Ambiental |                  |
| <b>Línea de Investigación</b>    | : Ciencia y Tecnologías Ambientales  |                  |
| <b>Eje temático</b>              | : Contaminación del aire             |                  |
| <b>Lugar de Ejecución</b>        | : Tingo María y zonas periféricas    |                  |
| <b>Duración</b>                  | Fecha de inicio                      | : Octubre - 2016 |
|                                  | Fecha Termino                        | : Marzo - 2017   |
| <b>Financiamiento</b>            | : Propio (Monto: S/ 9,116.50)        |                  |

**Tingo María – Perú, 2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la vida y permitirme llegar hasta aquí profesionalmente, brindándome sabiduría y entendimiento.

A mis padres Lucio Rolan Zevallos Dionicio y Hayde García Trujillo, por todo su cariño, amor, paciencia y el apoyo incondicional brindado en la búsqueda y el logro alcanzado de mis metas trazadas, por ser mis ejemplos dignos de superación, fortaleza y perseverancia de seguir adelante.

A mis hermanos Erika Cinthya, Antony Lester y Lizeth Milagros, por sus palabras de cariño y apoyo en los momentos difíciles, asimismo un agradecimiento especial a mi hermano por su apoyo incondicional durante la ejecución de mi tesis.

A mi abuelita Julia Dionicio Tello, por sus palabras de motivación y estímulo para lograr cumplir este sueño de titularme y que hoy en día descansa en paz, cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mi sobrinito Rolan Dayiro Narciso Zevallos “Yiyo”, por haberme alegrado los días con sus ocurrencias, dándome las fuerzas para perseverar y alcanzar este anhelado título, convirtiéndose en un ángel que me cuida desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A DIOS, por regalarme la vida, la salud, una familia, un alimento, la educación y permitirme vivir y lograr todo esto.
- A mis padres Lucio Rolan Zevallos Dionicio y Hayde García Trujillo por los valores que me han inculcado, por brindarme su apoyo incondicional, gracias por todos los sacrificios realizados para brindarme una educación de calidad, y por ser excelente ejemplo de vida y superación.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi “Alma Mater” que me dio la oportunidad de hacer realidad mi meta de culminar mis estudios universitarios y ahora titularme como Ingeniera Ambiental.
- A la plana de docentes de la Facultad Recursos Naturales Renovables, por impartir sus conocimientos durante mi formación universitaria.
- Al Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por facilitarme el Laboratorio de Calidad del Aire de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para poder realizar el procesamiento de las muestras recogidas en campo.
- A mi Asesor de tesis el Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por la orientación profesional en el desarrollo del presente trabajo de investigación, asimismo por su tiempo, dedicación y palabras de motivación brindado, para poder culminar con éxito el presente trabajo de investigación.
- A mis miembros de jurados de tesis: Dr. Luis Eduardo, Ore Ciento; Dr. Ladislao Ruiz Rengifo y Ing. M. Sc. Sandra Lorena Zavala Guerrero, por sus oportunas sugerencias y consejos brindados.
- A todas las personas que contribuyeron de una u otra manera al presente trabajo de investigación, el cual estaré eternamente agradecida.
- A todas las personas que han formado parte de mi vida profesional que me encantaría agradecer por su amistad brindada, por los consejos, el apoyo, las palabras de cariño y la compañía en este proceso desarrollado.
- A todo ellos muchas gracias y que Dios los bendiga siempre.

## ÍNDICE

|                                                     | Página |
|-----------------------------------------------------|--------|
| I. INTRODUCCIÓN.....                                | 1      |
| 1.1. Objetivos.....                                 | 2      |
| 1.1.1. Objetivo general.....                        | 2      |
| 1.1.2. Objetivos específicos.....                   | 2      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....                     | 3      |
| 2.1. Antecedentes.....                              | 3      |
| 2.2. Marco conceptual.....                          | 6      |
| 2.2.1. Aire.....                                    | 6      |
| 2.2.2. Contaminación.....                           | 6      |
| 2.2.3. Contaminante.....                            | 6      |
| 2.2.4. Contaminación atmosférica.....               | 7      |
| 2.2.5. Materia sedimentable.....                    | 9      |
| 2.2.6. Métodos de muestreo.....                     | 10     |
| 2.2.7. Equipo captador de materia sedimentable..... | 11     |
| 2.2.8. Emplazamiento.....                           | 14     |
| 2.2.9. Periodo de toma de muestra.....              | 14     |
| 2.3. Marco normativo.....                           | 14     |
| 2.3.1. Normas legales nacionales.....               | 14     |
| 2.3.2. Norma a nivel internacional.....             | 16     |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS.....                      | 17     |
| 3.1. Lugar de ejecución.....                        | 17     |
| 3.1.1. Área de estudio.....                         | 17     |
| 3.1.2. Condiciones del área de estudio.....         | 18     |
| 3.2. Materiales y métodos.....                      | 18     |
| 3.2.1. Materiales y equipos.....                    | 18     |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2. Metodología.....                                                                                | 19 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                       | 29 |
| 4.1. Materia sedimentable soluble e insoluble de la ciudad de Tingo María y zonas<br>periféricas ..... | 29 |
| 4.1.1. Materia sedimentable soluble.....                                                               | 30 |
| 4.1.2. Materia sedimentable insoluble.....                                                             | 33 |
| 4.1.3. Materia Sedimentable Total.....                                                                 | 36 |
| 4.2. Caracterización fisicoquímica de la fracción de materia sedimentable soluble ..                   | 41 |
| 4.2.1. Potencial de hidrógeno.....                                                                     | 41 |
| 4.2.2. Conductividad eléctrica.....                                                                    | 44 |
| 4.2.3. Determinación del calcio.....                                                                   | 46 |
| 4.2.4. Determinación de Potasio.....                                                                   | 50 |
| 4.2.5. Determinación de sodio.....                                                                     | 52 |
| 4.2.6. Determinación de iones de Magnesio.....                                                         | 55 |
| 4.3. Determinación de la dispersión de materia sedimentable total del aire.....                        | 58 |
| 4.3.1. Concentración de materia sedimentable total.....                                                | 58 |
| V. CONCLUSIONES .....                                                                                  | 61 |
| VI. PROPUESTAS A FUTURO.....                                                                           | 62 |
| VII. REFERENCIAS.....                                                                                  | 63 |



## ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla                                                                                                                         | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Comparación de metodologías según sus normas.....                                                                          | 15     |
| 2. Estándares de calidad de aire para el estudio de polvo sedimentable de diferentes países.....                              | 16     |
| 3. Ubicación de los puntos de monitoreo.....                                                                                  | 20     |
| 4. Diseño de investigación de los puntos de muestreo.....                                                                     | 26     |
| 5. Análisis de Variancia (ANVA).....                                                                                          | 28     |
| 6. Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable soluble del aire (mg/cm <sup>2</sup> /mes).....                    | 32     |
| 7. Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable insoluble del aire (mg/cm <sup>2</sup> /mes).....                  | 36     |
| 8. Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable total del aire (mg/cm <sup>2</sup> /mes).....                      | 41     |
| 9. Análisis de variancia (ANVA) del contenido de calcio (Ca) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire. ....    | 49     |
| 10. Análisis de variancia (ANVA) del contenido de potasio (K) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire. ....   | 52     |
| 11. Análisis de variancia (ANVA) del contenido de sodio (Na) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire. ....    | 54     |
| 12. Análisis de variancia (ANVA) del contenido de magnesio (Mg) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire. .... | 57     |
| 13. Material sedimentable total (mg/cm <sup>2</sup> /mes) de los 15 puntos de muestreo.....                                   | 58     |
| 14. Porcentaje del material sedimentable total del primer mes de evaluación.....                                              | 59     |
| 15. Porcentaje del material sedimentable total del segundo mes de evaluación.....                                             | 59     |
| 16. Porcentaje del material sedimentable total del tercer mes de evaluación. ....                                             | 59     |
| 17. Porcentaje del material sedimentable total por meses de evaluación. ....                                                  | 60     |
| 18. Datos de Materia Sedimentable Insoluble (mg/cm <sup>2</sup> /mes).....                                                    | 70     |
| 19. Datos de Materia Sedimentable Soluble (mg/cm <sup>2</sup> /mes) .....                                                     | 71     |

|     |                                                                     |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------|----|
| 20. | Datos de Materia Sedimentable Total (mg/cm <sup>2</sup> /mes) ..... | 72 |
| 21. | Datos de potencial de hidrógeno (ph) .....                          | 73 |
| 22. | Datos de conductividad (uS) .....                                   | 73 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura                                                                                                         | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Equipo colector de materia sedimentable. ....                                                               | 11     |
| 2. Depósito colector .....                                                                                     | 12     |
| 3. Conjunto del equipo colector. ....                                                                          | 13     |
| 4. Ubicación del Laboratorio de Calidad del Aire de la Facultad de Recursos Naturales Renovables – UNAS. ....  | 17     |
| 5. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.....                                                            | 18     |
| 6. Diseño de investigación. ....                                                                               | 26     |
| 7. Composición porcentual de la materia sedimentable soluble e insoluble de los cinco lugares de muestreo..... | 29     |
| 8. Materia Sedimentable Soluble (MSS).....                                                                     | 30     |
| 9. Promedio de Materia sedimentable soluble por lugar de muestreo. ....                                        | 31     |
| 10. Promedio de Materia sedimentable soluble por meses de evaluación. ....                                     | 32     |
| 11. Materia Sedimentable Insoluble (MSI).....                                                                  | 33     |
| 12. Promedio de Materia Sedimentable Insoluble por lugar de muestreo. ....                                     | 34     |
| 13. Promedio de Materia sedimentable insoluble por mes de evaluación. ....                                     | 35     |
| 14. Concentración de Materia Sedimentable Total. ....                                                          | 37     |
| 15. Promedio de Materia sedimentable total por lugares de muestreo. ....                                       | 39     |
| 16. Promedio de materia sedimentable total por mes de evaluación. ....                                         | 40     |
| 17. Potencial de hidrógeno por cada punto de muestreo.....                                                     | 42     |
| 18. Concentración de iones de hidrogeno (pH) por lugar de muestreo.....                                        | 43     |
| 19. Concentración de iones de hidrógeno (pH) por meses de evaluación. ....                                     | 44     |
| 20. Conductividad eléctrica por puntos de muestreo. ....                                                       | 44     |
| 21. Conductividad eléctrica por lugar de muestreo.....                                                         | 45     |
| 22. Conductividad eléctrica por mes de evaluación.....                                                         | 46     |
| 23. Concentración de calcio (mg/L) por cada punto de muestreo.....                                             | 47     |

|     |                                                                                                                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 24. | Concentración de calcio por lugar de muestreo. ....                                                                                                       | 48 |
| 25. | Concentración de calcio (mg/L) por mes de evaluación. ....                                                                                                | 49 |
| 26. | Concentración de potasio por cada punto de muestreo. ....                                                                                                 | 50 |
| 27. | Concentración de potasio por lugar de muestreo. ....                                                                                                      | 51 |
| 28. | Concentración de potasio por mes de evaluación. ....                                                                                                      | 52 |
| 29. | Concentración de sodio por cada punto de muestreo. ....                                                                                                   | 53 |
| 30. | Concentración de sodio por lugar de muestreo. ....                                                                                                        | 53 |
| 31. | Concentración de sodio por mes de evaluación. ....                                                                                                        | 54 |
| 32. | Concentración de magnesio por cada punto de muestreo. ....                                                                                                | 55 |
| 33. | Concentración de magnesio por lugar de muestreo ....                                                                                                      | 56 |
| 34. | Concentración de magnesio por mes de evaluación ....                                                                                                      | 57 |
| 35. | Preparación del frasco colector en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS, adicionando sulfato de cobre. ....                | 74 |
| 36. | Instalación de equipo colector en punto 3 de Afilador. ....                                                                                               | 74 |
| 37. | Colocación del equipo colector en el punto 2 de Supte San Jorge. ....                                                                                     | 75 |
| 38. | Visita periódica al equipo colector (punto 3 Afilador). ....                                                                                              | 75 |
| 39. | Recojo mensual del frasco colector en el punto 3 de Naranjillo. ....                                                                                      | 76 |
| 40. | Medición de parámetros físicos de las muestras colectadas en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. ....                    | 76 |
| 41. | Filtrado del agua para determinar la materia sedimentable insoluble en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. ....          | 77 |
| 42. | Colocación del filtro a la placa Petri para secado en la estufa en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. ....              | 77 |
| 43. | Pesado de la placa Petri con el filtro y el material sedimentable en el Laboratorio. ....                                                                 | 78 |
| 44. | Colocación de la placa Petri en estufa a 105°C en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. ....                               | 78 |
| 45. | Colocación del vaso con 100ml de la muestra a la estufa para su total evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. .... | 79 |

|     |                                                                                                                                   |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 46. | Desecado de los vasos de precipitación conteniendo MSS, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.....     | 79 |
| 47. | Pesado del vaso después de su evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.....                  | 80 |
| 48. | Contenido de MSS después de la evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.....                 | 80 |
| 49. | Separación de muestras para caracterización fisicoquímica, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS. .... | 81 |
| 50. | Caracterización fisicoquímica de las muestras, Laboratorio de Análisis de Suelos-UNAS.                                            | 81 |
| 51. | Resultados de la caracterización del primer mes de evaluación (noviembre 2016). ....                                              | 82 |
| 52. | Resultados de la caracterización del segundo mes de evaluación (diciembre 2016)....                                               | 83 |
| 53. | Resultados de la caracterización del tercer mes de evaluación (enero 2017). ....                                                  | 84 |
| 54. | Mapa de dispersión de materia sedimentable total del primer mes de evaluación. ....                                               | 85 |
| 55. | Mapa de dispersión de materia sedimentable total del segundo mes de evaluación....                                                | 86 |
| 56. | Mapa de dispersión de materia sedimentable total del tercer mes de evaluación.....                                                | 87 |

## RESUMEN

Este estudio de investigación aspira poder aportar información sobre la contaminación del aire de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas, especialmente del material sedimentable total del aire (MST). Se realizó el monitoreo entre los meses de noviembre del 2016 a enero del 2017, se trabajó con 5 lugares de muestreo: Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo, dentro de cada lugar se colocó 3 puntos de muestreo, haciendo un total de 15 puntos de muestreo; se empleó el método de muestreo pasivo mediante equipo colector, durante un tiempo determinado de 30 días se recogieron las muestras (frasco colector). Las concentraciones de material sedimentable total se determinaron mediante el análisis gravimétrico, asimismo se determinó la materia sedimentable insoluble y soluble, posterior a ello se realizó la caracterización fisicoquímica del material sedimentable soluble, y finalmente se determinó la dispersión del material sedimentable total del aire mediante el software ArcMap 10.4.1. De 45 puntos muestreados, 11 sobrepasan el LMP establecido por la OMS (0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes), la mayor concentración promedio de material sedimentable total fue en Tingo María (0,4743 mg/cm<sup>2</sup>/mes). El promedio de los meses evaluados, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) sobrepasó el LMP en Tingo María (0,5093 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y Castillo Grande (0,5135 mg/cm<sup>2</sup>/mes). Los iones encontrados en el material soluble fueron Ca<sup>+2</sup>, K, Na y Mg<sup>+2</sup>. La dispersión del material sedimentable total del aire, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) se observó una mayor cantidad de puntos de muestreo que sobrepasan el LMP.

**Palabras claves:** Material sedimentable total, análisis gravimétrico, material sedimentable soluble, caracterización fisicoquímica.

## ABSTRACT

This research study sought to provide information regarding the air contamination in the city of Tingo Maria and in peripheral zones, especially for the total sedimentable matter in the air (MST – acronym in Spanish). Monitoring was done between the months of November 2016 and January 2017. Five points of sampling were used: Tingo Maria, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge, and Naranjillo; [where] within each one, three sampling points were placed, making a total of fifteen sampling points. The passive sampling method using collector equipment was used, [where] during a determined time of thirty days, samples were collected (collection containers). The concentrations of total sedimentable matter were determined using gravimetric analysis; at the same time, the sedimentable insoluble and soluble matter were determined. Later, the physicochemical characterization of the soluble sedimentable matter was done, and finally, the dispersion of the total sedimentable matter in the air was determined using ArcMap 10.4.1 software. Of the forty five sampling points, eleven surpassed the MAQ (LMP in Spanish) established by the WHO (OMS in Spanish) ( $0.50 \text{ mg/cm}^2/\text{month}$ ); the greatest average concentration of total sedimentable matter was in Tingo Maria ( $0.4743 \text{ mg/cm}^2/\text{month}$ ). For the average of the two months that were evaluated, the second month evaluated (December 2016) surpassed the MAQ in Tingo Maria ( $0.5093 \text{ mg/cm}^2/\text{month}$ ) and in Castillo Grande ( $0.5135 \text{ mg/cm}^2/\text{month}$ ). The ions found in the soluble matter were  $\text{Ca}^{+2}$ , K, Na, and  $\text{Mg}^{+2}$ . For the dispersion of the total sedimentable matter in the air, during the second month of evaluation (December 2016), it was observed that a greater quantity of sampling points surpassed the MAQ.

**Keywords:** total sedimentable matter, gravimetric analysis, soluble sedimentable matter, physicochemical characterization.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Actualmente estamos atravesando una época de crecimiento poblacional en donde las actividades del hombre ya sean industriales, económicas, agrarios, etc., han provocado efectos negativos en el ambiente, el cual ha conllevado un avance en las diversas formas de contaminación. La composición química de la atmósfera es alterada por la contaminación atmosférica generando cambios en el clima, llegando a producir la lluvia ácida o la destrucción de la capa de ozono, trayendo consigo efectos negativos.

Una de las fuentes principales de contaminación atmosférica en las ciudades es la generación de partículas producidas por el tráfico vehicular, el proceso de combustión de actividades, así como las calles sin pavimentar, construcciones civiles, entre otras. Estas partículas pueden llegar a ser emitidas al aire en forma directa cuando provienen del proceso de combustión y del polvo que es arrastrado por el viento. La atmósfera contaminada con estas partículas puede llegar a repercutir en la salud de las personas tanto en el sistema respiratorio como en el sistema cardiovascular.

Por lo tanto, la ciudad de Tingo María no es ajena a la contaminación atmosférica generada por la materia sedimentable, a consecuencia del incremento del parque automotor, el crecimiento poblacional, la expansión urbana con calles sin asfaltar y el desarrollo de actividades industriales maderables, generando la propagación de materia sedimentable además se le añade la falta de conocimiento ambiental por parte de la población.

La ciudad de Tingo María actualmente cuenta con un aproximado de 61 empresas de transportes haciendo un total de 1220 vehículos aproximadamente y 83 asociaciones de trimóviles haciendo un total de 5020 trimóviles aproximadamente (MPLP, 2019).

El presente trabajo de investigación forma parte de un conjunto integral de investigaciones que busca estimar la concentración de materia sedimentable en los lugares de muestreo mediante el método pasivo por equipo colector, además la composición física y química a través del análisis gravimétrico, sirviendo como base de datos en cuanto al contaminante evaluado (materia sedimentable) para investigaciones futuras, asimismo para



considerar como un trabajo inédito realizado en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas, además para que las autoridades locales tomen medidas y acciones respecto a la salud de la población debido al contaminante muestreado.

Se formula el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es la concentración de materia sedimentable del aire en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas?

Con referencia a esto planteamos la siguiente hipótesis si la concentración de materia sedimentable del aire excede el límite máximo permisible en un 50% en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar la concentración de materia sedimentable del aire en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de materia sedimentable soluble e insoluble de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas.
- Caracterizar fisicoquímicamente la fracción de materia sedimentable soluble.
- Determinar la dispersión de materia sedimentable del aire.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

La investigación realizada por Livia (2020), concluye que existe un mayor contenido de partícula soluble (83%) del total, y de partícula insoluble (17%) del total. Asimismo, el punto de muestreo de Castillo Grande fondo resultó con mayor concentración estadísticamente, con una concentración media de 1,148 mg/cm<sup>2</sup>/mes. Además, en la composición química realizada a las partículas soluble los datos muestran que el pH oscila entre 5.3 y 5.6, las concentraciones medias del ion de Ca<sup>+2</sup> oscilaron entre 0,021 a 0,029 mg/cm<sup>2</sup>/mes, las concentraciones del ion Mg<sup>2+</sup> por punto de muestreo variaron desde 0,012 a 0,019 mg/cm<sup>2</sup>/mes, la concentración media del ion HCO<sup>3-</sup> oscilaron entre 0,041 a 0,066 mg/cm<sup>2</sup>/mes, la concentración de Cl<sup>-</sup> varió entre 0,020 a 0,024 mg/cm<sup>2</sup>/mes, la concentración media del ion SO<sup>4-</sup> oscilaron entre 0,079 y 0,105 mg/cm<sup>2</sup>/mes.

La investigación realizada por Sánchez (2018), denominada “Polvo Atmosférico Sedimentables (PAS) en cinco instituciones educativas de la ciudad de Tingo María, Departamento de Huánuco- Periodo (noviembre 2017- febrero 2018)”, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Los resultados obtenidos del estudio muestran que el material sedimentable soluble es mayor en las instituciones educativas Gómez Arias Dávila, Ramón Castilla mientras que el material sedimentable insoluble es mayor en las instituciones educativas Sagrada Familia, Padre Abad y Mariano Bonin. Además, nos muestra que la institución educativa Ramón Castilla sobrepasa el nivel permitido según la OMS obteniendo una concentración promedio final de polvo atmosférico de 1,258 mg/cm<sup>2</sup>/mes. Asimismo, Sánchez (2018) determinó que el pH promedio final se encuentra en un rango de 6,78 – 7,16, y que se clasifica como un suelo neutro en todas las instituciones educativas de estudio, además obtuvo una conductividad eléctrica promedio final menor que 2, clasificándolo como un suelo no salino. En base a la caracterización de la concentración de plomo en la Institución Educativa de Mariano Bonin sobrepasó la concentración de plomo permitido por el ECA del suelo (1200mg/kg).

En la investigación realizada por Ruiz (2017), denominada “Material Particulado Sedimentable de interiores en Campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva”, los datos de la investigación nos muestran que la mayor concentración de material particulado sedimentable en el campus de la UNAS se presentó en la zona del gimnasio con una concentración promedio de 130,36 mg/m<sup>2</sup>/día, mientras la menor concentración se determinó en el área de la facultad de Ciencias Económicas y Administrativas con una concentración promedio de 82,36 mg/m<sup>2</sup>/día. Asimismo, la concentración de fracción insoluble del material particulado sedimentable más alta se encontró en la zona del gimnasio con una concentración promedio de 74,78 mg/m<sup>2</sup>/día mientras que la menor concentración fue en la facultad de Ciencias Económicas y Administrativas con una concentración promedio de 23,75 mg/m<sup>2</sup>/día. Mientras que la mayor concentración de fracción soluble del material particulado sedimentable se encontró en la residencia de estudiantes de mujeres con una concentración promedio de 63,66 mg/m<sup>2</sup>/día y la concentración más baja fue en el Pabellón Central con una concentración promedio de 42,44 mg/m<sup>2</sup>/día. En dicha investigación se realizó la composición química del material particulado sedimentable donde se muestra que se presentó una mayor concentración de bicarbonatos seguido del calcio, mientras que el sodio y el potasio tuvo las concentraciones más bajas en las diferentes áreas evaluadas durante los 4 muestreos.

Ruiz (2017), en su investigación realizada nos indica además que las posibles fuentes de contaminación de material particulado sedimentable fueron: emisiones vehiculares, polvo resuspendido, uso doméstico de combustibles y uso de desinfectantes y ambientadores. Nos indica además que los factores agravantes que se presentaron fueron cercanía a la Av. Universitaria, tránsito de personas, vías sin pavimentar, inadecuada limpieza y escasa ventilación.

La investigación realizada por Lozano (2013), denominado “Determinación del grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012”, de la Universidad Nacional de San Martín. En su investigación realizó la zonificación del área urbana por 03 zonas el cual dividió en Zona Centro conformada por la zona comercial, Zona Intermedia abarcó viviendas residenciales en su gran mayoría y Zona periférica conformada por zonas de baja densidad poblacional. Respecto a las características socio ambientales de la Zona Centro presenta calles pavimentadas en su totalidad, existe mayor tránsito vehicular y mayormente agrupa las actividades comerciales, industriales, etc., mientras que la Zona Intermedia está conformada por calles pavimentadas y no pavimentadas, el tránsito es de menor intensidad y presenta viviendas residenciales;

finalmente la Zona Periférica presenta calles no pavimentadas, menor tránsito vehicular, dispersas actividades comerciales e industriales y viviendas.

Lozano (2013), en su investigación determinó que existe relación directa entre las condiciones meteorológicas y las partículas atmosféricas sedimentables, tal es el caso que en las tres zonas de monitoreo, el mes de Diciembre del año 2012 obtuvo mayor concentración de partículas sedimentables  $0,90 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , y menor precipitación pluvial; inversamente el mes de Noviembre del año 2012 y Enero del año 2013 donde se presentó menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables  $0,60 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , y mayor precipitación pluvial. Las partículas atmosféricas sedimentables promedio final fue de  $0,70 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , el cual sobrepasa el Estándar de Calidad Ambiental que es  $0,50 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , establecida por la Organización Mundial de la Salud OMS. Además, determinó que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos en las tres zonas de monitoreo, cuyas fuentes principales de generación de partículas es el transporte urbano y densidad poblacional, trayendo consigo afectaciones respiratorias y oftalmológicas a la población principalmente.

La investigación realizada por Marcos *et al.* (2008), denominado “Estudio Comparativo para la Determinación del Polvo Atmosférico Sedimentable empleando las Metodologías de Tubo Pasivo y de Placas Receptoras en la Ciudad Universitaria de San Marcos – Lima”, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los datos de su investigación nos indica que con la metodología de tubos pasivos la mayor concentración de material particulado fue en el punto 2 ubicado en el Módulo de Comercio y Servicios puerta N° 3 superando el límite máximo de concentración comparado con los demás puntos estudiados por los dos tipos de metodologías. En la estación meteorológica ubicada en la EAP Ingeniería Mecánica de Fluidos respecto al análisis de la velocidad y dirección de viento, el promedio de velocidad fue de  $3,25 \text{ m/s}$  y la Dirección de Viento predominante fue de  $N20^\circ O$ . En el segundo mes el incremento de las PS y PAS, indica que se causaron por las caídas de lluvias pequeñas (garúas), el aumento de la humedad relativa, el incremento de la velocidad del viento por el cambio de estación de verano a invierno, por efecto del cambio de temperatura. En el primer mes de evaluación de acuerdo con el método de placas receptoras, el 16,7% de las estaciones sobrepasaron el valor establecido por la Organización Mundial de la Salud, en el segundo mes de evaluación el 50% del total de las estaciones excedieron, debido a que dos de estas fueron dañadas. En el primer mes de evaluación de acuerdo con el método de tubos pasivos, el 66,67% de las estaciones sobrepasaron el valor establecido por la OMS, en el segundo mes el 100% del total de las estaciones.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Aire**

Según la OMS (2004), la composición del aire puro es 21% oxígeno y 78% nitrógeno y otros gases menos comunes, siendo el más abundante el argón con un 0,93% y menor la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con un 0,03%. Además, también está presente el vapor de agua, hasta un 4% por volumen.

La atmósfera contiene una amplia variedad de partículas sólidas y líquidas, cuyo tamaño varía desde unos pocos nanómetros hasta 0,5 mm, dentro de las cuales las que permanecen en el aire por periodos largos y forman un aerosol moderadamente estable son las partículas pequeñas ( $> 2,5 \text{ mm}$ ), a diferencia de las que se pierden más rápidamente debido a que su peso hace que se sedimenten con mayor velocidad son las partículas más grandes OMS (2004).

### **2.2.2. Contaminación**

Se considera la contaminación como la presencia o inclusión en el medio ambiente de sustancias tóxicas o elementos nocivos para el ser humano o los ecosistemas (organismos vivos) (Bermúdez, 2010).

La contaminación ambiental es la presencia en el medio ambiente de cualquier factor (físico, químico o biológico) o una combinación de muchos factores diferentes en lugar, forma y concentración que causa o tiene un efecto negativo sobre el medio ambiente que puede causar daños a la salud, la seguridad o el bienestar de las personas, o puede dañar las plantas o los animales, o interferir con el uso regular de las propiedades y las instalaciones recreativas. También se considera como la introducción a los destinatarios de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas o mezclas de estas que alteren negativamente las condiciones naturales o puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar de la población. (Bermúdez, 2010).

### **2.2.3. Contaminante**

Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede causar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) a un ecosistema, entorno físico o seres vivos. Siempre es un cambio negativo en el estado natural del medio ambiente y, por regla general, se produce como resultado de la actividad humana. (Bermúdez, 2010).

## **2.2.4. Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica se refiere a la presencia de materiales o formas de energía que supongan un riesgo, daño o inconveniente grave para las personas y los bienes de cualquier forma y que puedan afectar a los materiales diferentes, obstruir la visión o provocar olores desagradables. Por lo general, el nombre de contaminación atmosférica se aplica a los cambios que tienen un efecto negativo en los organismos y elementos físicos, no otros cambios inocuos (Bermúdez, 2010).

Por consiguiente, la contaminación de la atmósfera o del aire es una de las principales formas de degradar o afectar una parte del medio ambiente. (Romero, *et al.*, 2006). Según Yassi, *et. al.* (2002) describe como la liberación de sustancias nocivas en el aire a un ritmo que excede la capacidad de conversión, precipitación, deposición o dilución de los procesos naturales en la atmósfera por medio del viento y el movimiento del aire.

### **2.2.4.1. Fuentes de la contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica incluye elementos de origen natural y emisiones de actividades humanas. Los contaminantes del aire pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o partículas sólidas. Los contaminantes gaseosos incluyen ozono, óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles. Por otro lado, las partículas sólidas se caracterizan por el contenido total de partículas suspendidas, partículas suspendidas de menos de 10 micras de tamaño y de menos de 2,5 micras de diámetro. Entre las diferentes fuentes de emisión a la atmósfera, se pueden distinguir dos tipos principales: las fuentes fijas y las fuentes móviles. (INE, 2010).

#### **A) Fuentes fijas**

Las fuentes fijas generadores de emisiones son de tres tipos.

##### **a) Fuentes puntuales**

Son los productos obtenidos de la generación de energía eléctrica y de las actividades industriales, tales como: química, textil, alimenticia, maderera, metalúrgica, elaboración y transformación de productos animales y vegetales y otras actividades. Las emisiones de la combustión que se utilizan para generar electricidad o vapor dependen de la calidad del combustible y el rendimiento del quemador, el mantenimiento del equipo y la disponibilidad del equipo de control de fin de proceso (filtros, precipitadores, lavadores, etc.)

Los principales contaminantes asociados a la combustión son las partículas ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , CO e hidrocarburos).

#### **b) Fuentes de área**

Estos incluyen la generación de emisiones inherentes a operaciones y procesos como consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, revestimientos arquitectónicos e industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas licuado de petróleo. Esta fuente también incluye emisiones de actividades tales como tratamiento de aguas residuales, plantas de compostaje, rellenos sanitarios, etc. Este tipo de emisión contiene una gran cantidad de contaminantes, lo que provoca efectos generalizados en la salud.

#### **c) Fuentes naturales**

Se refiere a las emisiones generadas por volcanes, océanos, plantas, suspensión del suelo, emisiones anaeróbicas y sistema natural aeróbico. Específicamente, todo lo que libera la vegetación y la actividad de los microorganismos en el suelo y el océano, llamados emisiones biogénicas, su papel es muy importante en la química de la capa de convección, participa directamente en la formación de la capa de ozono. Las emisiones biogénicas se componen de óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono, compuestos nitrogenados y azufre (INE, 2010).

### **B) Fuentes móviles**

Las fuentes móviles lo conforman casi todos los vehículos. Los motores de los automóviles son los causantes de las emisiones de CO, VOC,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de la combustión. Ejemplos de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractores, camiones, autobuses, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipos y maquinaria con motores de combustión interna, similares donde su proceso de trabajo produce o pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera (INE, 2010).

#### **2.2.4.2. Clasificación de los contaminantes de la atmósfera**

Por su forma física:

- Gases.
- Aerosoles (líquidos y sólidos).

Por su origen:

- Primarios: partículas sólidas y líquidas en suspensión, gases y vapores.
- Secundarios: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono, otros contaminantes fotoquímicos.

Las partículas y gases liberados a la atmósfera pueden actuar de diferentes formas:

- Desplazamiento en el sentido de la dirección del viento con difusión progresiva lateral y vertical.
- Conversión física y química de los contaminantes primarios en otros contaminantes más tóxicos (contaminantes secundarios) por la actividad fotoquímica de la fracción de luz ultravioleta.
- Eliminación de la atmósfera por varios procesos naturales (Romero *et al.*, 2006).

#### **2.2.5. Materia sedimentable**

La materia sedimentable se define como sólidos o líquidos que tienen un tiempo corto de residencia en la atmósfera (casi unas pocas horas) y pueden sedimentarse; con un diámetro aerodinámico superior a 10  $\mu\text{m}$ . Se consideran contaminantes del aire porque tienen un efecto directo sobre la salud humana, no sobre la atmósfera (PUCP, 2012). La materia sedimentable total (MST) o residuo total es la suma de la Materia Sedimentable Insoluble y Materia Sedimentable Soluble (Aragón *et al.*, 2005).

##### **2.2.5.1. Materia sedimentable insoluble**

La materia sedimentable insoluble (MSI) o residuo insoluble total se determina por la diferencia de peso del filtro antes de filtrar la muestra y después de filtrar la muestra (Aragón *et al.*, 2005).

##### **2.2.5.2. Materia sedimentable soluble**

La materia sedimentable soluble (MSS) o residuo soluble total se determina por evaporación a sequedad de una fracción alícuota del líquido filtrado que contienen las sales disueltas. La evaporación se realiza en una estufa a 100°C, en una cápsula previamente desecada y tarada. El residuo seco se pesa y se refiere al volumen total del líquido (Aragón *et al.*, 2005).



### **2.2.6. Métodos de muestreo**

Existen diferentes métodos de muestreo para determinar el material sedimentable total del aire. Por ejemplo, se tiene los muestreadores pasivos, que son un método más simple y rentable para verificar la calidad del aire de un área, nos ayudan a identificar puntos críticos con altas concentraciones de contaminantes, como carreteras principales o fuentes de emisión, donde se requiere una investigación más detallada y considera promedios mensuales y semanales. A diferencia de los muestreadores activos que son económicos, fáciles de usar, fiables en funcionamiento y rendimiento y, a menudo, tienen una base de datos históricas. Mientras que los analizadores automatizados brindan mediciones de alta resolución (generalmente promedios por hora o mejores) en un solo punto se puede determinar múltiples contaminantes ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , CO, MP), así como para otros contaminantes importantes como los COV. Finalmente, los sensores remotos son una herramienta recientemente desarrollada que utiliza técnicas de espectroscopia de largo alcance para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real (DIGESA, 2005).

#### **2.2.6.1. Muestreadores pasivos**

En el presente trabajo de investigación se empleó el método de muestreo pasivo que ofrece un método simple y económico para verificar la calidad del aire de un área. Por difusión molecular en el material absorbente para ciertos contaminantes, la muestra se recolecta durante un período de tiempo (generalmente de una semana a un mes). El bajo costo unitario permite tomar muestras en diferentes puntos el cual nos permite identificar áreas clave de alta concentración de contaminantes, como carreteras principales o fuentes de emisión, y donde se requiere un análisis más detallado.

Para aprovechar al máximo este método, se debe considerar la planificación cuidadosa del estudio y el seguimiento de los procedimientos de control y garantía de calidad del laboratorio durante el análisis de muestras (DIGESA, 2005).

#### **2.2.6.2. Ventajas y desventajas**

Existen diferentes métodos para medir los contaminantes del aire que varían en costo y precisión. Deben seleccionarse métodos de seguimiento específicos, teniendo en cuenta los objetivos del programa de seguimiento y los presupuestos existentes (DIGESA, 2005).

**a) Ventajas**

- Muy económicos.
- Muy simples.
- No dependen de cables de alimentación.
- Se pueden colocar en mayor cantidad.
- Útil para sondeos, mapeos y estudios de línea de base.

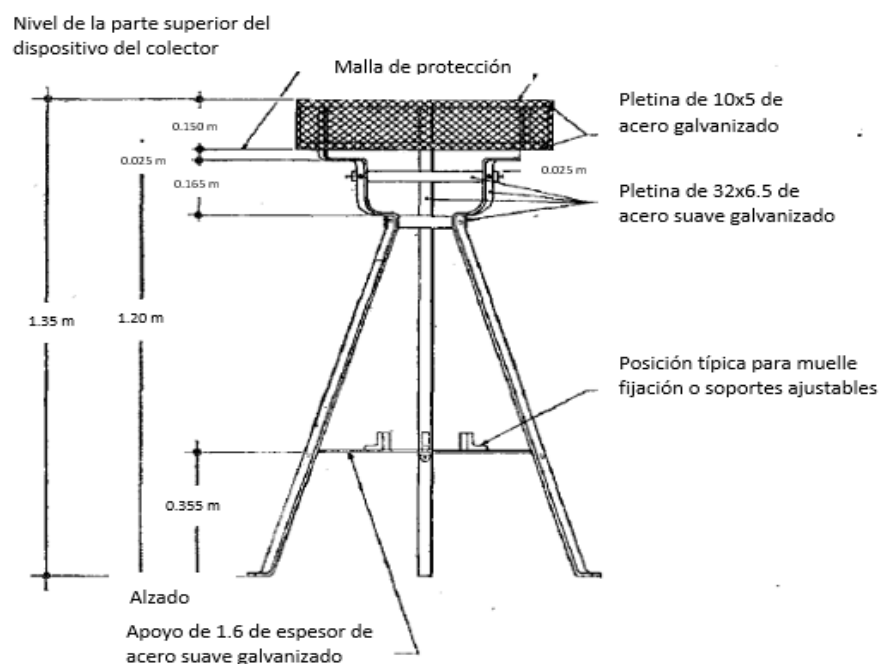
**b) Desventajas**

- No probado para ciertos contaminantes.
- Sólo brindan promedios mensuales y semanales.
- Requieren un trabajo intensivo para su funcionamiento y análisis.
- No existe un método de referencia para monitorear el cumplimiento.
- Lenta generación de datos.

**2.2.7. Equipo captador de materia sedimentable**

**2.2.7.1. Descripción del equipo**

El equipo colector empleado en este presente trabajo de investigación está formado por un soporte, embudo, depósito colector y conexiones como se muestra en la siguiente figura (ARAGÓN *et al.*, 2005).



**Figura 1.** Equipo colector de materia sedimentable.

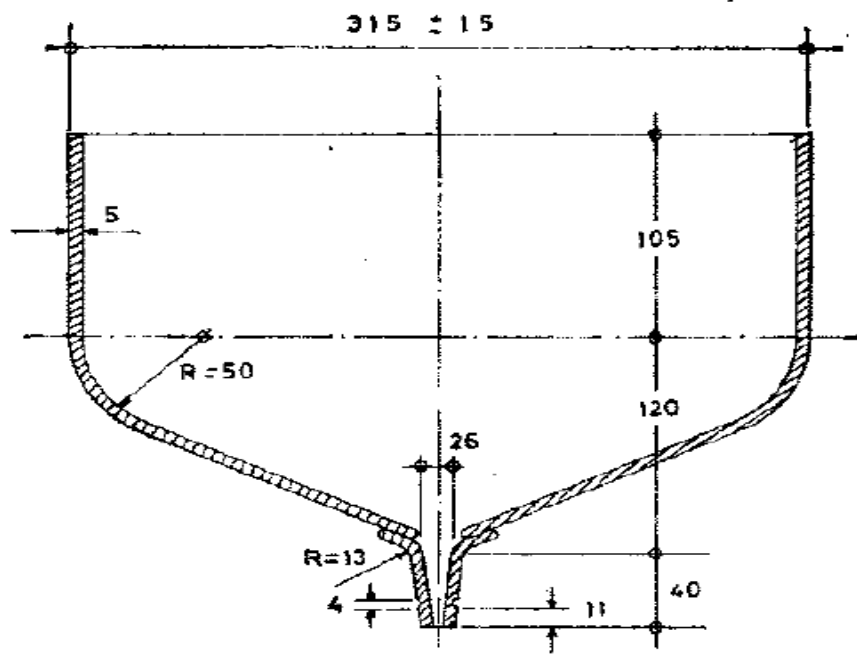
### a) Soporte

Es un trípode con una plataforma inferior para apoyar el frasco colector y una extensión en la parte superior para colocar el embudo. Las dimensiones se muestran en la figura adjunto. Este soporte es elaborado de acero inoxidable o un material anticorrosivo.

Para proteger el embudo, tiene una malla metálica o plástica de 25 mm de espesor para evitar la entrada de láminas y objetos extraños etiquetados (Aragón *et al.*, 2005).

### b) Depósito colector

Esta elaborado de vidrio o material duradero (acero inoxidable, plástico no estático) con las dimensiones que se muestran a continuación.



**Figura 2.** Depósito colector

El depósito colector tiene un número de identificación y a la vez un factor que, multiplicado por el peso total del residuo obtenido en miligramos, representa directamente el valor de la materia sedimentable expresado en miligramos por metro cuadrado.

El factor se calcula mediante la siguiente fórmula (1):

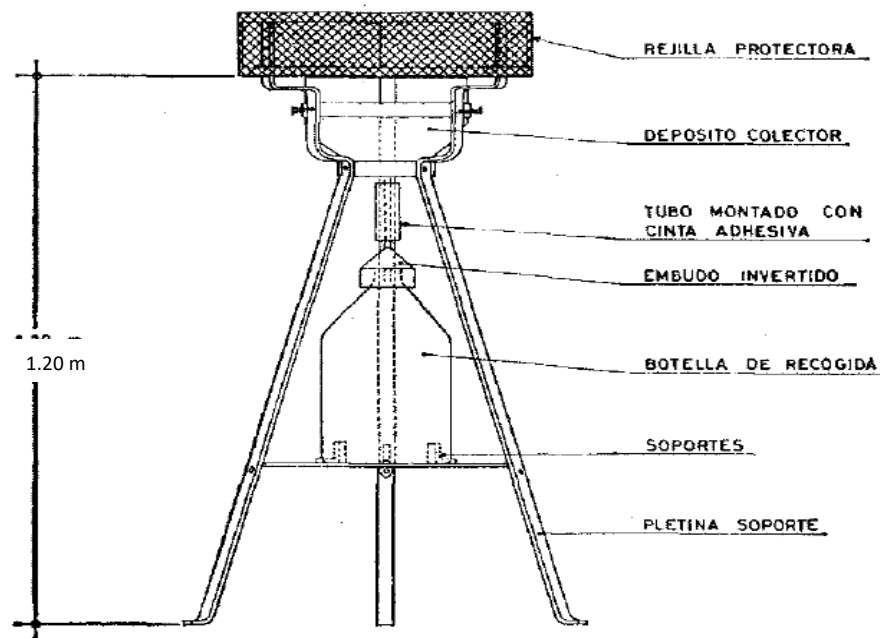
$$F = \frac{127.3 \times 10^4}{D^2} \quad (1)$$

Siendo:

$D$  = Valor medio del diámetro del depósito, obtenido de realizar doce mediciones en diferentes puntos de la circunferencia interior del depósito.

### c) Frascos colectores

Son frascos fabricadas de vidrio neutro o de plástico, que cuentan con una capacidad de 10 a 20 litros dependiendo de la cantidad de lluvia, y dimensionadas para adaptarse al conjunto del soporte.



**Figura 3.** Conjunto del equipo colector.

### d) Conexión

La conexión del embudo al bidón colector, formada por un tubo de goma o plástico de diámetro adecuado, en cuyo extremo inferior se encuentra un tapón de material no impregnado en forma de pequeño embudo invertido para evitar la entrada de líquido en polvo, que no proviene de la captación del dispositivo.

La parte superior de la tapa se extiende para que pueda penetrar en el cuello del frasco.

### **2.2.8. Emplazamiento**

Este equipo colector se ubica en un área abierta lejos de paredes verticales, edificios, árboles, entre otras que puedan interferir con la muestra. Una distancia del doble de la altura del objeto de bloqueo se puede considerar como el criterio para la distancia.

El equipo colector se fija al suelo por un medio disponible de manera que evite su caída por el viento. Además, manténgalo lo más alejado posible de personas u objetos que puedan dañar el dispositivo (Aragón *et al.*, 2005).

### **2.2.9. Periodo de toma de muestra**

El período de muestreo suele ser de un mes natural y el frasco colector recogido se reemplaza el primer día de cada mes. Si hay algún cambio, se marcará con la fecha del cambio (Aragón *et al.*, 2005).

## **2.3. Marco normativo**

### **2.3.1. Normas legales nacionales**

#### **A) Constitución política del Perú**

El numeral 22 del artículo 2 establece que la principal obligación del Estado es garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente sostenible y suficiente para desarrollar su vida. Del mismo modo, el artículo 67 establece que el Estado determina su política ecológica y promueve el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Congreso de la República del Perú, 1993).

#### **B) Ley N° 28611: Ley General del Ambiente**

En el inciso 2 del Artículo 33 en cuanto a la elaboración de ECA y LMP, la Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de desarrollo de ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y protección ambiental, debe tener en cuenta los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) u organización internacional dedicada a cada tema ambiental (EL PERUANO, 2005). Por otra parte, en el artículo 1 menciona que “toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental”; cuyos objetivos prioritarios son prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental como se menciona en el artículo 6 (MINAM, 2005).

**C) Ley N° 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental**

En el artículo 5, menciona que los criterios de protección ambiental, la protección de la calidad ambiental, tanto aire, agua, suelo, niveles el ruido y los residuos sólidos, líquidos, emisiones gaseosas y radioactivas (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2001).

**D) Ley N° 26842: Ley General de Salud**

El artículo 105 establece la responsabilidad de la autoridad de salud competente en la emisión de medidas para reducir y controlar los riesgos para la salud humana derivados de los factores ambientales, y especificados en cada caso por la ley (Ministerio de Salud, 1997).

**E) Decreto supremo N° 047- 2001-MTC, establecen límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial**

El artículo 5 menciona que los vehículos cuyas emisiones excedan el Límite Máximo Permissible (LMP) estarán sujetos a las sanciones impuestas por el Reglamento Nacional de Tránsito (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2001).

**F) Normas nacionales de calidad ambiental**

No existe una regulación o legislación en el Perú con respecto al límite máximo permisible de polvo sedimentable. Sin embargo, organizaciones como DIGESA y SENAMHI utilizan los estándares de la OMS para realizar estudios de monitoreo (Marcos *et al.*, 2008).

**Tabla 1.** Comparación de metodologías según sus normas.

| <b>Institución</b>                   | <b>Tiempo promedio</b> | <b>Limites Máximo mg/ cm<sup>2</sup>/30 días</b> | <b>Técnica Método</b>                               |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| DIGESA                               |                        |                                                  |                                                     |
| Dirección General de salud ambiental | 30 días                | 0,50                                             | Gravimétrico estudio de polvo sedimentable (jarras) |

|                                                 |         |      |                                                                                                         |
|-------------------------------------------------|---------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SENAMHI                                         |         |      | Gravimétrico estudio de polvo sedimentable, (jarras), polvo atmosférico sedimentable (Placas de vidrio) |
| Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía | 30 días | 0,50 |                                                                                                         |

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, 2000.

### 2.3.2. Norma a nivel internacional

Cada país tiene un estándar regulatorio, cuyos límites se muestran a continuación, los valores establecidos en cada país están determinados por la ubicación y área geográfica del país (Marcos *et al.*, 2008).

**Tabla 2.** Estándares de calidad de aire para el estudio de polvo sedimentable de diferentes países.

| País       | Tiempo promedio | Límites Máximo<br>mg/cm <sup>2</sup> /30 días | Técnica     |
|------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------|
| Argentina  | 30 días         | 1                                             | Gravimetría |
| Suiza      | 30 días         | 0,60                                          | Gravimetría |
| Costa Rica | 30 días         | 1                                             | Gravimetría |
| Ecuador    | 30 días         | 1                                             | Gravimetría |
| Colombia   | 30 días         | 1                                             | Gravimetría |
| Chile      | 30 días         | 0,50                                          | Gravimetría |
| México     | 30 días         | 1                                             | Gravimetría |

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, 2000.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El lugar de ejecución del trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Calidad del Aire de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

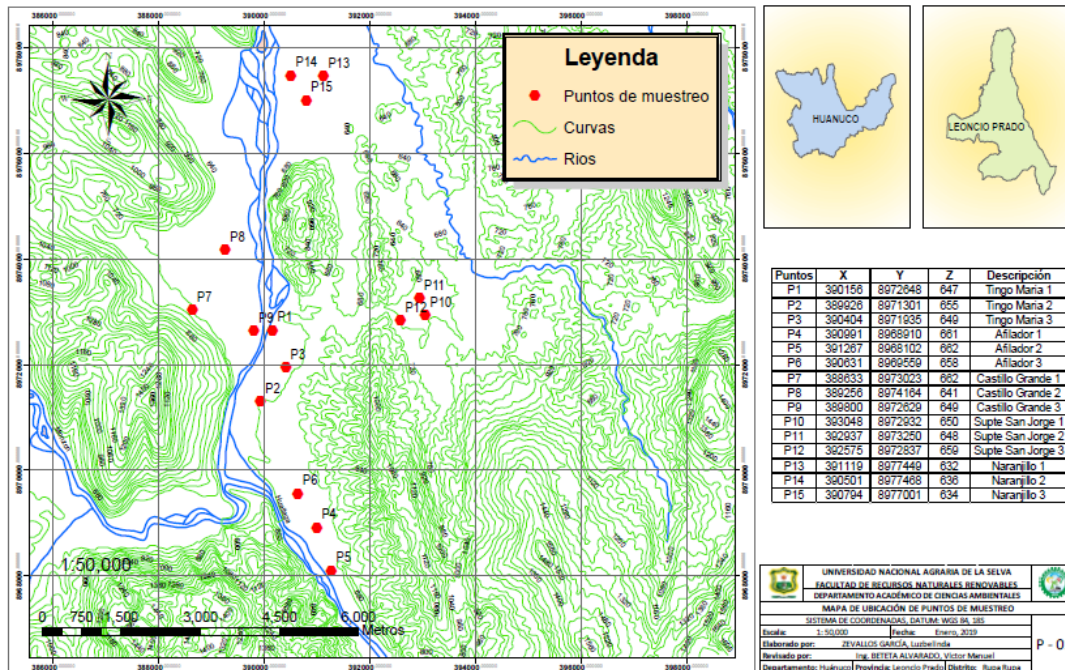


**Figura 4.** Ubicación del Laboratorio de Calidad del Aire de la Facultad de Recursos Naturales Renovables – UNAS.

##### 3.1.1. Área de estudio

El área de estudio del trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas (Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo), abarcando política y geográficamente el distrito de Rupa Rupa, Castillo Grande y Padre Felipe Luyando de la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.





**Figura 5.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

La ciudad de Tingo María geográficamente está ubicada en las coordenadas geográficas (Longitud Oeste: 75° 59' 51'' y Latitud Sur: 09° 17' 43''), coordenadas UTM 18L 0390408E y 8971966N, se encuentra en la hoja 19-k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, correspondiente a la Región Selva.

### 3.1.2. Condiciones del área de estudio

La ciudad de Tingo María y las zonas periféricas tienen un clima tropical, con una temperatura máxima de 32°C y mínima de 21°C, una humedad atmosférica relativa máxima de 88% y mínima de 74% y presenta una precipitación media anual de 3155 mm. Cielo mayormente nublado parcial y tiempo caluroso. Alta humedad. Lluvias en algunas tardes (SENAMHI, 2019).

Según el Mapa Ecológico corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo premontano Tropical (bmh-PT), la zona de vida establecida en la clase M°09 del reglamento de clasificación de tierras (Holdridge, 1987).

## 3.2. Materiales y métodos

### 3.2.1. Materiales y equipos

Para el ensamblaje del equipo colector se emplearon los siguientes materiales: 15 Soportes de fierro, 15 Embudo de filtración de 30cm de diámetro, Malla metálica

de 25mm, Tubo de conexión, Cinta negra y 30 bidones de 20L. Para el proceso de filtrado se utilizó los siguientes materiales: Papel filtro fibra de vidrio, Desecador, Vaso de precipitación de 100 ml, Embudo de vidrio, Probeta de 500 ml, Placa Petri, Crisol, Pinzas, rotulador y libreta de apuntes. Los equipos que se usaron en campo fueron una Cámara digital Panasonic DMC-XS1, GPS marca GARMIN modelo DAKOTA 20. Los equipos que se usaron en el laboratorio fueron: Balanza analítica HCB 302 AEADAM, Estufa UN 75 MEMMERT, Equipo multiparámetro M MILWAUKEE MI 180 BENZH meter. Asimismo, para la redacción del presente trabajo de investigación se utilizó una Laptop TOSHIBA Intel (R) Core (TM) i5-3230M CPU @ 2.6GHz Memoria RAM 6.00 GB. Se utilizó el paquete de software de Microsoft Office 2019 y ArcMap 10.4.1. Los productos químicos utilizados en campo en la recolección de las muestras fueron: Agua Milli-Q y Sulfato de cobre (1g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ /L).

### **3.2.2. Metodología**

La metodología empleada fue del manual de laboratorio de Contaminación Atmosférica del departamento de química de la Universidad Politécnica de Valencia, la práctica 4 y 5 que corresponde a Materia sedimentable (Aragón *et al.*, 2005).

#### **3.2.2.1. Determinación de la concentración de materia sedimentable soluble e insoluble de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas**

##### **A) Determinación de los puntos de monitoreo**

Se trabajó con 5 lugares de muestreo: Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo. Dentro de cada lugar se colocó 3 puntos de muestreo, teniéndose un total de 15 puntos de muestreo.

A la hora de disponer los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Unidades socioeconómicas: tienen en cuenta actividades económicas como: el lugar donde se concentra el mayor comercio, las calles de la ciudad con mayor tránsito vehicular y lugares con mayor concentración de población.
- Geografía: los puntos de muestreo se ubican considerando la topografía del área, para que no se obstruya el muestreo.
- Dirección del viento: la dirección predominante del viento determina el arrastre de las partículas.

- Infraestructura: la ubicación de los puntos de muestreo debe estar ubicado en una altura que garantice la accesibilidad y protección de la vivienda u otros.

Se realizó las coordinaciones con los dueños de las casas de todos los puntos de muestreo para obtener permiso para la ubicación del equipo captador de materia sedimentable.

**Tabla 3.** Ubicación de los puntos de monitoreo.

| Puntos de muestreo | Lugar de muestreo | Coordenadas |         |                   |
|--------------------|-------------------|-------------|---------|-------------------|
|                    |                   | Este        | Norte   | Altitud (m.s.n.m) |
| 1                  | Tingo María       | 390156      | 8972648 | 647               |
| 2                  |                   | 389926      | 8971301 | 655               |
| 3                  |                   | 390404      | 8971935 | 649               |
| 4                  | Afilador          | 390991      | 8968910 | 661               |
| 5                  |                   | 391267      | 8968102 | 662               |
| 6                  |                   | 390631      | 8969559 | 658               |
| 7                  | Castillo Grande   | 388633      | 8973023 | 662               |
| 8                  |                   | 389256      | 8974164 | 641               |
| 9                  |                   | 389800      | 8972629 | 649               |
| 10                 | Supte San Jorge   | 393048      | 8972932 | 650               |
| 11                 |                   | 392937      | 8973250 | 648               |
| 12                 |                   | 392575      | 8972837 | 659               |
| 13                 | Naranjillo        | 391119      | 8977449 | 632               |
| 14                 |                   | 390501      | 8977468 | 636               |
| 15                 |                   | 390794      | 8977001 | 634               |

Fuente: Elaboración propia

### **B) Ensamblaje del equipo captador de materia sedimentable**

El equipo captador de materia sedimentable está formado por:

- Soporte
- Embudo
- Deposito colector
- Conexiones

El soporte de fierro fue un trípode con una plataforma inferior para apoyar el frasco colector y una extensión en la parte superior para colocar el embudo colector de plástico de 0,30 m de diámetro. El embudo se protegió con un enrejado de malla metálica de 25 mm, para evitar que entren hojas y materiales extraños que no se desea

determinar. El depósito colector fue un frasco de plástico (bidón) de 20 litros de capacidad. Sus dimensiones fueron las adecuadas para que se adapte al soporte y depósito colector. El embudo y el depósito colector se conectan mediante un tubo de plástico de diámetro adecuado. En la parte inferior se selló con embalaje y cinta negra, para impedir la entrada del polvo o líquido que no proceda de la captación del aparato (Aragón *et al.*, 2005).

### **C) Instalación de equipo captador de materia sedimentable**

Las muestras que se analizaron en la presente tesis procedieron de los 5 lugares de muestreo, cada una de ellas con 3 captadores. El equipo colector se colocó en un espacio lejos de paredes verticales, edificios, árboles, etc., que puede interferir en la muestra. Se consideró una distancia superior al doble de la altura del objeto de bloqueo. A continuación, el equipo colector se fijó al suelo por los medios disponibles para evitar que cayera por el viento. También se mantuvo lo más alejado posible de personas o vehículos que puedan dañar el equipo (Aragón *et al.*, 2005).

### **D) Recogida de las muestras**

El período de muestreo fue de un mes natural y el frasco colector se reemplazó el primer día de cada mes.

Los frascos colectores estuvieron limpios y secos antes de instalarse y en ellos se introdujo 25 ml de una disolución de sulfato de cobre (1g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/\text{L}$ ). La única función del  $\text{CuSO}_4$  era prevenir la proliferación de algas y hongos en el interior del depósito, que afectasen la determinación de materia sedimentable (Aragón *et al.*, 2005).

Para recolectar la muestra, las partículas adheridas al embudo se arrastraron hacia el interior del recipiente de recolección con una varilla u otro objeto adecuado, ayudándose de ser necesario con agua destilada. Dependiendo del volumen de agua de lluvia recogida se procedió de distinta forma;

- Si el depósito tuvo un volumen suficiente de agua, se limpió el embudo con un pincel vertiéndose un poco de agua del mismo depósito.
- Si el depósito se encontró vacío, se limpió el embudo con el pincel vertiendo agua Milli-Q (un volumen medido previamente, y procurando que no supere el litro) y anotaremos en el depósito el volumen añadido.

Finalmente, se retiró el frasco colector con la muestra líquida y se sustituyó por otro frasco limpio. La muestra recogida se trasladó al Laboratorio de la Calidad del Aire de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

#### **E) Filtrado del agua captada**

Antes de la filtración, las partículas gruesas que contenía el depósito colector se separaron mediante un tamiz adecuado. Luego los filtros de microfibras de vidrio (Whatman GF/C) se almacenaron en un desecador hasta el momento de su utilización, antes de la filtración se pesaron en una balanza analítica, anotando el peso correcto, posteriormente se procedió a filtrar la muestra líquida mediante un filtro de microfibras de vidrio seco y tarado colocado en un embudo Büchner para determinar el material sedimentable.

Durante el proceso de la filtración, el frasco colector que contenía la muestra se agitó para remover la materia sedimentable insoluble, posteriormente se llenó la probeta con la muestra líquida, para medir el volumen y se fue vertiendo poco a poco en el embudo, donde se depositó la materia insoluble. Las partículas que se quedaron en el frasco colector se arrastraron con un poco de agua. El líquido filtrado se homogenizó y se procedió a medir el volumen total. Luego en un embudo de kitasato se recogió el agua filtrada para su posterior determinación de materia sedimentable soluble. De acuerdo con la cantidad de agua que tenga el depósito colector se procedió de distintas maneras:

- Cuando el volumen de la fracción de agua recogida es inferior a un litro, este volumen se ajusta con agua milli-Q. Todo el líquido se vierte en un frasco de plástico y la cantidad recolectada, medida y marcada como "Aforado a un litro" en el frasco. Se midió el pH antes de aforar.
- Cuando el volumen oscila entre 1 y 2 litros, se obtienen todos y se anota el volumen obtenido.
- Cuando el depósito supera los dos litros, se desechan los primeros 100 ml y el volumen restante se colecta en el número de frascos necesario.

Este líquido es el que sirvió para los siguientes análisis. Se anotó la fecha de recogida en los frascos colectores. Finalmente se limpió el frasco colector y se guardó hasta el siguiente mes.

Una vez concluido el filtrado, se retiró el filtro microfibras de vidrio del embudo y se colocó en una placa Petri para llevar a la estufa a 105 °C durante una

hora. Transcurrido ese tiempo se llevó al desecador durante 30 minutos y se procedió a pesar. Este proceso se repite hasta alcanzar un peso constante para asegurar que el filtro esté realmente seco (Aragón *et al.*, 2005).

#### **F) Determinación de la concentración de materia sedimentable insoluble de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas**

Una vez recogida la muestra, primero se realizó el pesado del papel filtro fibra de vidrio vacío con una balanza analítica luego se procedió a filtrar el agua contenida en el bidón, se retiró cuidadosamente el filtro para colocarlo en una placa Petri y se llevó a una estufa a 105°C hasta obtener un peso constante.

Luego de retirar de la estufa, se colocó en el desecador para llevar la muestra a una temperatura ambiente, después se procedió a pesar en la balanza analítica, anotando el peso exacto. En base a estos datos y teniendo en cuenta el área del embudo colector y los días de contacto del colector, se determinó el MSI expresado en mg/m<sup>2</sup>/día (Aragón *et al.*, 2005).

$$MSI = \frac{(P_{final} - P_{inicial})}{A \times T} \quad (2)$$

Donde:

$P_{final}$ : Peso del filtro con MSI (mg)

$P_{inicial}$ : Peso del filtro seco (mg)

A: Área del recipiente colector (m<sup>2</sup>)

T: Tiempo de muestreo (días)

#### **G) Determinación de la concentración de materia sedimentable soluble de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas**

Una vez determinado la materia sedimentable insoluble, se procedió a determinar la materia sedimentable soluble. Para esto se colocó las capsulas de porcelana en el desecador y luego se pesó en la balanza para determinar su tara. Posteriormente se colocó 100 mililitros del agua filtrada en la cápsula y se llevó a la estufa para su evaporación total, luego se colocó en el desecador durante 30 minutos, transcurrido el tiempo se procedió a pesar. Este proceso se repitió hasta obtener un peso constante.

La MSS es la diferencia de peso de la cápsula por 100 ml. Se descontó al peso obtenido por la cantidad de sulfato de cobre añadido al frasco colector.

A partir de los resultados del peso del MSS y teniendo en cuenta el área del embudo colector, el volumen de agua recolectada, la fracción que tomamos para esta prueba (100 ml) y los días de contacto con el colector, se determina el MSS expresado en mg/m<sup>2</sup>/día.

$$MSS = \frac{(P_{final} - P_{inicial})}{A \times T} \quad (3)$$

Donde:

P<sub>final</sub>: Peso de capsula con residuo solido (mg)

P<sub>inicial</sub>: Peso de capsula seco (mg)

A: Área del recipiente colector (m<sup>2</sup>)

T: Tiempo de muestreo (días)

Al final del procedimiento, la fracción soluble restante se almacenó hasta el análisis iónico (Aragón *et al.*, 2005).

#### **3.2.2.2. Caracterización fisicoquímica de la fracción de materia sedimentable soluble**

##### **A) Determinación del pH, conductividad, potencial eléctrico, solido total disuelto, salinidad y temperatura**

Para medir el pH y conductividad se utilizó el equipo multiparámetro M MILWAUKEE MI 180 BENZH meter. El multiparámetro cuenta con electrodos para medir pH, conductividad, solido total disuelto, salinidad, potencial eléctrico y temperatura del agua.

Primero se procedió a calibrar el equipo con agua destilada por unos minutos, luego con el agua filtrada década punto de muestreo se llenó el vaso hasta la mitad y finalmente se procedió a medir los diversos parámetros (Álvarez, 2014).

##### **B) Determinación de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> por espectrofotómetro de absorción o emisión atómica**

Se determinó por emisión atómica o espectroscopia de absorción en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.2.2.3. Determinación de la dispersión de materia sedimentable del aire**

Para la elaboración del mapa de dispersión se utilizó el Software ArcMap 10.4.1 (de acceso limitado por el costo de la licencia original) o el Software QGIS 3.28 (de acceso gratuito ya que no tiene costo alguna la licencia de uso), posterior a ello se insertó en una tabla de Excel las coordenadas de cada punto (Este y Norte) de monitoreo, así como también en una columna más las unidades observadas y/o recolectadas de campo (Material Sedimentable Total, expresado en  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ), para luego determinar mediante la interpolación KRIGING, dentro de la herramienta Spatial Analyst Tools (Análisis Espacial) seguido de Interpolation para finalmente terminar con la Herramienta KRIGING, previo a esto se tuvo que reclasificar los valores de acuerdo al rango establecido en 03 clasificaciones ( $<0,50$ ,  $=0,50$  y  $>0,50$ ), así mismo la conversión de archivo ráster a shapefile (shp) para luego indicar los valores mencionados, el membrete, la orientación con respecto al norte magnético, la leyenda, la escala numérica, la sombra o relieve de fondo, el perímetro de la zona de estudio, la escala gráfica y finalmente darle la simbología adecuada de presentación dentro de la ventana de presentación de ArcGIS 10.4.1. o QGIS 3.28 así obteniendo finalmente el mapa de dispersión con sus respectivas áreas de influencia dentro de la zona de estudio realizado.

### **3.2.2.4. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es descriptivo porque se muestrearon diferentes zonas para determinar las concentraciones de la materia sedimentable en los ambientes exteriores de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas.

#### **A) Unidades de observación**

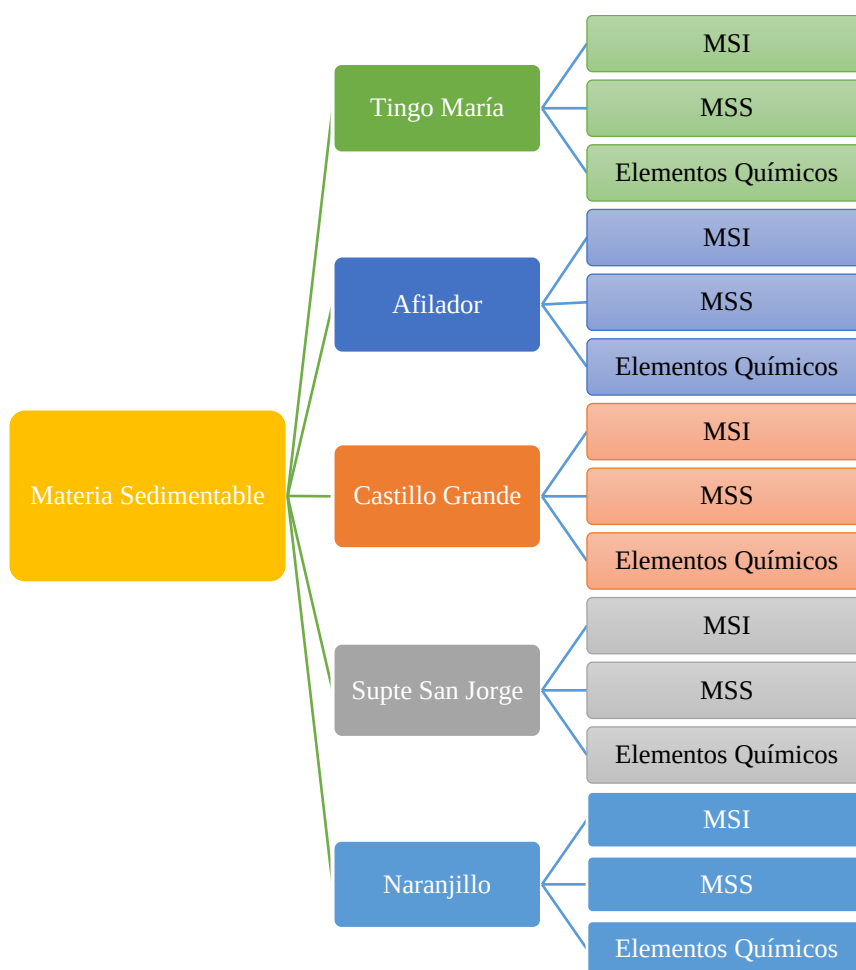
Las unidades observadas son los frascos colectores de materia sedimentable.

#### **B) Variables observadas**

Las variables observadas fueron:

- Lugar de muestreo (Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo)
- Composición (Materia Sedimentable Insoluble, Materia Sedimentable Soluble y Elementos químicos)





Leyenda:

MSI: Materia Sedimentable Insoluble; MSS: Materia Sedimentable Soluble.

**Figura 6.** Diseño de investigación.

### 3.2.2.5. Diseño de investigación

En la tabla 4, se observa el diseño de investigación de los lugares de muestreo, fueron cinco lugares de muestreo (Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo) y en cada lugar de muestreo se tomaron 3 puntos de muestreo.

**Tabla 4.** Diseño de investigación de los puntos de muestreo.

| Punto de muestreo | Lugar de muestreo | Código | Ubicación                                     | Mes de evaluación |    |    |
|-------------------|-------------------|--------|-----------------------------------------------|-------------------|----|----|
|                   |                   |        |                                               | M1                | M2 | M3 |
| PM1               | Tingo María       | TM1    | Av. Raymondi cuadra 11                        | -                 | -  | -  |
|                   |                   | TM2    | Av. Enrique Pimentel con Santa Cruz (esquina) | -                 | -  | -  |
|                   |                   | TM3    | Pasaje las Violetas N° 479                    | -                 | -  | -  |

|            |                 |      |                                                          |   |   |   |
|------------|-----------------|------|----------------------------------------------------------|---|---|---|
| <b>PM2</b> | Afilador        | A1   | Frente al recreo Villa Navila (carretera central)        | - | - | - |
|            |                 | A2   | Frente al Recreo Paraíso de la Bella (carretera central) | - | - | - |
|            |                 | A3   | Primer entrada Buenos Aires                              | - | - | - |
| <b>PM3</b> | Castillo Grande | CG1  | Entrada al Rancho Grande                                 | - | - | - |
|            |                 | CG2  | Municipalidad Distrital de Castillo Grande               | - | - | - |
|            |                 | CG3  | Laureles                                                 | - | - | - |
| <b>PM4</b> | Supte San Jorge | SSJ1 | Frente al Campo deportivo de Supte                       | - | - | - |
|            |                 | SSJ2 | Municipalidad del Centro Poblado de Supte San Jorge      | - | - | - |
|            |                 | SSJ3 | Detrás del Centro de salud de Supte (frente al campo)    | - | - | - |
| <b>PM5</b> | Naranjillo      | N1   | Carretera Fernando Belaunde Terri                        | - | - | - |
|            |                 | N2   | Detrás de la Municipalidad Distrital de Naranjillo       | - | - | - |
|            |                 | N3   | Mapresa                                                  | - | - | - |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2.6. Análisis estadísticos

Para el presente trabajo de investigación se utilizó la estadística descriptiva y la estadística inferencial, la estadística descriptiva comparativo se utilizó con la finalidad de observar cada uno de los promedios de cada lugar de muestreo para así comparar con el límite máximo permisible establecido por la OMS, para verificar si son iguales o diferentes.

También se aplicó la estadística inferencial, basándose en los grupos de lugar de muestreo. Se realizó la prueba de ANVA, el cual se utilizó para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos, es decir si la media de Afilador ( $\mu_1$ ), la media de Tingo María ( $\mu_2$ ), la media de Castillo Grande ( $\mu_3$ ), la media de Supte San Jorge ( $\mu_4$ ) y la media de Naranjillo ( $\mu_5$ ) son iguales o diferentes con un nivel de significancia de 0,05 ( $p < 0,05$ ).

Para la prueba de ANVA se utilizó el software SPSS Versión 23. En cada uno de los parámetros evaluados.

**Tabla 5.** Análisis de Variancia (ANVA).

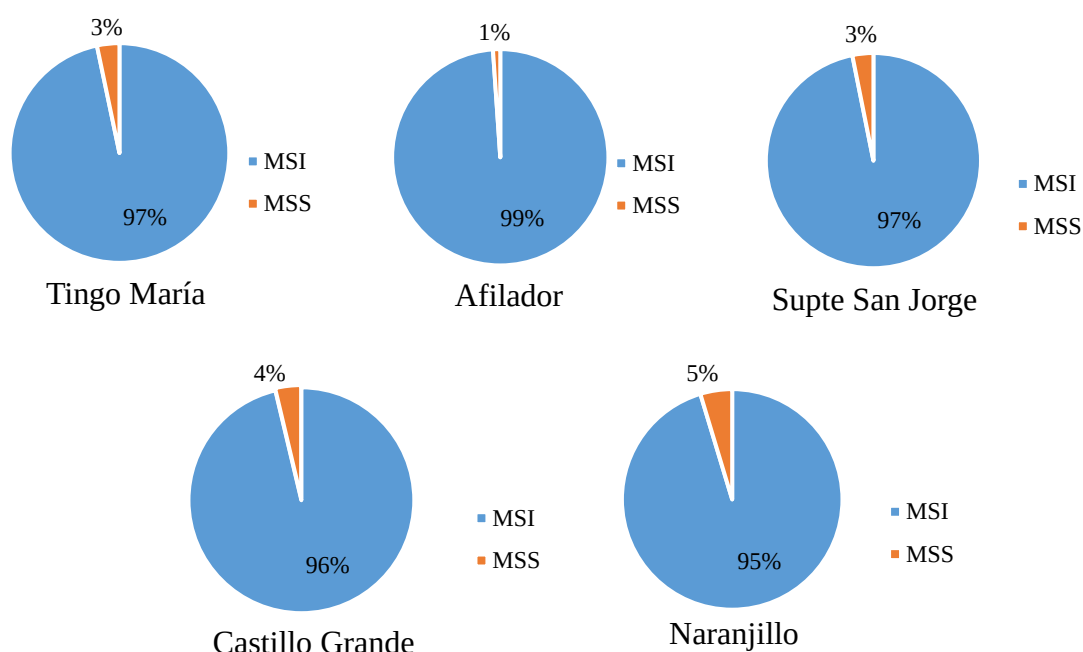
| <b>Fuente de<br/>variación</b> | <b>GL</b> | <b>SC</b>  | <b>CM</b>     | <b>Fc</b>  | <b>Signif</b> |
|--------------------------------|-----------|------------|---------------|------------|---------------|
| Tratamientos                   | $t - 1$   | ST- e      | SCtrat/GLtrat | CMtrat/CMe | $F_c > F_t$   |
| Error                          | $t(r-1)$  | SCT-SCtrat | SCerror/GLe   |            |               |
| TOTAL                          | $t.r-1$   |            |               |            |               |

Fuente: CALZADA, 1985

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Materia sedimentable soluble e insoluble de la ciudad de Tingo María y zonas periféricas

En la figura 7, se observa la composición porcentual de la materia sedimentable soluble e insoluble de los cinco lugares de muestreo, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable insoluble en Afilador (99%), Tingo María (97%), Supte San Jorge (97%), Castillo Grande (96%) y Naranjillo (95%).

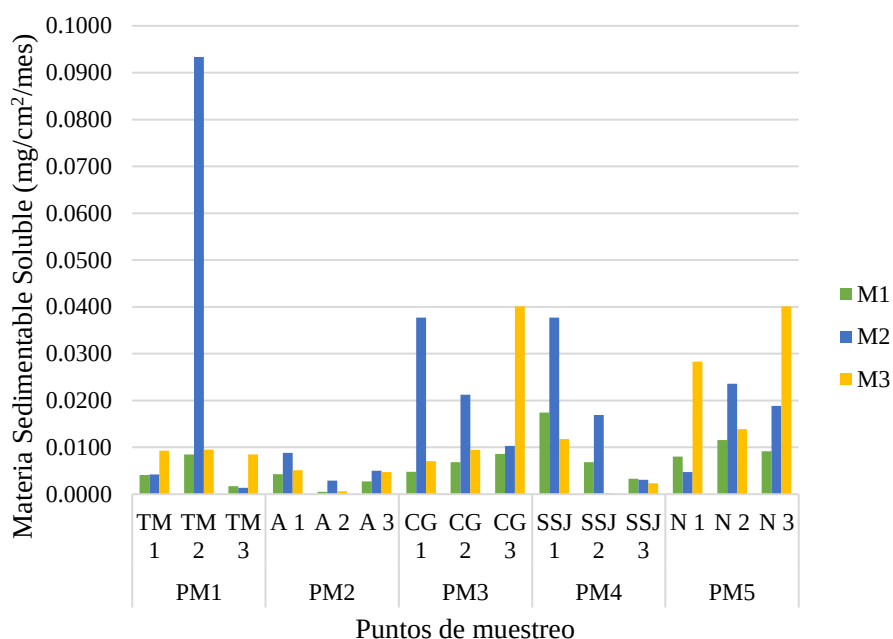


**Figura 7.** Composición porcentual de la materia sedimentable soluble e insoluble de los cinco lugares de muestreo.

Según Livia 2020, determinó que el mayor contenido de partículas atmosféricas sedimentables corresponde a partículas solubles con un 83% y el restante con un 17% partículas insolubles. En referencia a los resultados obtenidos en el presente estudio como se muestra en la figura 7 se determinó que existe un mayor porcentaje de materia sedimentable insoluble y un menor porcentaje de materia sedimentable soluble.

#### 4.1.1. Materia sedimentable soluble

En la figura 8, se observa el material sedimentable soluble cuyas unidades son  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ , esto se evaluó en la ciudad de Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo.



**Figura 8.** Materia Sedimentable Soluble (MSS).

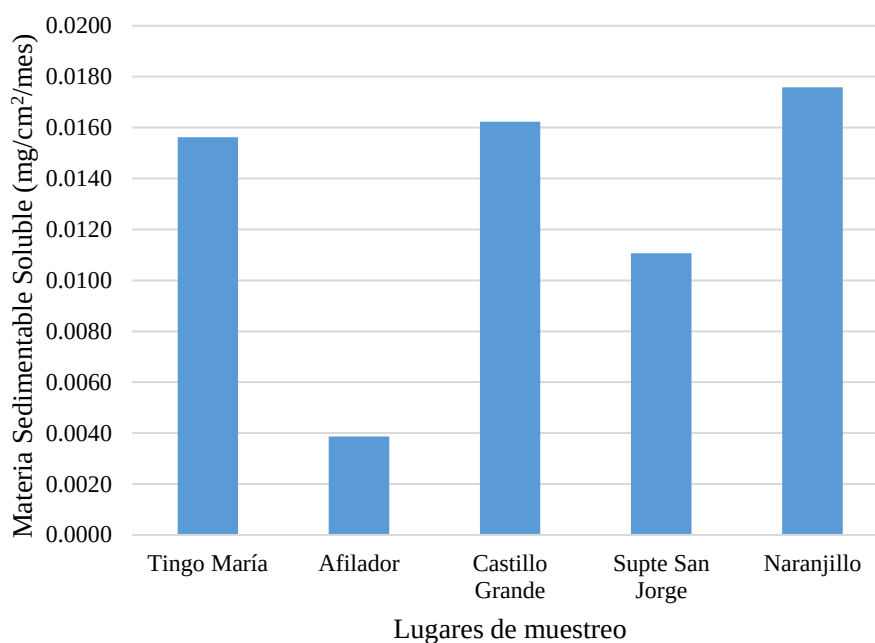
La mayor cantidad del material sedimentable soluble en el primer mes de evaluación (noviembre 2016) se observa en el punto de muestreo 4, que corresponde al lugar de muestreo de Supte San Jorge, punto ubicado frente al campo deportivo de Supte, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) se obtuvo la mayor cantidad de material sedimentable soluble en el punto de muestreo 1, que corresponde a Tingo María en el punto ubicado en la Av. Enrique Pimentel con Jr. Santa Cruz (esquina), en el tercer mes de evaluación (enero 2017) se obtuvo la mayor cantidad de materia sedimentable soluble en el punto de muestreo 3 y punto de muestreo 5, que corresponde al lugar de muestreo de Castillo Grande en el punto ubicado en Los Laureles y el lugar de muestreo de Naranjillo en el punto ubicado en Mapresa respectivamente.

En la figura 8, también se observa que la menor cantidad de materia sedimentable soluble en el primer mes de evaluación se obtuvo en el lugar de muestreo de afilador en el punto ubicado al frente del recreo El paraíso de la bella, en el segundo mes de evaluación se obtuvo la menor concentración de materia sedimentable soluble en el lugar de

muestreo de Tingo María en el punto ubicado en Pasaje las violetas N° 479, y finalmente en el tercer mes de evaluación se obtuvo la menor concentración de materia sedimentable soluble en el punto de muestreo de Supte San Jorge en el punto ubicado en la Municipalidad del Centro Poblado de Supte San Jorge.

#### 4.1.1.1. Materia sedimentable soluble por lugar de muestreo

En la figura 9, muestra el promedio de materia sedimentable soluble de los tres meses de evaluación respecto al lugar de muestreo, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable soluble en el lugar de muestreo de Naranjillo, seguido de Castillo Grande, Tingo María, Supte San Jorge y Afilador.



**Figura 9.** Promedio de Materia sedimentable soluble por lugar de muestreo.

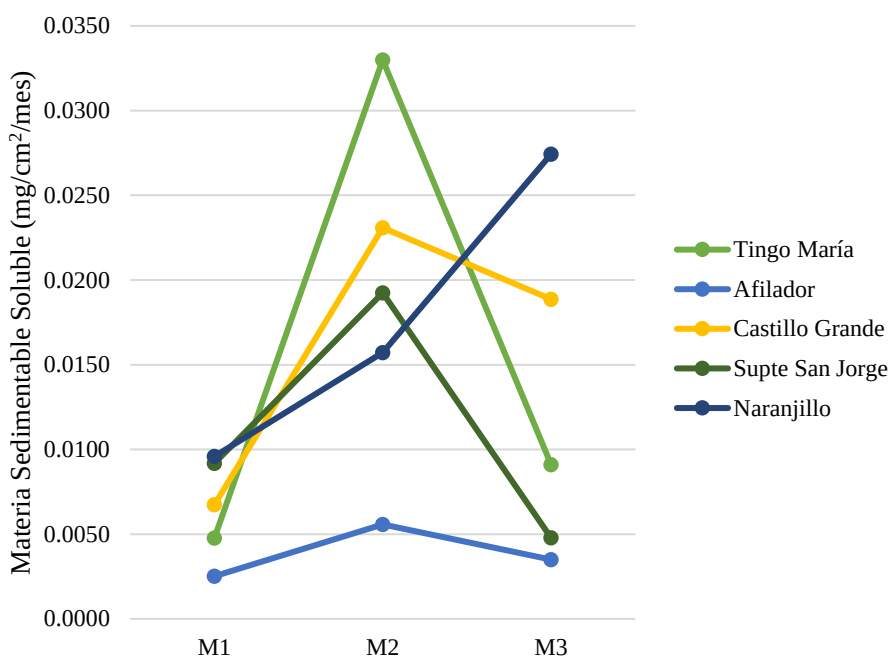
Según Aragón *et al.*, (2005); en la materia sedimentable soluble se encuentra sales disueltas, iones, cationes, en el presente estudio de investigación se obtuvo la mayor cantidad del material sedimentable soluble en el lugar de muestreo de Naranjillo con un promedio final de 0,0176 mg/cm<sup>2</sup>/mes, seguido estuvo el lugar de muestreo de Castillo Grande, Tingo María, Supte San Jorge y Afilador, este material sedimentable soluble puede ocasionar problemas en las estructuras metálicas debido a los iones intercambiables.

#### 4.1.1.2. Materia sedimentable soluble por mes de evaluación

En la figura 10, muestra el promedio de materia sedimentable soluble respecto a los tres meses de evaluación, observándose una mayor cantidad de materia

sedimentable soluble en el segundo mes de muestreo (diciembre) para Tingo María, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo, asimismo se observa un mayor promedio de materia sedimentable soluble en el tercer mes de evaluación (enero) para Naranjillo.

Asimismo, en el primer mes de evaluación (noviembre 2016) muestra el mayor promedio de materia sedimentable soluble el lugar de muestreo de Naranjillo, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) muestra el mayor promedio de materia sedimentable soluble el lugar de muestreo de Tingo María y el tercer mes de evaluación (enero 2017) muestra el mayor promedio de materia sedimentable soluble el lugar de muestreo de Naranjillo.



**Figura 10.** Promedio de Materia sedimentable soluble por meses de evaluación.

#### 4.1.1.3. Análisis de Variancia

En la tabla 6, muestra el análisis de variancia del promedio de la materia sedimentable soluble de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 6.** Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable soluble del aire (mg/cm²/mes).

| F. Variación | GL | SC      | CM      | F    | p- valor |
|--------------|----|---------|---------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0,00038 | 0,00009 | 0,96 | 0,469    |

|       |    |         |         |
|-------|----|---------|---------|
| Error | 10 | 0,00098 | 0,00009 |
| Total | 14 | 0,00135 |         |

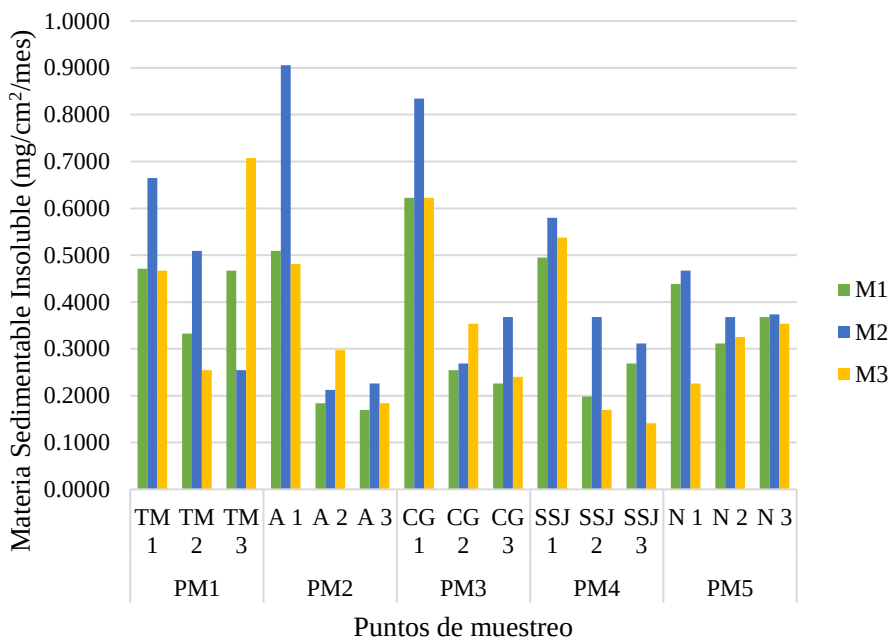
CV : 69,23%

NS : No existe significación estadística

Los contenidos de materia sedimentable soluble del aire se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,469$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades con respecto a la materia sedimentable soluble del aire. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 69,23%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).

#### 4.1.2. Materia sedimentable insoluble

En la figura 11, se observa la Material Sedimentable Insoluble cuyas unidades son  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ , esto se evaluó en la ciudad de Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo.



**Figura 11.** Materia Sedimentable Insoluble (MSI).

La mayor cantidad del Material Sedimentable Insoluble en el primer mes de evaluación (noviembre) se observa en el punto de muestreo 3, que corresponde al lugar de muestreo de Castillo Grande en punto ubicado en la calle del Recreo del Rancho. En el segundo mes de evaluación (diciembre) se obtuvo la mayor cantidad de material sedimentable insoluble

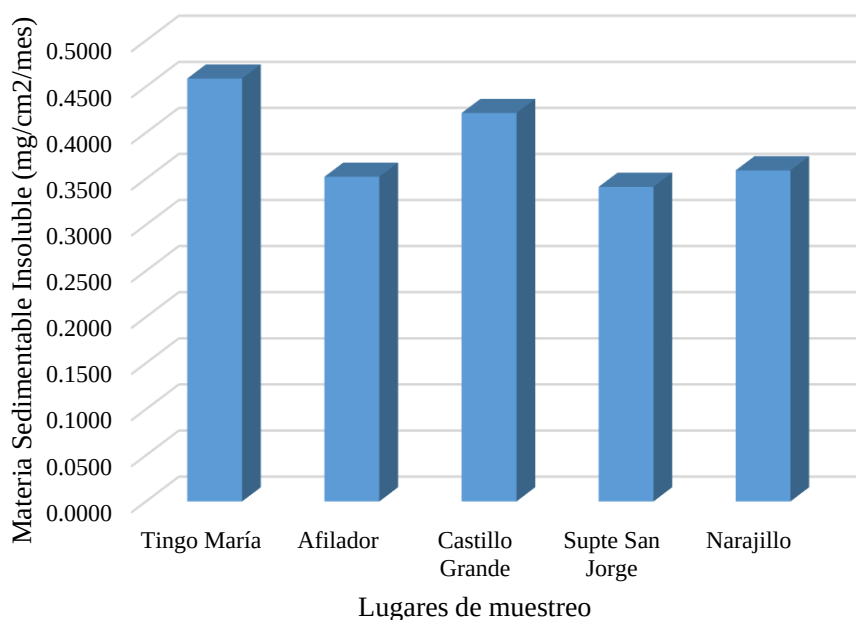


en el lugar de muestreo de Afilador en el punto ubicado en la Carretera central (frente al grifo). En el tercer mes de evaluación (enero) se obtuvo la mayor cantidad de materia sedimentable insoluble en el lugar de muestreo de Tingo María en el punto ubicado en Pasaje las violetas N° 479.

En la figura 11, también se observa que la menor cantidad de Materia Sedimentable Insoluble en el primer mes de evaluación se obtuvo en el lugar de muestreo de Afilador en el punto ubicado en la primera entrada a Buenos Aires, en el segundo mes de evaluación se obtuvo la menor concentración de materia sedimentable insoluble en el lugar de muestreo de Afilador en el punto ubicado frente al recreo El paraíso de la bella, y finalmente en el tercer mes de evaluación se obtuvo la menor concentración de materia sedimentable insoluble en el punto de muestreo de Supte San Jorge en el punto ubicado detrás del Puesto de Salud de Supte.

#### 4.1.2.1. Materia sedimentable insoluble por lugar de muestreo

En la figura 12, muestra el promedio de materia sedimentable insoluble de los tres meses de evaluación respecto al lugar de muestreo, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable insoluble en el lugar de muestreo de Tingo María, seguido Castillo Grande, Naranjillo, Afilador y Supte San Jorge.



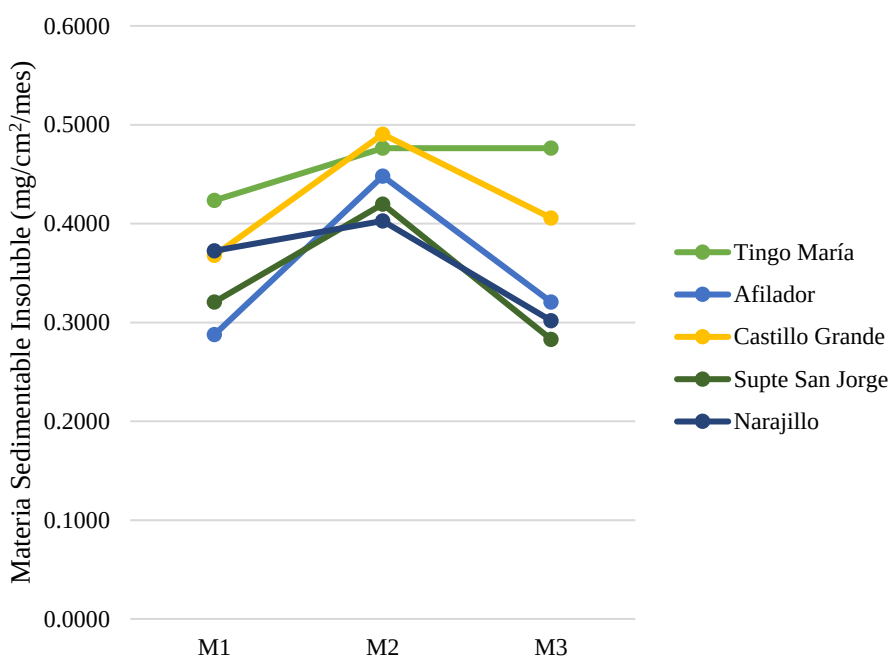
**Figura 12.** Promedio de Materia Sedimentable Insoluble por lugar de muestreo.

Según Aragón *et al.*, 2005; menciona que el material sedimentable insoluble es conocido como un material inerte que puede generar enfermedades respiratorias (polvo) y se obtuvo la mayor concentración de material sedimentable insoluble en el lugar de muestreo de Tingo María con un promedio final  $0,4587 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  en la cual es el único lugar donde se obtiene un valor alto del material sedimentable insoluble; por lo tanto, en los lugares de muestreo de Castillo Grande, Naranjillo, Afilador y Supte San Jorge el porcentaje que se ha obtenido de material sedimentable insoluble ha sido menos, siendo éste un material inerte, pero que puede generar enfermedades respiratorias a la población aledaña al lugar en estudio.

#### 4.1.2.2. Materia sedimentable insoluble por mes de evaluación

En la figura 13, muestra el promedio de materia sedimentable insoluble respecto a los tres meses de evaluación, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable insoluble en el segundo mes de muestreo (diciembre) para los cinco lugares de muestreo (Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo).

Asimismo, en el primer mes de evaluación (noviembre) muestra el mayor promedio de materia sedimentable insoluble el lugar de muestreo de Tingo María, en el segundo mes de evaluación (diciembre) muestra el mayor promedio de materia sedimentable soluble el lugar de muestreo de Castillo Grande y el tercer mes de evaluación muestra el mayor promedio de materia sedimentable soluble el lugar de muestreo de Tingo María.



**Figura 13.** Promedio de Materia sedimentable insoluble por mes de evaluación.

#### 4.1.2.3. Análisis de variancia

En la tabla 7, muestra el análisis de variancia del promedio de la materia sedimentable insoluble de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 7.** Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable insoluble del aire ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ).

| F. Variación | GL | SC      | CM     | F    | p- valor |
|--------------|----|---------|--------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0.03126 | 0.0078 | 0.26 | 0.898    |
| Error        | 10 | 0.30277 | 0.0302 |      |          |
| Total        | 14 | 0.33403 |        |      |          |

CV : 44.61 %

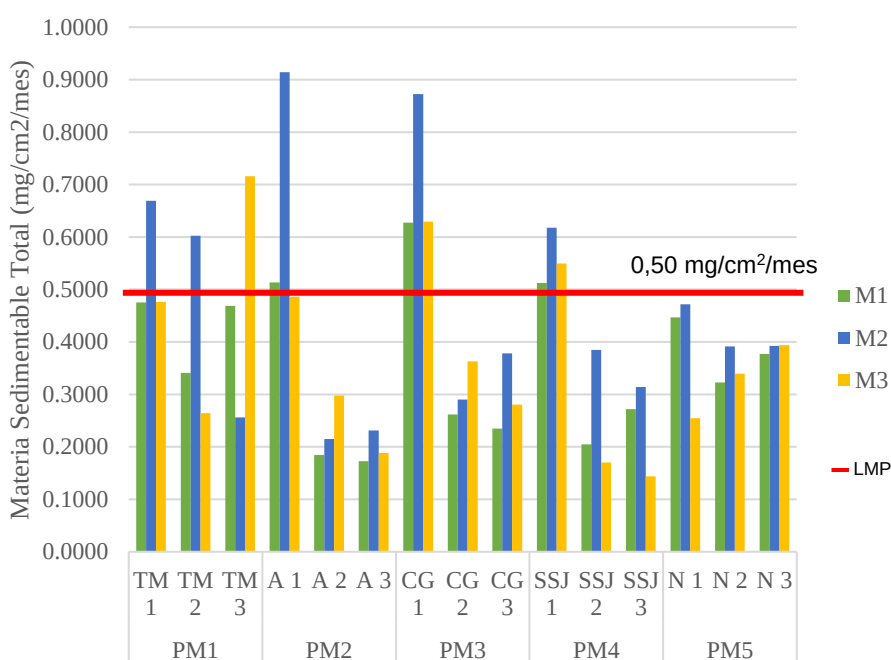
NS : No existe significación estadística

Los contenidos de materia sedimentable insoluble del aire se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,898$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades con respecto a la materia sedimentable insoluble del aire. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 44,61%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).

#### 4.1.3. Materia Sedimentable Total

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece un Estándar de Calidad Ambiental para Polvos Sedimentables (PS) o Materia Sedimentable Total MST valor de  $0,50 \text{ mg}/\text{cm}^2$  al Mes. De acuerdo a la distribución de los puntos muestreados de materia sedimentable en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental establecidos, tal es el caso del lugar de muestreo de Tingo María (TM 1) y Tingo María (TM 2) en el segundo mes de evaluación (Diciembre) obteniéndose un  $0,6992 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  y  $0,6027 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  respectivamente, en el lugar de muestreo Tingo María (TM 3) en el tercer mes de evaluación (Enero) obteniéndose  $0,7159 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ , en el lugar de muestreo de Afilador (A 1) en el primer (Noviembre) y segundo (Diciembre) mes de evaluación obteniéndose  $0,5136 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  y  $0,9143 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  respectivamente, en el lugar de muestreo Castillo Grande (CG 1) en el primer (noviembre), segundo (diciembre) y tercer (enero) mes de evaluación obteniéndose  $0,6272 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ,  $0,8724 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  y  $0,6295 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  respectivamente, en el lugar de muestreo de Supte San Jorge (SSJ 1) en el primer

(noviembre), segundo (diciembre) y tercer (enero) mes de evaluación obteniéndose 0,5126 mg/cm<sup>2</sup>/mes, 0,6178 mg/cm<sup>2</sup>/mes y 0,5494 mg/cm<sup>2</sup>/mes respectivamente, en el lugar de muestreo de Naranjillo en ningún punto de muestreo sobrepasa los ECAs, estos resultados se debe a las condiciones que presenta cada lugar de muestreo en particular, es decir, en el lugar de muestreo de Tingo María se debe principalmente a que el punto de muestreo estaba ubicado en calles principales de la ciudad donde existe el tránsito de vehículos pesados así como el parque automotor y densidad habitacional, sucede lo mismo con el lugar de muestreo de Afilador donde el punto de muestreo existe calle pavimentada con mayor influencia de vehículos pesados, lo que diferencia del lugar de muestreo de Castillo Grande donde existe calles pavimentadas y no pavimentadas, tránsito y densidad habitacional intermedio; así como en el lugar de muestreo de Supte San Jorge donde no existen calles pavimentadas y el tráfico vehicular es menor, así como la densidad de población.



**Figura 14.** Concentración de Materia Sedimentable Total.

La OMS (2005) estableció los límites máximos permisibles para partículas atmosféricas sedimentables (0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes), se observa en la Figura 14 que existen puntos de muestreo que exceden el límite, estos a largo plazo pueden traer problemas a la salud que tienen estrecha relación con latidos del corazón irregulares, asma agravada, función pulmonar reducida, irritación en el sistema respiratorio y en el peor de los casos, la muerte en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares (Environmental Protection Agency [EPA], 2022), también en una encuesta realizada a trabajadores de obras civiles por Hurtado (2018) menciona

que, el 97 % de trabajadores indicaron que las enfermedades respiratorias es causada por los polvos atmosféricos sedimentables que inhalan. Por otra parte, Martínez (2017) y Zea (2020) manifiestan alternativas para reducir las concentraciones de partículas atmosféricas sedimentables son el aumento de vegetación urbana, sistemas de techos verdes, buena gestión vial y territorial.

#### **4.1.3.1. Materia sedimentable total por lugar de muestreo**

En la figura 15, muestra el promedio de materia sedimentable total de los tres meses de evaluación respecto al lugar de muestreo, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable total en el lugar de muestreo de Tingo María, seguido Castillo Grande, Naranjillo, Afilador y Supte San Jorge.

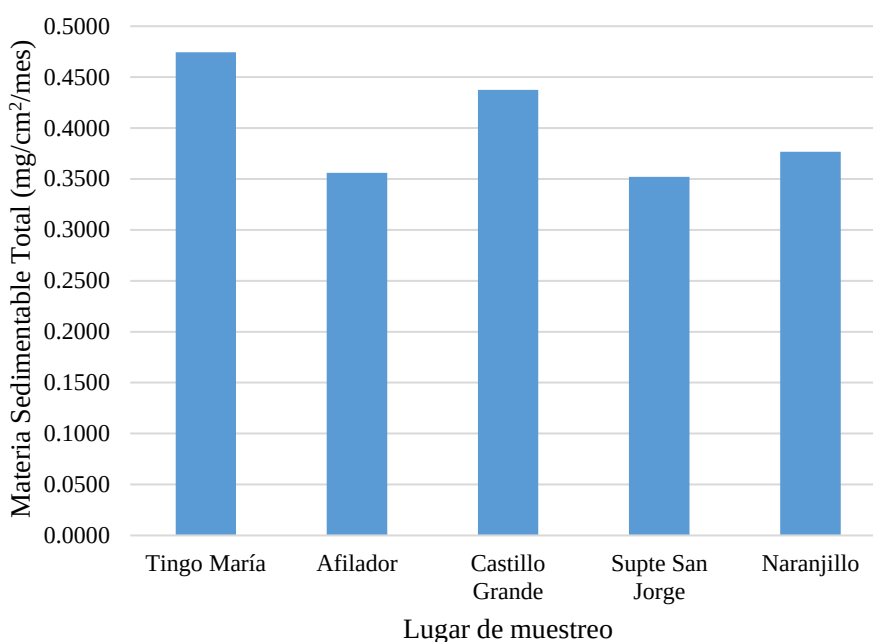
Según Miranda S. y Merma A, 2017; la concentración de polvo atmosférico sedimentable en el centro de la ciudad de Tacna se encuentra por debajo del valor de la OMS, obteniéndose un valor de  $0,48 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  se debe a que la mayoría de las calles están pavimentadas, esto limita la remoción de partículas sólidas, en cuanto a la concentración de materia sedimentable en el centro de la ciudad de Tingo María también se obtuvo un valor por debajo del valor establecido por la OMS ( $0,50 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ), obteniendo una concentración promedio final de  $0,4743 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ; comparando con la concentración que el autor menciona existe un diferencia de  $0,01 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , y este valor es porque en el centro de la ciudad de Tingo María existen calles pavimentadas evitando la remoción de las partículas sólidas, y también se debe a que esta ciudad tiene una fisiográfica y condiciones climáticas diferentes que la ciudad de Tacna.

En la figura 15 se aprecia que la zona de Tingo María tiene una mayor concentración promedio del material sedimentable total ( $0,4743 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) esto pudiéndose deber a que es capital de la Provincia de Leoncio Prado y por ende presenta un mayor tráfico vehicular por el transporte público local, interprovincial y de transporte de carga pesada, como lo mencionan Miranda et al. (2019) y Pacsi (2016) que el parque automotor tiene una gran influencia en la concentración de las partículas sedimentables, sumado a esto la antigüedad, la calidad de combustible abastecido por los vehículos y los elementos del clima de la zona en estudio. De igual forma Cortez (2019) indica que la influencia de partículas sólidas totales son las fuentes móviles (automóviles y camionetas pick up) con elevado tráfico.

Como segunda zona con mayor concentración promedio del material sedimentable total, fue en Castillo Grande ( $0,4375 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) que a comparación

de las otras zonas presenta un número mayor de calles sin asfaltar, esto haría suponer que fue por esa razón que obtuvo una mayor concentración del material sedimentable, de la misma manera Castro (2019) y Chávez (2018) concluyen en sus investigaciones que encontraron una mayor concentración del material sedimentable en calles en mal estado, pistas no pavimentadas y expansión urbana.

Asimismo, Reátegui (2016), determinó en el distrito de Castillo Grande un mayor tráfico vehicular. En referencia a los resultados obtenidos en este presente estudio se puede evidenciar que Castillo Grande es el segundo lugar que tiene mayor concentración de materia sedimentable total y esto se debe principalmente a la alta tasa de flujo vehicular.



**Figura 15.** Promedio de Materia sedimentable total por lugares de muestreo.

En la Figura 15 se aprecia que la zona de muestreo que tuvo menor concentración del material sedimentable fue Supte San Jorge (0,3522 mg/cm²/mes) pudiendo ser porque la zona presenta mayor cobertura vegetal y poco tránsito vehicular, como lo manifiesta Lozano (2020) que un sector localizado en la zona urbana con mucha presencia de áreas verdes ayuda a retener los contaminantes e influye en que no se disperse las partículas sedimentables.

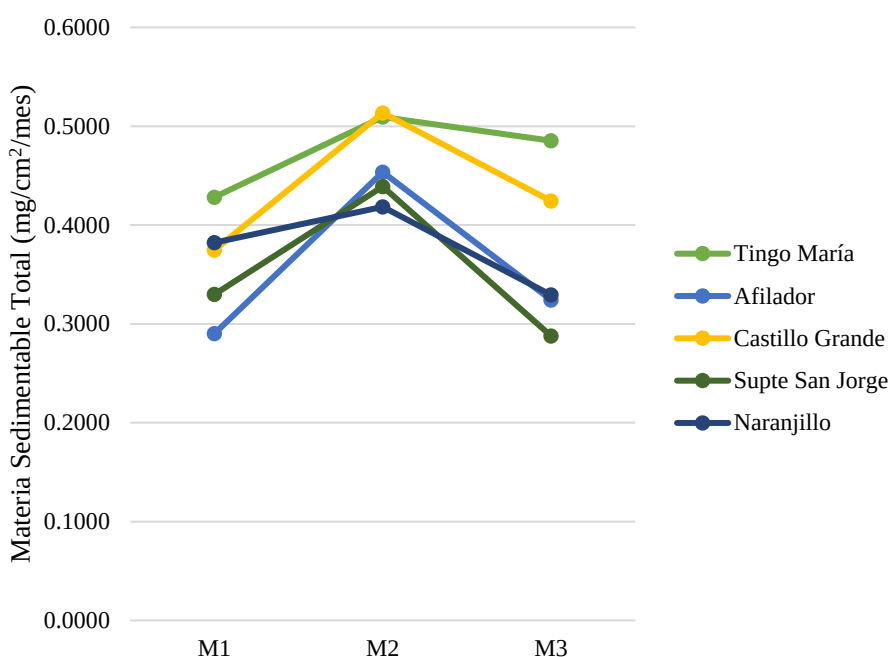
En los resultados de Miranda (2019) obtuvo mayor concentración de material sedimentable en la Zona 1 (centro de la ciudad de Tacna) y Zona 2 (zona intermedia), que coinciden con la Figura 15, donde la zona de Tingo María fue la de

mayor concentración con respecto a otros lugares muestreados por ser capital de la Provincia de Leoncio Prado.

#### 4.1.3.2. Materia sedimentable total por mes de evaluación

En la figura 16, muestra el promedio de materia sedimentable total respecto a los tres meses de evaluación, observándose una mayor cantidad de materia sedimentable total en el segundo mes de muestreo (diciembre) para los cinco lugares de muestreo (Tingo María, Afilador, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo).

Asimismo, en el primer mes de evaluación (noviembre) muestra el mayor promedio de materia sedimentable total el lugar de muestreo de Tingo María, en el segundo mes de evaluación (diciembre) muestra el mayor promedio de materia sedimentable total el lugar de muestreo de Castillo Grande y el tercer mes de evaluación muestra el mayor promedio de materia sedimentable total el lugar de muestreo de Tingo María.



**Figura 16.** Promedio de materia sedimentable total por mes de evaluación.

Según la Organización Mundial de la Salud, al sobrepasar los Estándares de Calidad Ambiental de  $0,50 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , como en este caso la concentración de materia sedimentable obtenidos en el lugar de muestreo de Tingo María y Castillo Grande en el segundo mes de evaluación es de  $0,5093 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  y  $0,5135 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  respectivamente, por lo tanto, podemos inferir que la población aledaña al lugar de muestro está siendo expuesta

a presentar enfermedades respiratorias, oftalmológicas, dérmicas, afectando en su desempeño diario y estabilidad emocional, ya que estas concentraciones son el promedio de los tres meses.

#### 4.1.3.3. Análisis de variancia

En la tabla 8, muestra el análisis de variancia del promedio de la materia sedimentable total de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 8.** Análisis de variancia (ANVA) de la materia sedimentable total del aire (mg/cm<sup>2</sup>/mes).

| F. Variación | GL | SC     | CM     | F    | p- valor |
|--------------|----|--------|--------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0,0351 | 0,0087 | 0,29 | 0,880    |
| Error        | 10 | 0,3063 | 0,0306 |      |          |
| Total        | 14 | 0,3414 |        |      |          |

CV : 43,86 %

NS : No existe significación estadística

Los contenidos de materia sedimentable total del aire se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,880$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades con respecto a la materia sedimentable total del aire. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 43,86%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).

## 4.2. Caracterización fisicoquímica de la fracción de materia sedimentable soluble

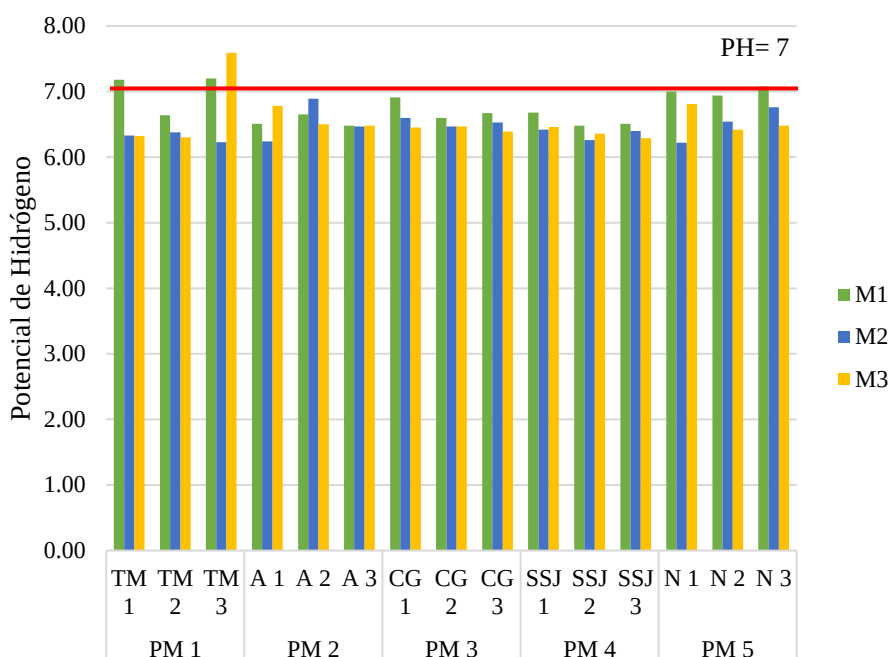
Quijano *et al.* (2010), sostiene que es importante conocer la calidad del aire que se respira en las zonas urbanas a partir de la composición química del material particulado. En el presente estudio de investigación se realizó la caracterización fisicoquímica de la materia sedimentable soluble.

### 4.2.1. Potencial de hidrógeno

En la figura 17, se observa el potencial de hidrógeno de los cinco lugares de muestreo; para poder observar que valor es ácido o básico, ya que el nivel óptimo es de pH 7, los puntos de muestreo que superan el nivel óptimo es el lugar de muestreo de Tingo María en el primer mes de evaluación (R1 - noviembre) en la vivienda ubicada en la Av. Raimondi cuadra 11, también el lugar de muestreo de Tingo María en el primer mes de evaluación (R1 - noviembre) y el tercer mes de evaluación (R3 - enero) en la vivienda ubicada en Pasaje las



violetas N°479, el lugar de muestreo de Naranjillo en el primer mes de evaluación (R1 - noviembre) en la vivienda ubicada en Mapresa.



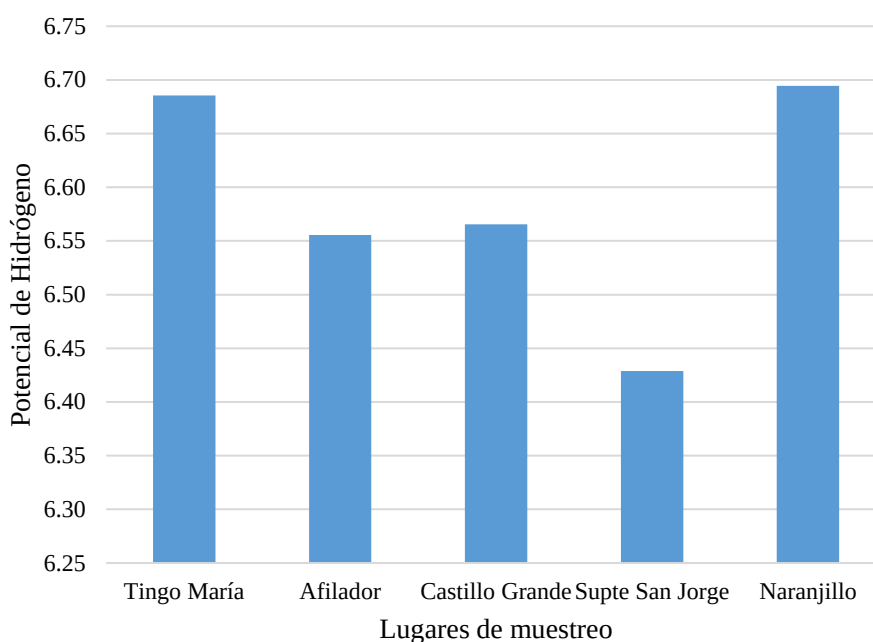
**Figura 17.** Potencial de hidrógeno por cada punto de muestreo.

#### 4.2.1.1. Potencial de hidrógeno por lugar de muestreo

En la figura 18, se puede apreciar el promedio de la concentración de iones hidrógeno respecto a los lugares de muestreo, observándose una mayor cantidad en Naranjillo, seguido de Tingo María, Castillo Grande, Afilador y Supte San Jorge.

Se muestra en la Figura 15 y 18 que la zona de Tingo María presenta mayor concentración del material sedimentable total (0,4743 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y pH (6,69), estos guardan relación entre sí y se puede corroborar con lo que menciona Saravia (2020), que cuanto mayor sea la contaminación del aire mayor será la acidez de la lluvia.

Según PORTA *et al.*, 2003; el valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución acuosa y proporciona información importante sobre los procesos químicos y biológicos en la muestra, esto brinda conclusiones sobre la disponibilidad biológica, movilidad y toxicidad de los contaminantes (metales pesados en el suelo); en el presente estudio se obtuvieron promedios de pH por lugares de muestreo observándose una menor concentración de pH (< 7) en todos los lugares de muestreo observándose una menor en el lugar de muestreo de Supte San Jorge clasificándose como un suelo ligeramente ácido.

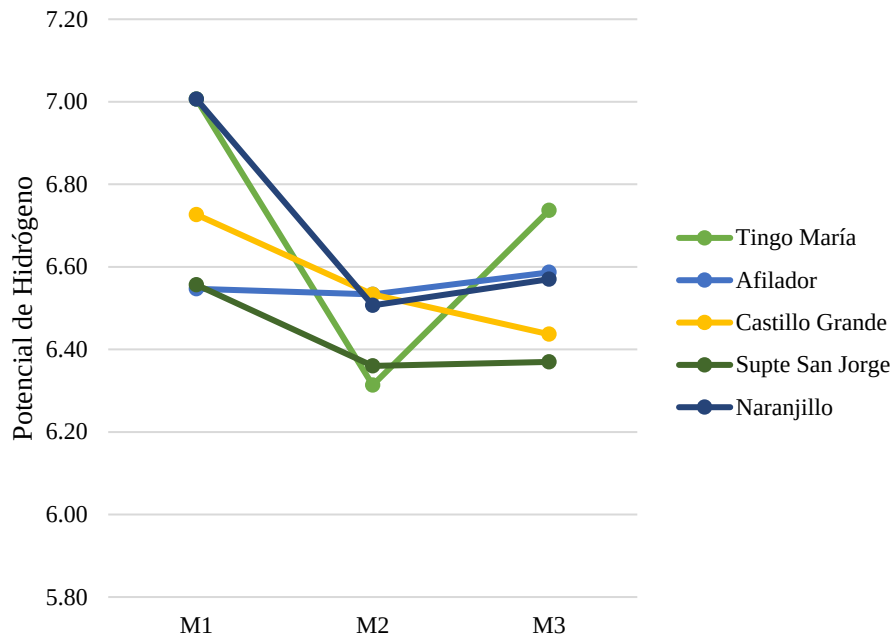


**Figura 18.** Concentración de iones de hidrogeno (pH) por lugar de muestreo.

#### 4.2.1.2. Potencial de hidrógeno por mes de evaluación

En la figura 19, muestra el promedio de la concentración de iones de hidrógeno respecto al mes de evaluación, observándose una menor concentración de potencial de hidrógeno (acidez) en el segundo mes de evaluación en todos los lugares de muestreo, observándose una menor en el lugar de muestreo de Tingo María (pH= 6,31), seguido de Supte San Jorge (pH= 6,36), Naranjillo (pH= 6,51), Castillo Grande (pH= 6,53) y Afilador (pH= 6,53). Asimismo, la mayor concentración del potencial de hidrógeno (alcalino) se obtuvo en el primer mes de evaluación en el lugar de muestreo de Tingo María (pH= 7,01) y Naranjillo (pH= 7,01).

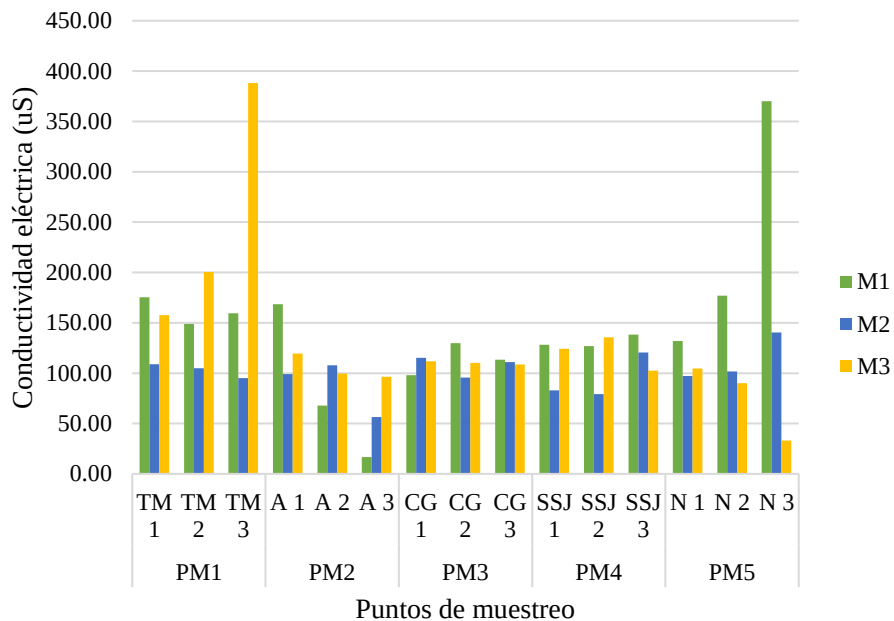
Según PORTA *et al.*, 2003; el valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución acuosa y proporciona información importante sobre los procesos químicos y biológicos en la muestra, esto brinda conclusiones sobre la disponibilidad biológica, movilidad y toxicidad de los contaminantes (metales pesados en el suelo); en el presente estudio se obtuvieron promedios de pH por cada mes de evaluación, y se obtuvo una menor concentración de pH en el segundo mes de evaluación observándose un rango de 6,31 – 6,53 clasificándolo como un suelo ligeramente ácido.



**Figura 19.** Concentración de iones de hidrógeno (pH) por meses de evaluación.

#### 4.2.2. Conductividad eléctrica

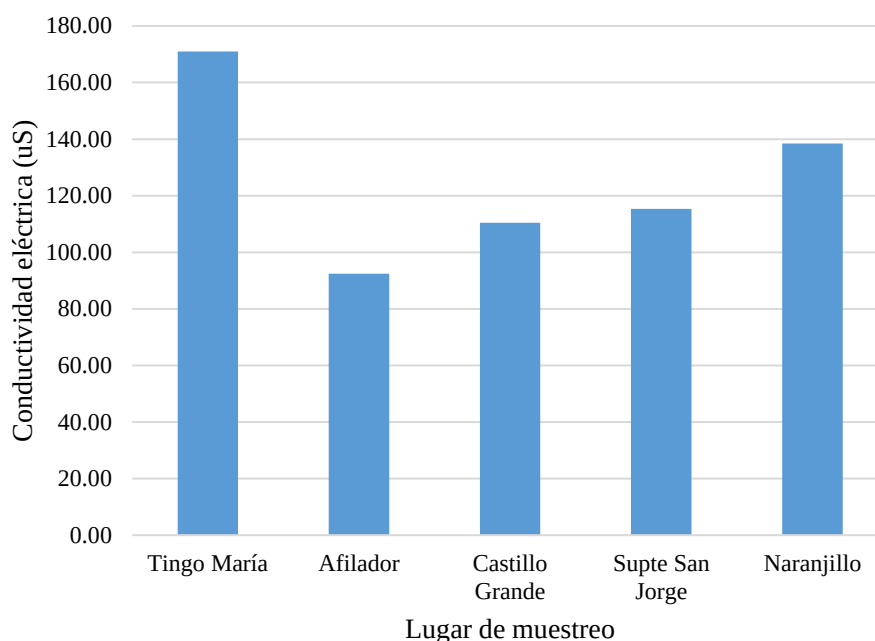
En la figura 20, de los 45 puntos de muestreo se obtuvo una mayor conductividad eléctrica en el lugar de muestreo de Naranjillo ubicado en el sector de Mapresa en el primer mes de evaluación (R1: noviembre) y en el lugar de muestreo de Tingo María en la vivienda ubicada en Pasaje las violetas N° 479 en el tercer mes de evaluación (R3: enero).



**Figura 20.** Conductividad eléctrica por puntos de muestreo.

#### 4.2.2.1. Conductividad eléctrica por lugar de muestreo

La figura 21, muestra el promedio de la conductividad eléctrica respecto a los lugares de muestreo, observándose una mayor concentración de conductividad eléctrica en Tingo María, seguido de Naranjillo, Supte San Jorge, Castillo Grande y Afilador.



**Figura 21.** Conductividad eléctrica por lugar de muestreo.

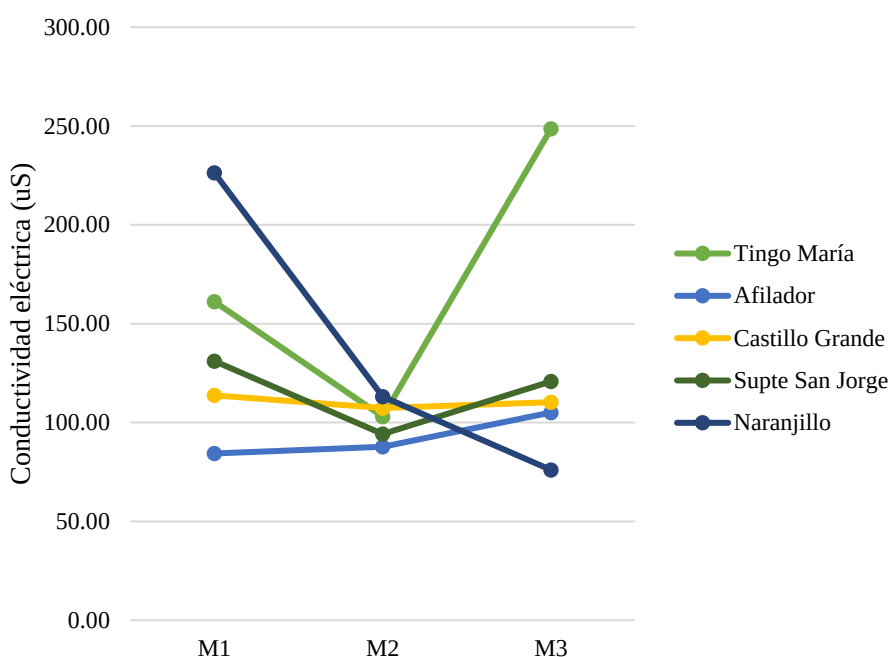
#### 4.2.2.2. Conductividad eléctrica por mes de evaluación

La figura 22, muestra el promedio de la conductividad eléctrica respecto al mes de evaluación, observándose una mayor cantidad de conductividad eléctrica en el primer mes de evaluación (noviembre 2016) en Naranjillo, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) en Naranjillo y en el tercer mes de evaluación (enero 2017) se registró en el lugar de muestreo de Tingo María.

Según Solís, Zúñiga y Mora, 2018; mencionan que la conductividad eléctrica del agua está relacionada con la concentración de sales en la solución, durante la disociación se forman iones conductores. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo tanto, la conductividad eléctrica depende de la temperatura del agua; en el presente estudio de investigación se obtuvo una mayor conductividad eléctrica en el lugar de muestreo de Tingo María en el tercer mes de evaluación (enero 2017) siendo un valor de 248,70 uS en el cual nos indica que en ese lugar de muestreo existe mayor concentración de sales disueltas en el agua, siendo un indicador rápido y económico para

evaluar los niveles de contaminación y además se entiende que es la capacidad de los iones de la solución de conducir la corriente eléctrica.

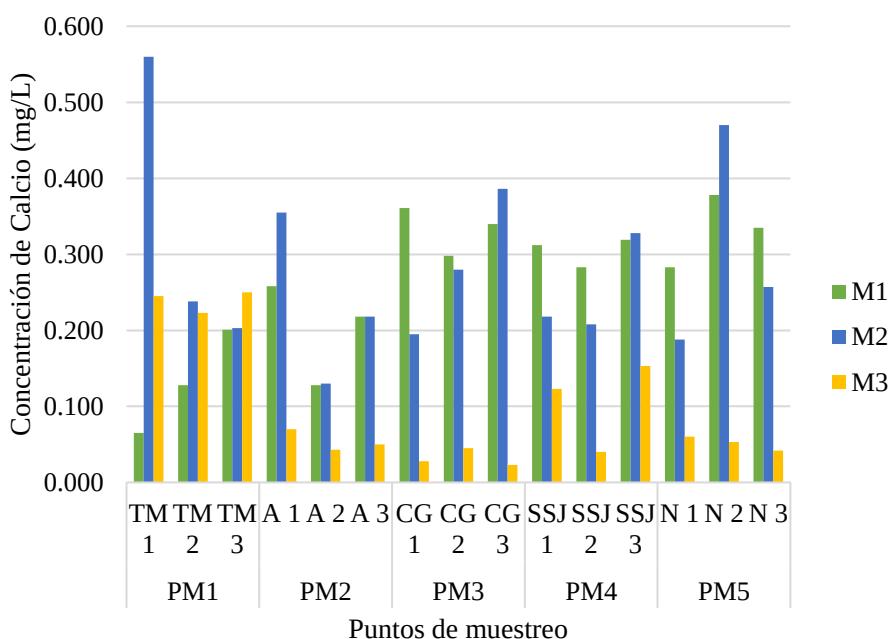
Según Hazelton y Murphy, 2007; si la conductividad eléctrica es  $CE > 2$  se clasifica que la clase de suelo es salino, por lo tanto, en la conductividad eléctrica promedio que se obtuvo por cada mes de evaluación fue el máximo valor de 248,70  $\mu S$  y el mínimo de 76,00  $\mu S$  obteniendo una clasificación de suelo salino.



**Figura 22.** Conductividad eléctrica por mes de evaluación.

#### 4.2.3. Determinación del calcio

En la figura 23, se observa en el primer mes de evaluación (R1 – noviembre) la mayor concentración de calcio presenta el lugar de muestreo de Naranjillo en la vivienda ubicada detrás de la Municipalidad Distrital de Naranjillo. En el segundo mes de evaluación (R2 – diciembre) la mayor concentración de calcio se presenta en el lugar de muestreo de Tingo María en la vivienda ubicada en la Av. Raymondi cuadra 11. En el tercer mes de evaluación (R3 – enero) la mayor concentración de calcio se presenta en el lugar de muestreo de Tingo María en la vivienda ubicada en el Pasaje las violetas N° 479.

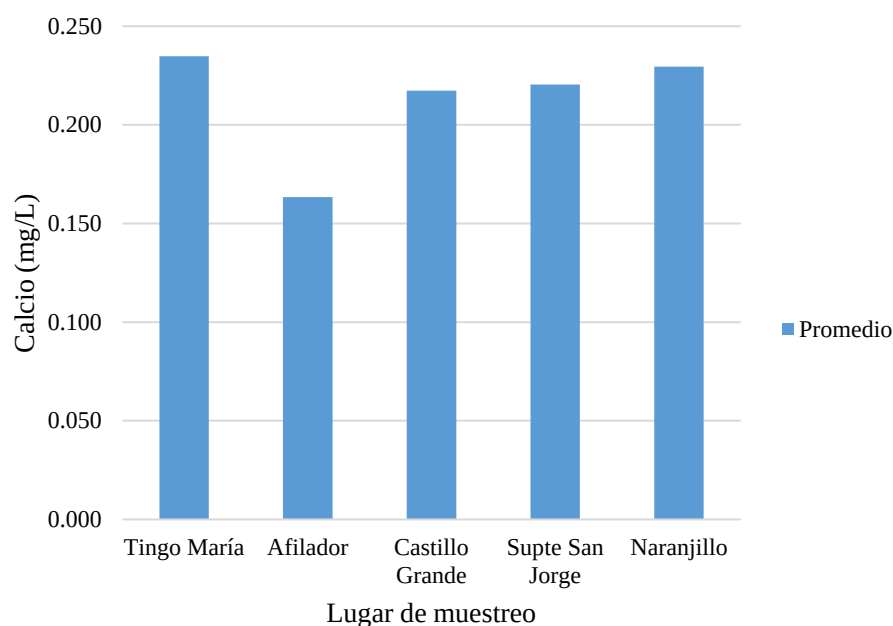


**Figura 23.** Concentración de calcio (mg/L) por cada punto de muestreo.

#### 4.2.3.1. Concentración de calcio por lugar de muestreo

En la Figura 24, muestra el promedio de la concentración de calcio respecto al lugar de muestreo, observándose una mayor concentración de calcio en el lugar de muestreo de Tingo María, seguido de Naranjillo, Supte San Jorge, Castillo Grande y Afilador.

Naranjillo fue una de las zonas con mayor concentración de calcio (0,230 mg/L) como se aprecia en la Figura 24, pudiéndose deber a la extracción de hormigón que existe como lo indica Palacios (2014), en donde encontró mayor concentración de calcio en zonas de fabricación de ladrillos y extracción de agregados. Por otra parte, Quijano *et al.* (2010) menciona que el calcio es parte de la constitución del suelo y por lo tanto se encuentran en polvos de camino y carreteras, así como también en procesos de construcción.

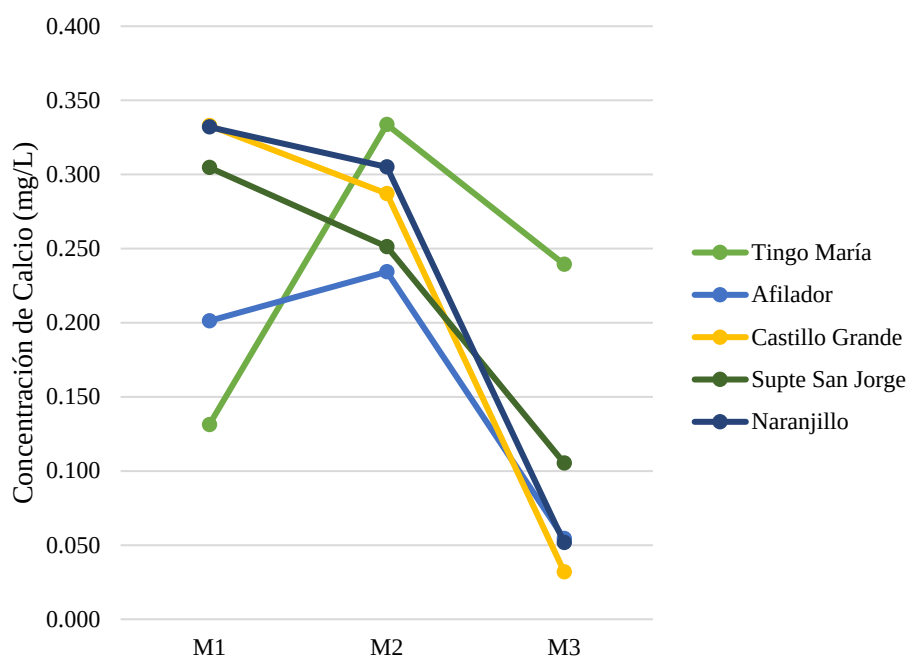


**Figura 24.** Concentración de calcio por lugar de muestreo.

#### 4.2.3.2. Concentración de calcio por mes de evaluación

En la figura 25, muestra el promedio de la concentración de calcio respecto al mes de evaluación, observándose una mayor concentración de calcio en el primer mes de evaluación (noviembre 2016) en el lugar de muestreo de Castillo Grande, en el segundo mes de evaluación (diciembre 2016) en el lugar de muestreo de Tingo María y en el tercer mes de evaluación (enero 2017) en el lugar de muestreo de Tingo María.

Livia, 2020; en su investigación encontró medias superiores del ion calcio en las zonas Afilador, Castillo Grande y Naranjillo, posiblemente debido a la influencia de los materiales de cantera (hormigón, etc.) y fábricas de ladrillos donde se utiliza dolomita (carbonato de calcio y magnesio), todo lo contrario, en las avenidas principales de la ciudad Av. Amazonas y Av. Raimondi cdra. 9 donde presentaron medias bajas, en el presente estudio de investigación se obtuvo mayor concentración de calcio en el primer mes de evaluación en las zonas de muestreo de Castillo Grande (0,333 mg/L) y Naranjillo (0,332 mg/L), coincidiendo así con las zonas de muestreo de Castillo Grande y Naranjillo.



**Figura 25.** Concentración de calcio (mg/L) por mes de evaluación.

#### 4.2.3.3. Análisis de variancia

En la tabla 9, muestra el análisis de variancia del promedio de la concentración de calcio de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 9.** Análisis de variancia (ANVA) del contenido de calcio (Ca) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire.

| F. Variación | GL | SC     | CM     | F    | p- valor |
|--------------|----|--------|--------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0,0099 | 0,0024 | 0,92 | 0,490    |
| Error        | 10 | 0,0268 | 0,0027 |      |          |
| Total        | 14 | 0,0367 |        |      |          |

CV : 23.94 %

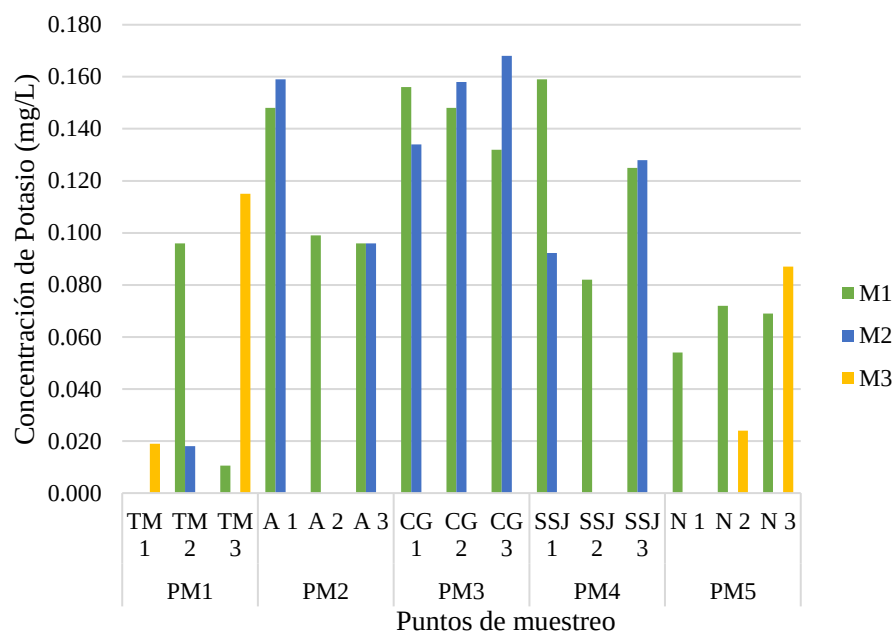
NS : No existe significación estadística

Los contenidos de calcio (Ca) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire, se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,490$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 23,94%, cuyo valor es considerado alto dado que se encuentra en el intervalo de 20 a 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).



#### 4.2.4. Determinación de Potasio

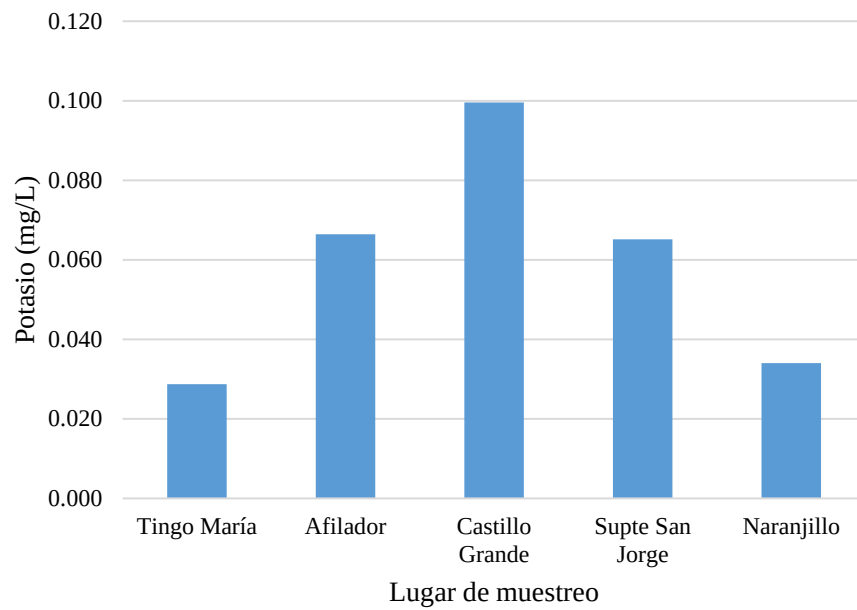
En la figura 26, se observa en el mes de evaluación (R1= noviembre) la mayor concentración de potasio presenta el lugar de muestreo de Supte San Jorge en la vivienda ubicada detrás del Campo deportivo de Supte San Jorge. En el segundo mes de evaluación (R2: diciembre) la mayor concentración de potasio se presenta en el lugar de muestreo de Castillo Grande en la vivienda ubicada en Los Laureles. En el tercer mes de evaluación (R3: enero) la mayor concentración de potasio se presenta en el lugar de muestreo de Tingo María en la vivienda ubicada en el Pasaje las violetas N° 479.



**Figura 26.** Concentración de potasio por cada punto de muestreo.

##### 4.2.4.1. Concentración de potasio por lugar de muestreo

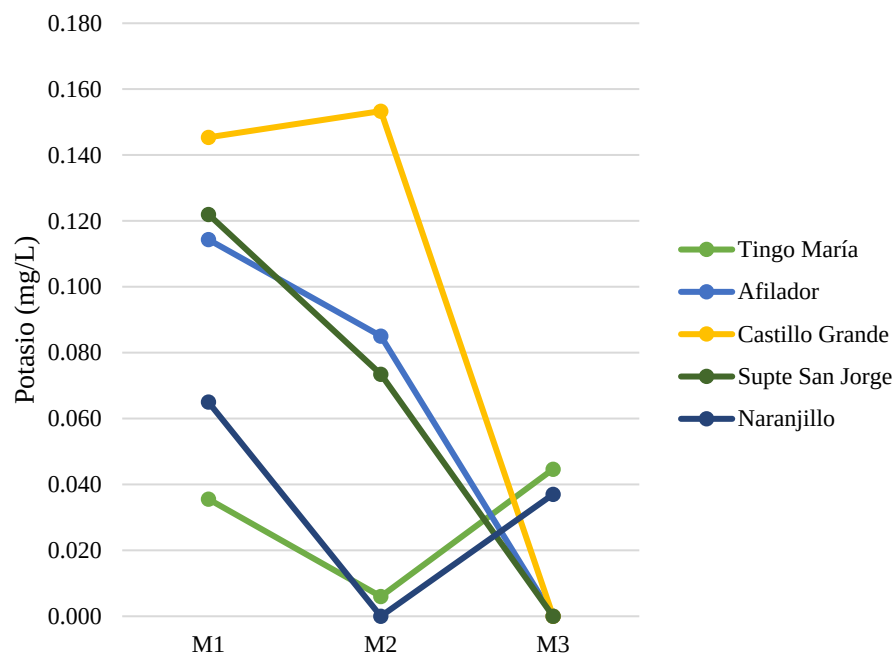
En la figura 27, muestra el promedio de la concentración de potasio respecto al lugar de muestreo, observándose una mayor concentración de potasio en el lugar de muestreo de Castillo Grande, seguido de Afilador, Supte San Jorge, Naranjillo y Tingo María.



**Figura 27.** Concentración de potasio por lugar de muestreo.

#### 4.2.4.2. Concentración de potasio por mes de evaluación

En la figura 28, muestra el promedio de la concentración de potasio respecto a los meses de evaluación, observándose una mayor concentración de potasio en el primer mes de evaluación (R1: noviembre) en el lugar de muestreo de Castillo Grande, el segundo mes de evaluación (R2: diciembre) en el lugar de muestreo de Castillo Grande y finalmente en el tercer mes de evaluación (R3: enero) en el lugar de muestreo de Tingo María.



**Figura 28.** Concentración de potasio por mes de evaluación.**4.2.4.3. Análisis de variancia**

En la tabla 10, muestra el análisis de variancia del promedio de la concentración de potasio de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 10.** Análisis de variancia (ANVA) del contenido de potasio (K) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire.

| <b>F. Variación</b> | <b>GL</b> | <b>SC</b> | <b>CM</b> | <b>F</b> | <b>p- valor</b> |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| Tratamiento         | 4         | 0,0099    | 0,0024    | 4,16     | 0,031           |
| Error               | 10        | 0,0059    | 0,0006    |          |                 |
| Total               | 14        | 0,0157    |           |          |                 |

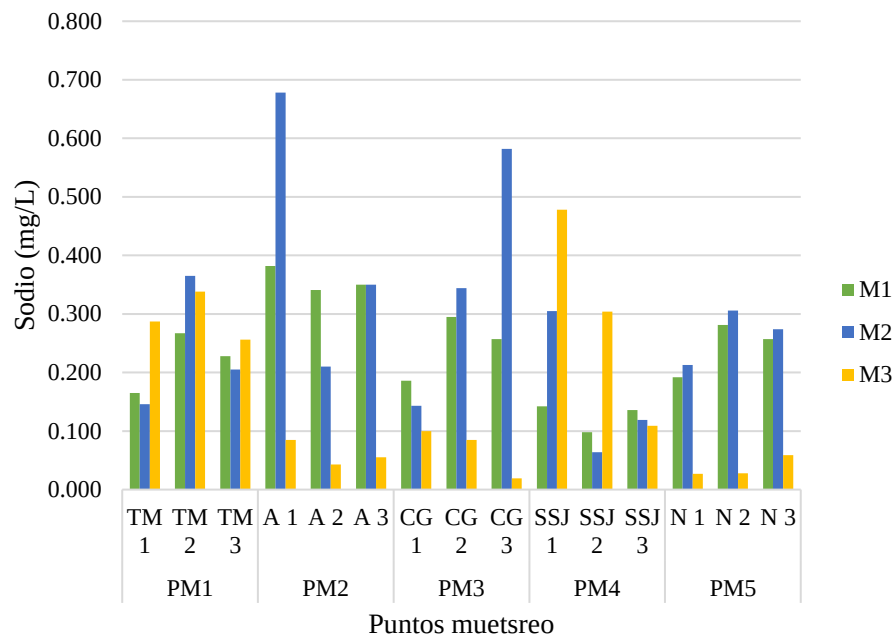
CV : 40,67 %

NS : Si existe significación estadística

Los contenidos de potasio (K) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire, se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,031$ ; se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades, lo cual indica que al menos una de las comunidades es estadísticamente diferente a las demás. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 40,67%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).

**4.2.5. Determinación de sodio**

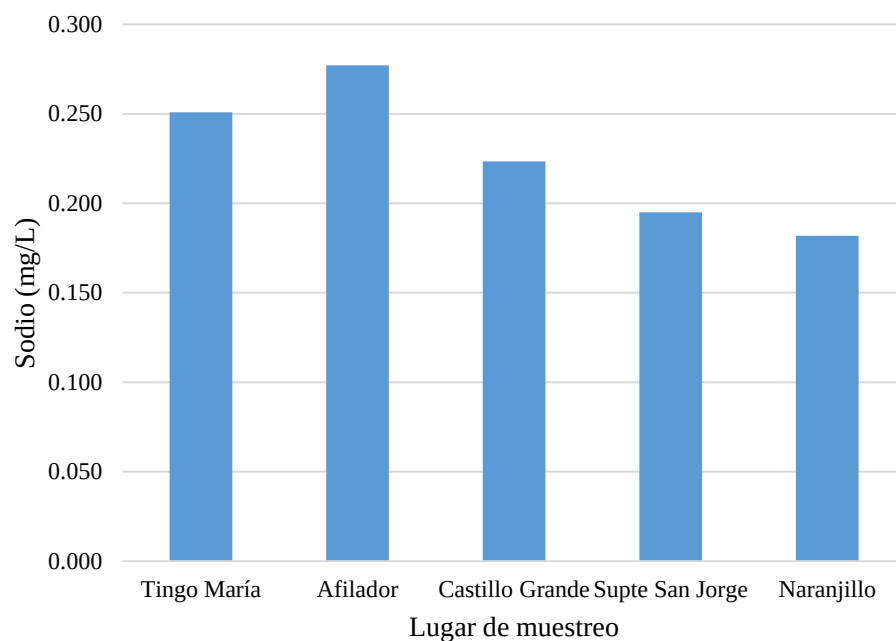
En la figura 29, se observa en el primer mes de evaluación (R1: noviembre) la mayor concentración de sodio presenta el lugar de muestreo de Afilador en la vivienda ubicada en la Carretera Central (frente al grifo). En el segundo mes de evaluación (R2: diciembre) la mayor concentración de sodio se presenta en el lugar de muestreo de Afilador en la vivienda ubicada en la Carretera Central (frente al grifo). En el tercer mes de evaluación (R3: enero) la mayor concentración de sodio se presenta en el lugar de muestreo de Supte San Jorge en la vivienda ubicada frente al Campo deportivo de Supte San Jorge.



**Figura 29.** Concentración de sodio por cada punto de muestreo.

#### 4.2.5.1. Concentración de sodio por lugar de muestreo

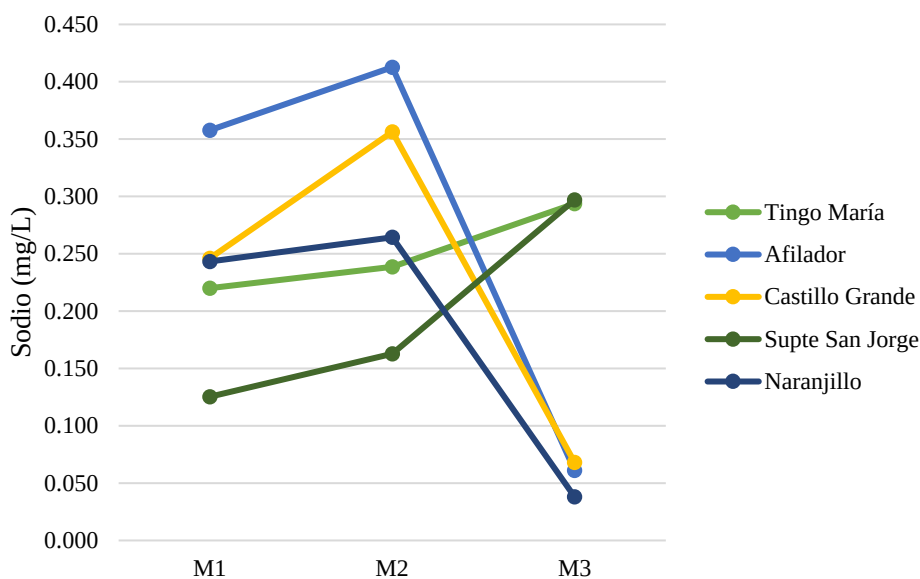
En la figura 30, muestra el promedio de la concentración de sodio respecto a los lugares de muestreo, observándose una mayor concentración de sodio en el lugar de muestreo de Afilador, seguido de Tingo María, Castillo Grande, Supte San Jorge y Naranjillo.



**Figura 30.** Concentración de sodio por lugar de muestreo.

#### 4.2.5.2. Concentración de sodio por mes de evaluación

En la figura 31, muestra el promedio de la concentración de sodio respecto a los meses de evaluación, observándose una mayor concentración de sodio en el primer mes de evaluación (R1: noviembre) y en el segundo mes de evaluación (R2: diciembre) en el lugar de muestreo de Afilador y en el tercer mes de muestreo (R3: enero) en el lugar de muestreo de Supte San Jorge.



**Figura 31.** Concentración de sodio por mes de evaluación.

#### 4.2.5.3. Análisis de variancia

En la tabla 11, muestra el análisis de variancia del promedio de la concentración de sodio de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 11.** Análisis de variancia (ANVA) del contenido de sodio (Na) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire.

| F. Variación | GL | SC     | CM      | F    | p- valor |
|--------------|----|--------|---------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0,0184 | 0,0046  | 0,78 | 0,561    |
| Error        | 10 | 0,0588 | 0,00587 |      |          |
| Total        | 14 | 0,0771 |         |      |          |

CV : 33,89 %

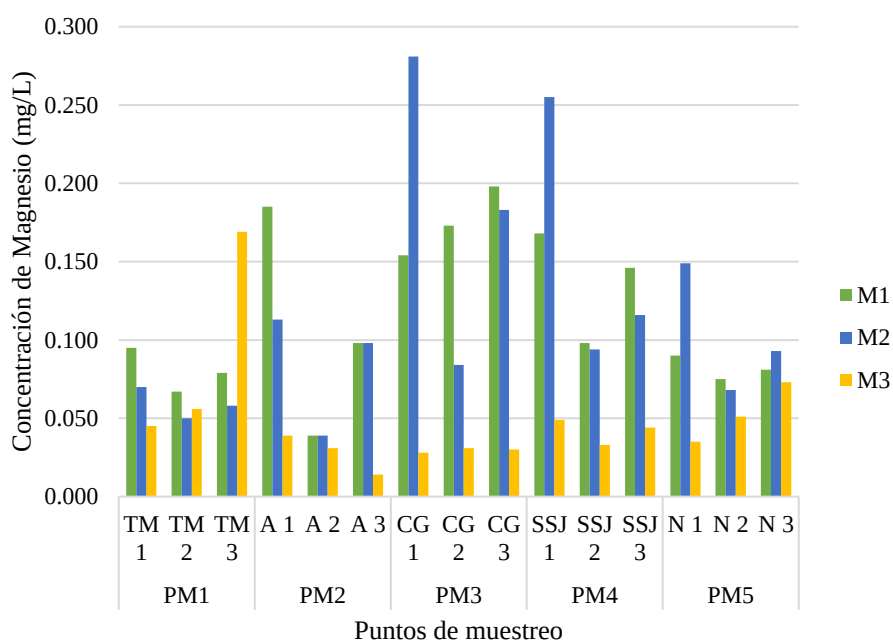
NS : No existe significación estadística

Los contenidos de sodio (Na) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire, se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de

$p = 0,561$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 30,89%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).

#### 4.2.6. Determinación de iones de Magnesio

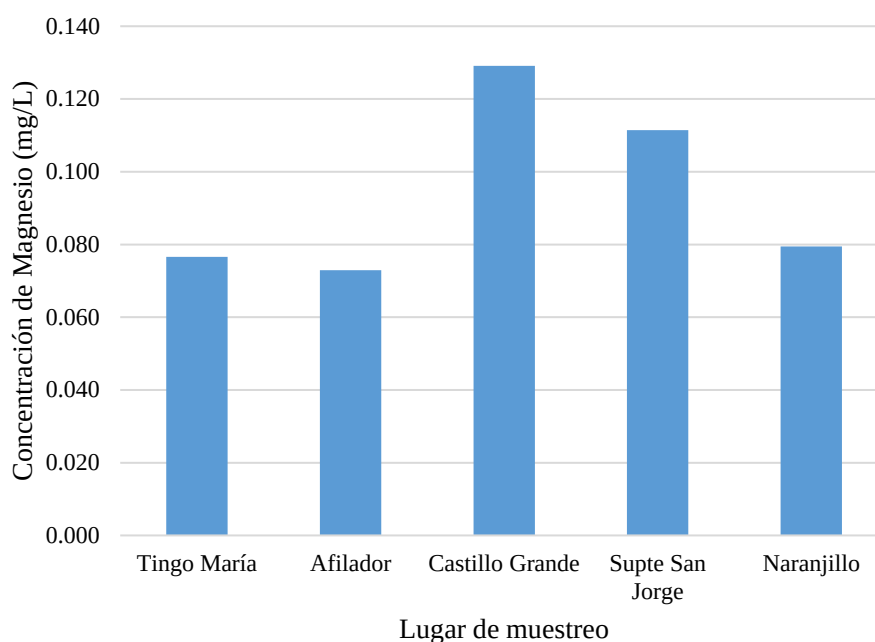
En la figura 32, se observa en el mes de evaluación (R1: noviembre) la mayor concentración de magnesio presenta el lugar de muestreo de Castillo Grande en la vivienda ubicada en el sector de Los laureles. En el segundo mes de evaluación (R2: diciembre) la mayor concentración de magnesio presenta el lugar de muestreo de Castillo Grande en la vivienda ubicada frente al recreo Rancho Grande. En el tercer mes de evaluación (R3= enero) la mayor concentración de magnesio presenta el lugar de muestreo de Tingo María en la vivienda ubicada en Pasaje las violetas N° 479.



**Figura 32.** Concentración de magnesio por cada punto de muestreo.

##### 4.2.6.1. Concentración de magnesio por lugar de muestreo

En la figura 33, muestra el promedio de la concentración de magnesio respecto a los lugares de muestreo, observándose una mayor cantidad de magnesio en Castillo Grande seguido de Supte San Jorge, Naranjillo, Tingo María y Afilador.

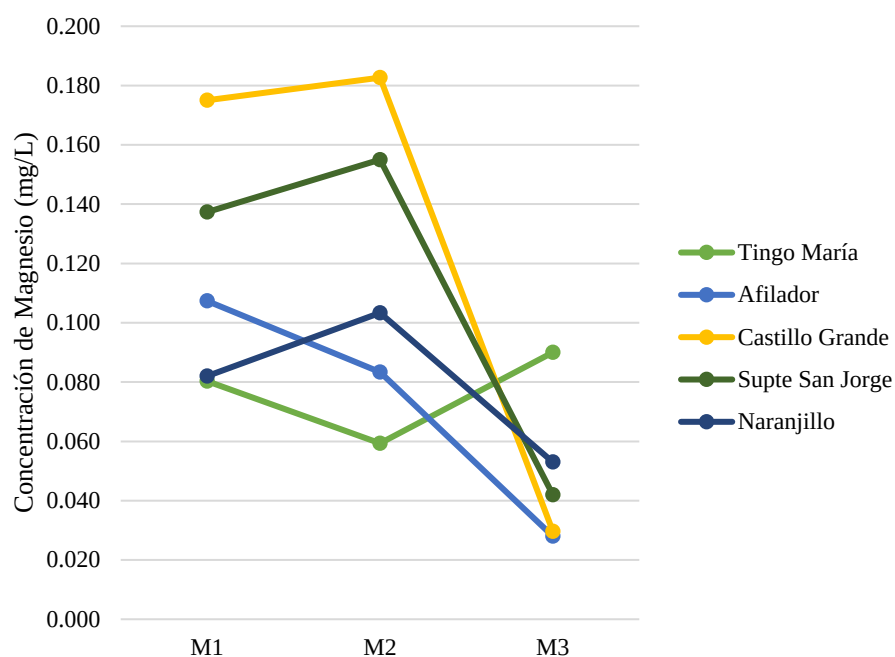


**Figura 33.** Concentración de magnesio por lugar de muestreo

#### 4.2.6.2. Concentración de magnesio por mes de evaluación

En la figura 34, muestra el promedio de la concentración de magnesio respecto a los meses de evaluación, observándose una mayor concentración de magnesio en el primer mes de evaluación (R1= noviembre) en el lugar de muestreo de Castillo Grande, en el segundo mes de evaluación (R2= diciembre) se observa un mayor promedio de concentración de magnesio en el lugar de muestreo de Castillo Grande y finalmente en el tercer mes de evaluación (R3= enero) se observa un mayor promedio de concentración de magnesio en el lugar de muestreo de Tingo María.

Livia, 2020; en su investigación encontró medias altas del ion magnesio en las zonas Afilador y Naranjillo, mientras que en las estaciones céntricas de las avenidas principales de la ciudad Av. Amazonas y Av. Raimondi cdra. 3 presentaron medias bajas, en el presente estudio de investigación se obtuvo mayor concentración de magnesio en el primer y segundo mes de evaluación en el lugar de muestreo de Castillo Grande (0,175 mg/L y 0,183 mg/L respectivamente) y la menor concentración en el primer y segundo mes de evaluación en el lugar de muestreo de Tingo María (0,080 mg/L y 0,059 mg/L), coincidiendo así con la media más baja en el lugar de muestreo de Tingo María.



**Figura 34.** Concentración de magnesio por mes de evaluación

#### 4.2.6.3. Análisis de variancia

En la tabla 12, muestra el análisis de variancia del promedio de la concentración de magnesio de los tres meses de evaluación respecto a los lugares de muestreo.

**Tabla 12.** Análisis de variancia (ANVA) del contenido de magnesio (Mg) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire.

| F. Variación | GL | SC     | CM     | F    | p- valor |
|--------------|----|--------|--------|------|----------|
| Tratamiento  | 4  | 0,0075 | 0,0019 | 1,96 | 0,177    |
| Error        | 10 | 0,0096 | 0,0009 |      |          |
| Total        | 14 | 0,0170 |        |      |          |

CV : 32,87 %

NS : No existe significación estadística

Los contenidos de magnesio (Mg) de la fracción de materia sedimentable soluble del aire, se sometieron al análisis de variancia (ANVA) según el valor de  $p = 0,177$ ; se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre comunidades. El coeficiente de variación (CV) determinado fue de 32,87%, cuyo valor es considerado muy alto dado que es mayor al 30% (Pimentel, 1985; citado por Gordón y Camargo, 2015).



### 4.3. Determinación de la dispersión de materia sedimentable total del aire

#### 4.3.1. Concentración de materia sedimentable total

En la tabla 13, se observa los resultados obtenidos de material sedimentable total de los 15 puntos de muestreo respecto a los meses de evaluación.

**Tabla 13.** Material sedimentable total (mg/cm<sup>2</sup>/mes) de los 15 puntos de muestreo.

| Puntos de muestreo | Ubicación | M1     | M2     | M3     |
|--------------------|-----------|--------|--------|--------|
| PM1                | TM 1      | 0,4752 | 0,6692 | 0,4761 |
|                    | TM 2      | 0,3410 | 0,6027 | 0,2641 |
|                    | TM 3      | 0,4686 | 0,2560 | 0,7159 |
| PM2                | A 1       | 0,5136 | 0,9143 | 0,4861 |
|                    | A 2       | 0,1844 | 0,2151 | 0,2977 |
|                    | A 3       | 0,1725 | 0,2314 | 0,1886 |
| PM3                | CG 1      | 0,6272 | 0,8724 | 0,6295 |
|                    | CG 2      | 0,2615 | 0,2900 | 0,3631 |
|                    | CG 3      | 0,2350 | 0,3781 | 0,2806 |
| PM4                | SSJ 1     | 0,5126 | 0,6178 | 0,5494 |
|                    | SSJ 2     | 0,2049 | 0,3848 | 0,1700 |
|                    | SSJ 3     | 0,2721 | 0,3143 | 0,1438 |
| PM5                | N 1       | 0,4466 | 0,4716 | 0,2546 |
|                    | N 2       | 0,3228 | 0,3914 | 0,3393 |
|                    | N 3       | 0,3770 | 0,3923 | 0,3938 |

De acuerdo con la delimitación del área de estudio, en el primer mes de evaluación (M1= noviembre) y en referencia al límite máximo permisible (LMP) 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, se obtuvo un área total de 2693,12 ha, dentro de las cuales se obtuvo un 0,28% corresponde a < 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, el 28,23% del área corresponde a = 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes y el 71,49% del área corresponde a > 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes (Ver anexo Figura 54).

Según Ruiz (2017), las posibles fuentes de contaminación de material particulado sedimentable identificadas fueron: emisiones vehiculares, polvo resuspendido, uso doméstico de combustibles y uso de desinfectantes y ambientadores. En los factores agravantes se presentó, tránsito de personas, vías sin pavimentar, inadecuada limpieza y escasa ventilación.

En el presente estudio de investigación se obtuvo una mayor área que excede el límite máximo permisible en materia sedimentable en el primer mes de evaluación y podemos asumir con el autor en mención sobre las posibles fuentes de contaminación debido a las vías sin pavimentar, emisiones vehiculares, polvo resuspendido, entre otros.

**Tabla 14.** Porcentaje del material sedimentable total del primer mes de evaluación.

| Rango        | Área (Ha) | Porcentaje (%) |
|--------------|-----------|----------------|
| < 0,50       | 7,65      | 0,28           |
| = 0,50       | 760,16    | 28,23          |
| > 0,50       | 1925,31   | 71,49          |
| <b>Total</b> | 2693,12   | 100,00         |

De acuerdo con el área de estudio, en el segundo mes de evaluación (M2= diciembre) y en referencia al límite máximo permisible (LMP) 0.50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, se obtuvo un área total de 2693.12 ha, dentro de las cuales se obtuvo un 1.33% del área corresponde a < 0.50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, el 65.50% del área corresponde a = 0.50 mg/cm<sup>2</sup>/mes y el 33.17% corresponde a > 0.50 mg/cm<sup>2</sup>/mes (Ver anexo Figura 55).

**Tabla 15.** Porcentaje del material sedimentable total del segundo mes de evaluación.

| Rango        | Área (Ha) | Porcentaje (%) |
|--------------|-----------|----------------|
| < 0,50       | 35,90     | 1,33           |
| = 0,50       | 1763,88   | 65,50          |
| > 0,50       | 893,34    | 33,17          |
| <b>Total</b> | 2693,12   | 100,00         |

De acuerdo con el área de estudio, en el tercer mes de evaluación (M3= enero) y en referencia al límite máximo permisible (LMP) 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, se obtuvo un área total de 2693,12 ha, dentro de las cuales se obtuvo un 1,57% del área corresponde a < 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, el 98,40% del área corresponde a = 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes y el 0,03% corresponde a > 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes (Ver anexo Figura 56).

**Tabla 16.** Porcentaje del material sedimentable total del tercer mes de evaluación.

| Rango  | Área (Ha) | Porcentaje (%) |
|--------|-----------|----------------|
| < 0,50 | 42,21     | 1,57           |

|              |         |        |
|--------------|---------|--------|
| = 0,50       | 2650,04 | 98,40  |
| > 0,50       | 0,88    | 0,03   |
| <b>Total</b> | 2693,12 | 100,00 |

En la tabla 17, muestra el porcentaje de materia sedimentable total por los tres meses de evaluación, donde los meses que sobrepasa el límite máximo permisible (LMP) 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, se muestra en el primer mes de evaluación (M1= noviembre), con un mayor porcentaje 71,49%, seguido se muestra el segundo mes de evaluación (M2= diciembre) con un 33,17% y por último el tercer mes de evaluación con un 0,03%.

**Tabla 17.** Porcentaje del material sedimentable total por meses de evaluación.

| <b>Rango</b> | <b>MES 1<br/>(Porcentaje %)</b> | <b>MES 2<br/>(Porcentaje %)</b> | <b>MES 3<br/>(Porcentaje %)</b> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| < 0,50       | 0,28                            | 1,33                            | 1,57                            |
| = 0,50       | 28,23                           | 65,50                           | 98,40                           |
| > 0,50       | 71,49                           | 33,17                           | 0,03                            |
| <b>Total</b> | 100,00                          | 100,00                          | 100,00                          |

Según QUISPE *et al.* (2014), determinó que existe niveles de contaminación atmosférica en la zona urbana de Tingo María y que éstas guardan una gran relación con las tasas de flujo vehicular. De acuerdo con la dispersión de materia sedimentable total el primer mes de evaluación presentó un mayor porcentaje (71,49%) de valores > 0,50 mg/cm<sup>2</sup>/mes, indicando a su vez que en ese mes de evaluación presentó altos niveles de contaminación y podemos decir que se debe a que existe una mayor tasa de flujo vehicular en las zonas de muestreo.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó la concentración de materia sedimentable soluble e insoluble en la ciudad de Tingo María y zonas periféricas, encontrándose mayor concentración de materia sedimentable soluble en el lugar de muestreo de Naranjillo ( $0,0176 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ), mientras que la materia sedimentable insoluble promedio fue mayor en el lugar de muestreo de Tingo María ( $0,4587 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ). La concentración de materia sedimentable total promedio fue mayor en el lugar de muestreo de Tingo María ( $0,4743 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ). De los 45 puntos muestreados, se observó que 11 puntos muestreados (24%) exceden el Límite Máximo Permisible establecido por la OMS ( $0,50 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ).
- Se caracterizó la materia sedimentable soluble encontrándose mayor concentración de calcio en el lugar de muestreo de Tingo María ( $0,235 \text{ mg/L}$ ), mayor concentración de potasio se obtuvo en el lugar de muestreo de Castillo Grande ( $0,100 \text{ mg/L}$ ), mayor concentración de sodio se encontró en el lugar de muestreo de Afilador ( $0,277 \text{ mg/L}$ ) y finalmente la mayor concentración de magnesio se encontró en el lugar de muestreo de Castillo Grande ( $0,129 \text{ mg/L}$ ).
- Se determinó la dispersión de materia sedimentable total del aire de los tres meses de evaluación, observándose una mayor cantidad de puntos de muestreo que exceden el LMP en el primer mes de evaluación (noviembre 2016).

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Considerar en futuras investigaciones realizar monitoreo de calidad del aire (materia sedimentable) con mayor tiempo de muestreo.
2. Ampliar las investigaciones del monitoreo en el interior de las viviendas, instituciones públicas y/o privadas, para determinar el nivel de contaminación que la población se encuentra expuesta.
3. Se recomienda al gobierno local realizar anualmente monitoreo de la calidad del aire para determinar predicciones de contaminación, y tomar medidas de prevención a favor de la salud de la población.
4. Considerar en futuras investigaciones realizar monitoreos empleando muestreadores activos, analizadores automáticos y/o sensores remotos para comparaciones de resultados.
5. Considerar futuras investigaciones empleando otros métodos de más exacta precisión, para el monitoreo de contaminantes ambientales.
6. Se recomienda al gobierno local elaborar un plan de reordenamiento territorial, considerando un terminal terrestre para los vehículos de transporte, de esta manera evitar la congestión vehicular y posible contaminación atmosférica.

## VII. REFERENCIAS

- Albert, L. A. (2011). Contaminación ambiental Origen, clases, fuentes y efectos. *México: Sociedad Mexicana de Toxicología. AC Xalapa.*
- Álvarez, R. J. (2014). Instructivo de uso del multiparamétrico WTW, modelo multi 340i y medición de muestras. Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 1, 4-17.
- Aragón P., Climent M D., Gómez M. C., Marín M. L. y Torres S. (2005). *Contaminación Atmosférica Manual de Laboratorio. Departamento de Química Universidad Politécnica de Valencia. Editorial de la UPV.*
- Bances E., Valverde M., Azabache Y. y Rodríguez B. (2003). Contaminación Atmosférica y su Impacto Ambiental en la Ciudad de Moyobamba- San Martín.
- Bermúdez, M. (2010). *Contaminación y turismo sostenible.* [https://www.academia.edu/24043633/CONTAMINACION\\_Y\\_TURISMO\\_SOSTENIBLE](https://www.academia.edu/24043633/CONTAMINACION_Y_TURISMO_SOSTENIBLE)
- Beteta, V. M. (2014). Manual de práctica: determinación de material sedimentable. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María.
- B. O. E.-Núm. 266. (1976). ORDEN de 10 de agosto de 1976 por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera.
- Calzada, J. (1985). Métodos Estadísticos Aplicados a la Investigación. Sesator.
- Castro, M. (2019). Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del Centro Poblado de Paragsha-Región Pasco, Agosto-Noviembre 2017. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1989>

- Chávez, P. (2018). Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco de agosto a octubre del 2016. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1366>
- Congreso de la República del Perú. (29 de diciembre de 1993). Constitución política del Perú. Diario Oficial el Peruano. 1-2. [https://diariooficial.elperuano.pe/pdf/0001/CONSTITUCION\\_POLITICA\\_DEL\\_PERU\\_03.pdf](https://diariooficial.elperuano.pe/pdf/0001/CONSTITUCION_POLITICA_DEL_PERU_03.pdf)
- Cortez, P. (2019). Determinación de partículas sólidas totales (PST) mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín - José Gálvez. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3469>
- De Nevers, N. (1998). Ingeniería de control de la contaminación del aire. McGraw Hill. 1, 188 - 189.
- Dirección General de Salud [DIGESA]. (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Dirección General de Salud [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf)
- Environmental Protection Agency [EPA], (2021). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Fernández, R. (2007). Metodología de evaluación de la calidad del aire. España. 403 – 437.
- Gordón, R., Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 10.
- Hazelton, P.A. y Murphy, B.W. (2007). ¿Qué significan todos los números? - Una guía para la interpretación de los resultados de los análisis de suelos. (Publicaciones CSIRO, Melbourne).
- He, K., Yang, F., Ma, Y., Zhang, Q., Yao, X. (2001). The characteristic of PM<sub>2.5</sub> IN Beijing, China. 12.
- Holdridge, L. (1987). Ecología: basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 20.

- Hurtado, B. (2018). Polvo atmosférico sedimentable y su influencia en la salud de los trabajadores de la obra: ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado de Pillco Marca – Huánuco, octubre – noviembre 2017. [Tesis de pregrado, Universidad De Huánuco]. Repositorio institucional. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/962>
- Instituto Nacional de Ecología [INE]. (2010). *Principios de la medición de la calidad del aire*. Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2019). Población estimada al 30 de junio, por años calendario y sexo, según departamentos, 2012-2015. INEI, <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Livia, K. X. (2020). *Contaminación del Aire por Partículas Atmosféricas Sedimentables en el ambiente interior de la Zona Urbana de Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1836/TS\\_KXLC\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1836/TS_KXLC_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lozano, F. (2013). *Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/182>
- Lozano, J. (2020). Senna siamea (Kassod) como barrera protectora de material particulado sedimentable, en la avenida Francisco de Orellana, las orquídeas Guayaquil. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LOZANO%20ORMAZA%20MAR%C3%8DA%20JOSE.pdf>.
- Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D. Y Valderrama, A. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la Ciudad universitaria de San Marcos – Lima. *Revista de Investigación CEDIT*, 49 - 58. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/rev\\_cedit/2008\\_V03/pdf/a06v3.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a06v3.pdf)



- Martínez, A. y Romieu, I. (1997). "Introducción al monitoreo atmosférico", Organización Mundial de la salud- Metepec, México.
- Martínez, A. (2017). Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/66256>
- Ministerio de Ambiente [MINAM]. (13 octubre, 2005). Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Diario Oficial El Peruano, <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- Ministerio de Salud [MINSA]. (20 de julio de 1997). Ley N° 26842, Ley General de Salud. Diario Oficial El Peruano. 21. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/284868/ley-general-de-salud.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (31 de octubre de 2001). Decreto Supremo N° 047- 2001-MTC, Establecen Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial. Diario Oficial El Peruano. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/377374/1\\_0\\_5207.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/377374/1_0_5207.pdf)
- Miranda, J., Merma, L. y Herrera, M. (2019). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2. 5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. Ingeniería Investiga, 1(1), 124-138. <https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.128>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). Informe nacional de la calidad del aire. San Isidro, Lima, Perú. 52.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). Parque automotor en circulación a nivel nacional, según departamentos, 2004 – 2012. INEI <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/transport-and-communications/>
- Molina, M. (2001). Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire. México.
- Municipalidad Provincial de Leoncio Prado [MPLP]. (2016). Subgerencia de transporte, tránsito y seguridad vial. Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.
- Oliva, P., García, K., Dávila, R. Y Alfaro, M. 2001. Programa de aire puro Manual de laboratorio. Suiza. INEI, <http://www.Swisscontact.gob.pe>.

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (16 abril, 2001). Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental. Diario Oficial El Peruano. [https://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/06/marcojuridico/MJ004\\_L27446.pdf](https://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/06/marcojuridico/MJ004_L27446.pdf)
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2004). *Guías para la Calidad del aire*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/guiasaire.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS], (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógenos y el dióxido de azufre. [https://www.who.int/phe/health\\_topics/AQG\\_spanish.pdf](https://www.who.int/phe/health_topics/AQG_spanish.pdf).
- Pacsi, S. (2016). Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2, 5 en Lima Metropolitana. *Anales Científicos*, 77(2), 273-283. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i2.699>
- Palacios, V. (2014). Análisis de la deposición atmosférica en el valle de Sugamuxi. *Revista ambiental agua aire y suelo*, 5(1), 273-283. [https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/458](https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/458)
- Porta, J., López, M Y Roquero, C., 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3a. ed. Madrid, España.
- Quijano, P., Quijano, V. y Henao, J. (2014). Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Revista de la facultad de ciencias básicas*, <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=71284>
- Romero, M., Diego, F. y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 2. <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v44n2/hie08206.pdf>
- Ruiz, L. (2017). *Material Particulado Sedimentable de interiores en Campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María – Perú.
- Sánchez, G (2018). *Polvo Atmosférico Sedimentables (PAS) en cinco instituciones educativas de la ciudad de Tingo María, Departamento de Huánuco- Periodo (noviembre 2017-*

febrero 2018). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María – Perú.

Saravia, C. (2020). *Contaminación de agua de lluvia y su relación con la calidad del aire por concentraciones de material particulado en la ciudad de Guatemala*. [Tesis de maestría, Universidad de San Marcos de Guatemala]. Repositorio institucional. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

Servicio Nacional de Meteorología SENAMHI. (2019). El tiempo para turistas en el Perú. SENAMHI, <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0025>

Silva J, Montoya, Z. y Durand, R. (2008). Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima Callao. Lima, Perú. 7.

Solís, Y; Zúñiga, L. A. y Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1). [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822018000100035&script=sci\\_arttext#B2](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822018000100035&script=sci_arttext#B2)

Vicente, J. (2004). Introducción a la inferencia estadística: muestreo y estimación puntual y por intervalos. 13 - 16.

Yassi, A., Kjellström, T., de Kok, T., Guidotti, T. (2002). *Salud Ambiental Básica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. [http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud\\_ambiental\\_basica.pdf](http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud_ambiental_basica.pdf)

Zapata, C., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C. Y Londoño, G. (2008). Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad de aire en el Valle de Aburra con medidores pasivos. Colombia. 11(1).

Zea, M. (2020). Alternativas de reducción de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Bogotá. <http://hdl.handle.net/10654/37301>

## **ANEXOS**

**Anexo A:** Determinación de materia sedimentable**Tabla 18.** Datos de Materia Sedimentable Insoluble (mg/cm<sup>2</sup>/mes)

| Materia Sedimentable Insoluble (mg/cm <sup>2</sup> /mes) |           |                                                          |        |        |        |          |
|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|----------|
| Puntos de muestreo                                       | Ubicación |                                                          | M1     | M2     | M3     | Promedio |
| PM1                                                      | TM 1      | Av. Raymondi cuadra 11                                   | 0,4711 | 0,6649 | 0,4669 | 0,4587   |
|                                                          | TM 2      | Av. Enrique Pimentel con Santa Cruz (esquina)            | 0,3325 | 0,5093 | 0,2546 |          |
|                                                          | TM 3      | Pasaje las Violetas # 479                                | 0,4669 | 0,2546 | 0,7074 |          |
| PM2                                                      | A 1       | Frente al grifo (carretera central)                      | 0,5093 | 0,9054 | 0,4810 | 0,3521   |
|                                                          | A 2       | Frente al Recreo Paraíso de la Bella (carretera central) | 0,1839 | 0,2122 | 0,2971 |          |
|                                                          | A 3       | Primer entrada Buenos Aires                              | 0,1698 | 0,2264 | 0,1839 |          |
| PM3                                                      | CG 1      | Entrada al Rancho Grande                                 | 0,6225 | 0,8347 | 0,6225 | 0,4213   |
|                                                          | CG 2      | Municipalidad Distrital de Castillo Grande               | 0,2546 | 0,2688 | 0,3537 |          |
|                                                          | CG 3      | Laureles                                                 | 0,2264 | 0,3678 | 0,2405 |          |
| PM4                                                      | SSJ 1     | Frente a la Plaza de armas de Supte                      | 0,4951 | 0,5800 | 0,5376 | 0,3411   |
|                                                          | SSJ 2     | Municipalidad del Centro Poblado de Supte San Jorge      | 0,1981 | 0,3678 | 0,1698 |          |
|                                                          | SSJ 3     | Detrás del Centro de salud de Supte                      | 0,2688 | 0,3112 | 0,1415 |          |
| PM5                                                      | N 1       | Carretera Fernando Belaunde Terri                        | 0,4386 | 0,4669 | 0,2264 | 0,3590   |
|                                                          | N 2       | Detrás de la Municipalidad Distrital de Naranjillo       | 0,3112 | 0,3678 | 0,3254 |          |
|                                                          | N 3       | Mapresa                                                  | 0,3678 | 0,3735 | 0,3537 |          |

**Tabla 19.** Datos de Materia Sedimentable Soluble (mg/cm<sup>2</sup>/mes)

| <b>Materia Sedimentable Soluble (mg/cm<sup>2</sup>/mes)</b> |                  |                                                          |           |           |           |                 |
|-------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| <b>Puntos de muestreo</b>                                   | <b>Ubicación</b> |                                                          | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>Promedio</b> |
| PM1                                                         | TM 1             | Av. Raymondi cuadra 11                                   | 0,0041    | 0,0042    | 0,0093    | 0,0156          |
|                                                             | TM 2             | Av. Enrique Pimentel con Santa Cruz (esquina)            | 0,0085    | 0,0934    | 0,0095    |                 |
|                                                             | TM 3             | Pasaje las Violetas # 479                                | 0,0017    | 0,0014    | 0,0085    |                 |
| PM2                                                         | A 1              | Frente al grifo (carretera central)                      | 0,0043    | 0,0088    | 0,0051    | 0,0039          |
|                                                             | A 2              | Frente al Recreo Paraiso de la Bella (carretera central) | 0,0005    | 0,0029    | 0,0007    |                 |
|                                                             | A 3              | Primer entrada Buenos Aires                              | 0,0027    | 0,0050    | 0,0047    |                 |
| PM3                                                         | CG 1             | Entrada al Rancho Grande                                 | 0,0048    | 0,0377    | 0,0071    | 0,0162          |
|                                                             | CG 2             | Municipalidad Distrital de Castillo Grande               | 0,0068    | 0,0212    | 0,0094    |                 |
|                                                             | CG 3             | Laureles                                                 | 0,0086    | 0,0103    | 0,0401    |                 |
| PM4                                                         | SSJ 1            | Frente a la Plaza de armas de Supte                      | 0,0174    | 0,0377    | 0,0118    | 0,0111          |
|                                                             | SSJ 2            | Municipalidad del Centro Poblado de Supte San Jorge      | 0,0068    | 0,0169    | 0,0002    |                 |
|                                                             | SSJ 3            | Detrás del Centro de salud de Supte                      | 0,0033    | 0,0031    | 0,0024    |                 |
| PM5                                                         | N 1              | Carretera Fernando Belaunde Terri                        | 0,0080    | 0,0047    | 0,0283    | 0,0176          |
|                                                             | N 2              | Detrás de la Municipalidad Distrital de Naranjillo       | 0,0116    | 0,0236    | 0,0139    |                 |
|                                                             | N 3              | Mapresa                                                  | 0,0092    | 0,0189    | 0,0401    |                 |

**Tabla 20.** Datos de Materia Sedimentable Total (mg/cm<sup>2</sup>/mes)

| <b>Materia Sedimentable Total (mg/cm<sup>2</sup>/mes)</b> |                  |                                                          |           |           |           |                 |
|-----------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| <b>Puntos de muestreo</b>                                 | <b>Ubicación</b> |                                                          | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>Promedio</b> |
| PM1                                                       | TM 1             | Av. Raymondi cuadra 11                                   | 0,4752    | 0,6692    | 0,4761    | 0,4743          |
|                                                           | TM 2             | Av. Enrique Pimentel con Santa Cruz (esquina)            | 0,3410    | 0,6027    | 0,2641    |                 |
|                                                           | TM 3             | Pasaje las Violetas # 479                                | 0,4686    | 0,2560    | 0,7159    |                 |
| PM2                                                       | A 1              | Frente al grifo (carretera central)                      | 0,5136    | 0,9143    | 0,4861    | 0,3560          |
|                                                           | A 2              | Frente al Recreo Paraiso de la Bella (carretera central) | 0,1844    | 0,2151    | 0,2977    |                 |
|                                                           | A 3              | Primer entrada Buenos Aires                              | 0,1725    | 0,2314    | 0,1886    |                 |
| PM3                                                       | CG 1             | Entrada al Rancho Grande                                 | 0,6272    | 0,8724    | 0,6295    | 0,4375          |
|                                                           | CG 2             | Municipalidad Distrital de Castillo Grande               | 0,2615    | 0,2900    | 0,3631    |                 |
|                                                           | CG 3             | Laureles                                                 | 0,2350    | 0,3781    | 0,2806    |                 |
| PM4                                                       | SSJ 1            | Frente a la Plaza de armas de Supte                      | 0,5126    | 0,6178    | 0,5494    | 0,3522          |
|                                                           | SSJ 2            | Municipalidad del Centro Poblado de Supte San Jorge      | 0,2049    | 0,3848    | 0,1700    |                 |
|                                                           | SSJ 3            | Detrás del Centro de salud de Supte                      | 0,2721    | 0,3143    | 0,1438    |                 |
| PM5                                                       | N 1              | Carretera Fernando Belaunde Terri                        | 0,4466    | 0,4716    | 0,2546    | 0,3766          |
|                                                           | N 2              | Detrás de la Municipalidad Distrital de Naranjillo       | 0,3228    | 0,3914    | 0,3393    |                 |
|                                                           | N 3              | Mapresa                                                  | 0,3770    | 0,3923    | 0,3938    |                 |

**Tabla 21.** Datos de potencial de hidrógeno (ph)

| <b>Puntos de muestreo</b> | <b>Ubicación</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>Promedio</b> |
|---------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| <b>PM1</b>                | TM 1             | 7,18      | 6,33      | 6,32      | 6,69            |
|                           | TM 2             | 6,64      | 6,38      | 6,30      |                 |
|                           | TM 3             | 7,20      | 6,23      | 7,59      |                 |
| <b>PM2</b>                | A 1              | 6,51      | 6,24      | 6,78      | 6,56            |
|                           | A 2              | 6,65      | 6,89      | 6,50      |                 |
|                           | A 3              | 6,48      | 6,47      | 6,48      |                 |
| <b>PM3</b>                | CG 1             | 6,91      | 6,60      | 6,45      | 6,57            |
|                           | CG 2             | 6,60      | 6,47      | 6,47      |                 |
|                           | CG 3             | 6,67      | 6,53      | 6,39      |                 |
| <b>PM4</b>                | SSJ 1            | 6,68      | 6,42      | 6,46      | 6,43            |
|                           | SSJ 2            | 6,48      | 6,26      | 6,36      |                 |
|                           | SSJ 3            | 6,51      | 6,40      | 6,29      |                 |
| <b>PM5</b>                | N 1              | 7,00      | 6,22      | 6,81      | 6,69            |
|                           | N 2              | 6,94      | 6,54      | 6,42      |                 |
|                           | N 3              | 7,08      | 6,76      | 6,48      |                 |

**Tabla 22.** Datos de conductividad (uS)

| <b>Puntos de muestreo</b> | <b>Ubicación</b> | <b>M1</b> | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>Promedio</b> |
|---------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| <b>PM1</b>                | TM 1             | 175,30    | 108,90    | 157,60    | 170,98          |
|                           | TM 2             | 148,90    | 104,90    | 200,50    |                 |
|                           | TM 3             | 159,50    | 95,20     | 388,00    |                 |
| <b>PM2</b>                | A 1              | 168,60    | 99,00     | 119,40    | 92,40           |
|                           | A 2              | 67,80     | 107,70    | 99,60     |                 |
|                           | A 3              | 16,67     | 56,50     | 96,30     |                 |
| <b>PM3</b>                | CG 1             | 98,10     | 115,30    | 111,80    | 110,46          |
|                           | CG 2             | 129,80    | 95,70     | 110,20    |                 |
|                           | CG 3             | 113,40    | 111,10    | 108,70    |                 |
| <b>PM4</b>                | SSJ 1            | 128,10    | 83,00     | 124,30    | 115,38          |
|                           | SSJ 2            | 126,80    | 79,10     | 135,70    |                 |
|                           | SSJ 3            | 138,40    | 120,50    | 102,50    |                 |
| <b>PM5</b>                | N 1              | 132,00    | 97,10     | 104,70    | 138,47          |
|                           | N 2              | 176,90    | 101,70    | 90,20     |                 |
|                           | N 3              | 370,00    | 140,50    | 33,10     |                 |



**Anexo B:** Fotografías del estudio realizado



**Figura 35.** Preparación del frasco colector en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS, adicionando sulfato de cobre.



**Figura 36.** Instalación de equipo colector en punto 3 de Afilador.



**Figura 37.** Colocación del equipo colector en el punto 2 de Supte San Jorge.

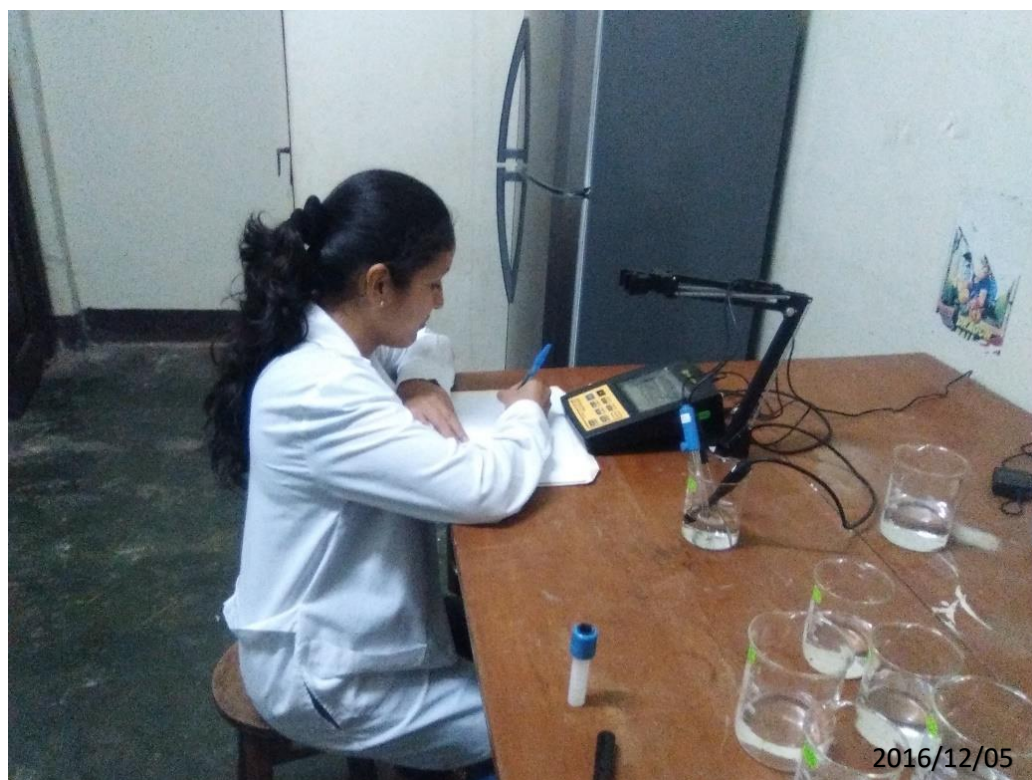


**Figura 38.** Visita periódica al equipo colector (punto 3 Afilador).





**Figura 39.** Recojo mensual del frasco colector en el punto 3 de Naranjillo.



**Figura 40.** Medición de parámetros físicos de las muestras colectadas en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



**Figura 41.** Filtrado del agua para determinar la materia sedimentable insoluble en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



**Figura 42.** Colocación del filtro a la placa Petri para secado en la estufa en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.





**Figura 43.** Pesado de la placa Petri con el filtro y el material sedimentable en el Laboratorio.



**Figura 44.** Colocación de la placa Petri en estufa a 105°C en el Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



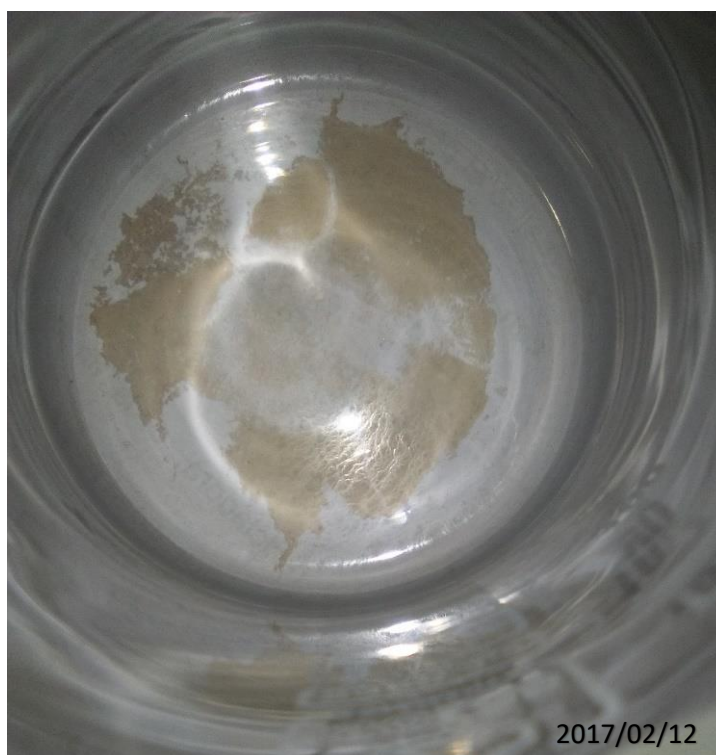
**Figura 45.** Colocación del vaso con 100ml de la muestra a la estufa para su total evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



**Figura 46.** Desecado de los vasos de precipitación conteniendo MSS, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



**Figura 47.** Pesado del vaso después de su evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.

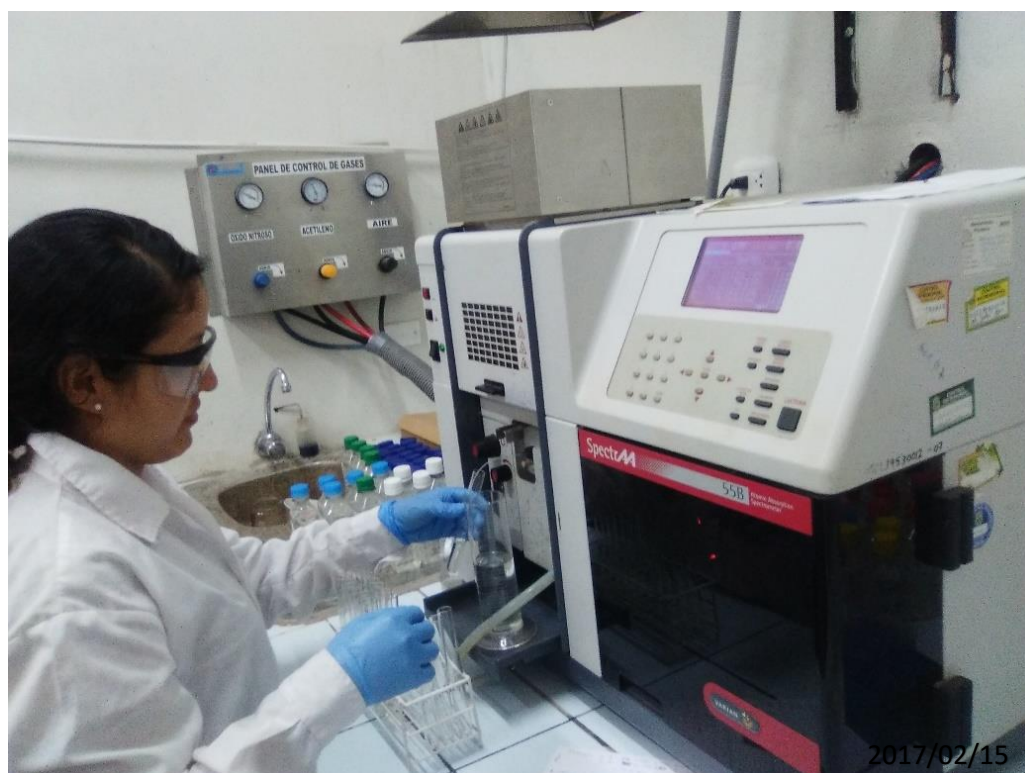


**Figura 48.** Contenido de MSS después de la evaporación, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.





**Figura 49.** Separación de muestras para caracterización fisicoquímica, Laboratorio de Tratamiento de la Contaminación Atmosféricas-UNAS.



**Figura 50.** Caracterización fisicoquímica de las muestras, Laboratorio de Análisis de Suelos-UNAS.



**Anexo C:** Resultados de la caracterización fisicoquímica



**Figura 51.** Resultados de la caracterización del primer mes de evaluación (noviembre 2016).



Figura 52. Resultados de la caracterización del segundo mes de evaluación (diciembre 2016).





Figura 53. Resultados de la caracterización del tercer mes de evaluación (enero 2017).

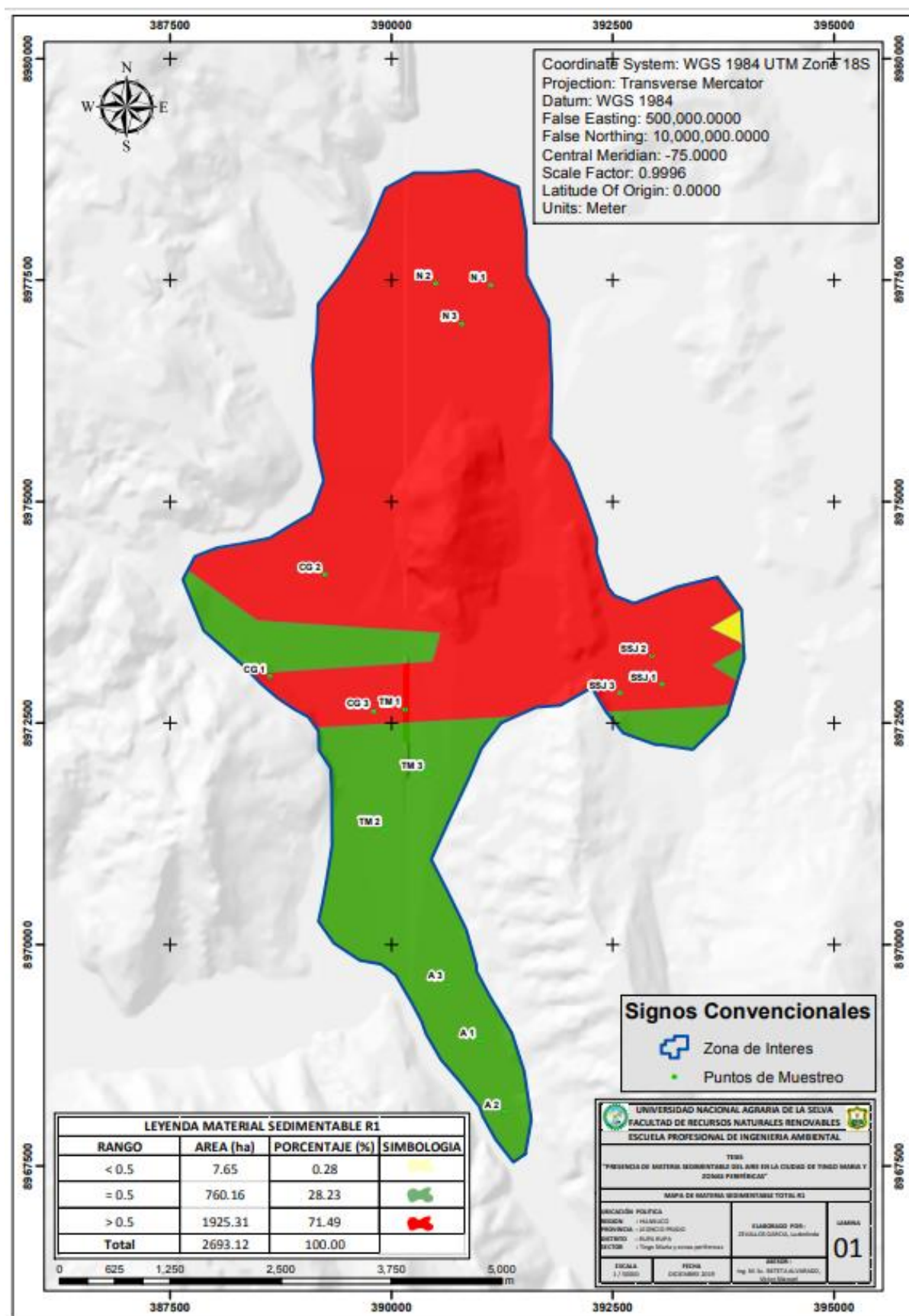


Figura 54. Mapa de dispersión de materia sedimentable total del primer mes de evaluación.

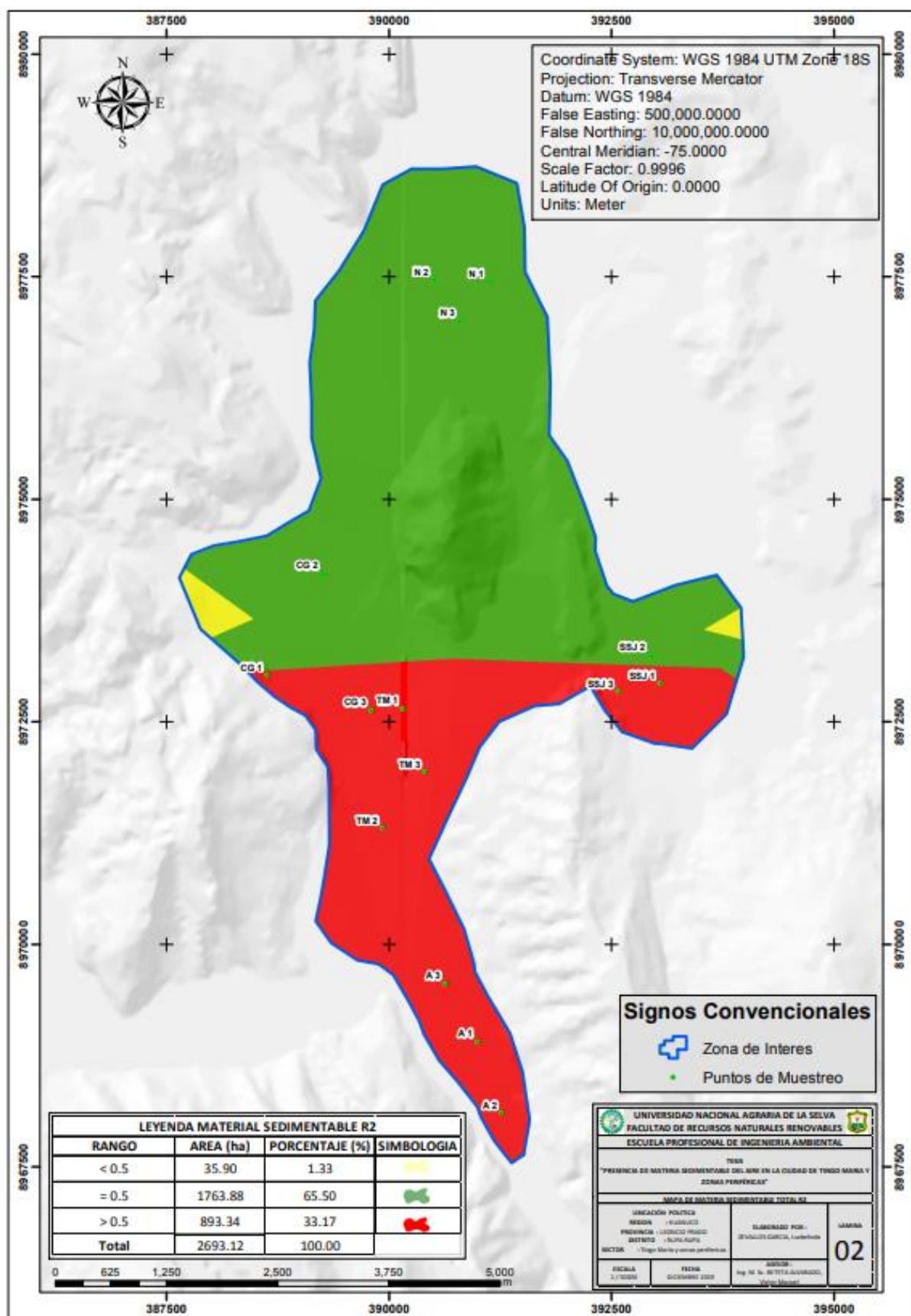


Figura 55. Mapa de dispersión de materia sedimentable total del segundo mes de evaluación.



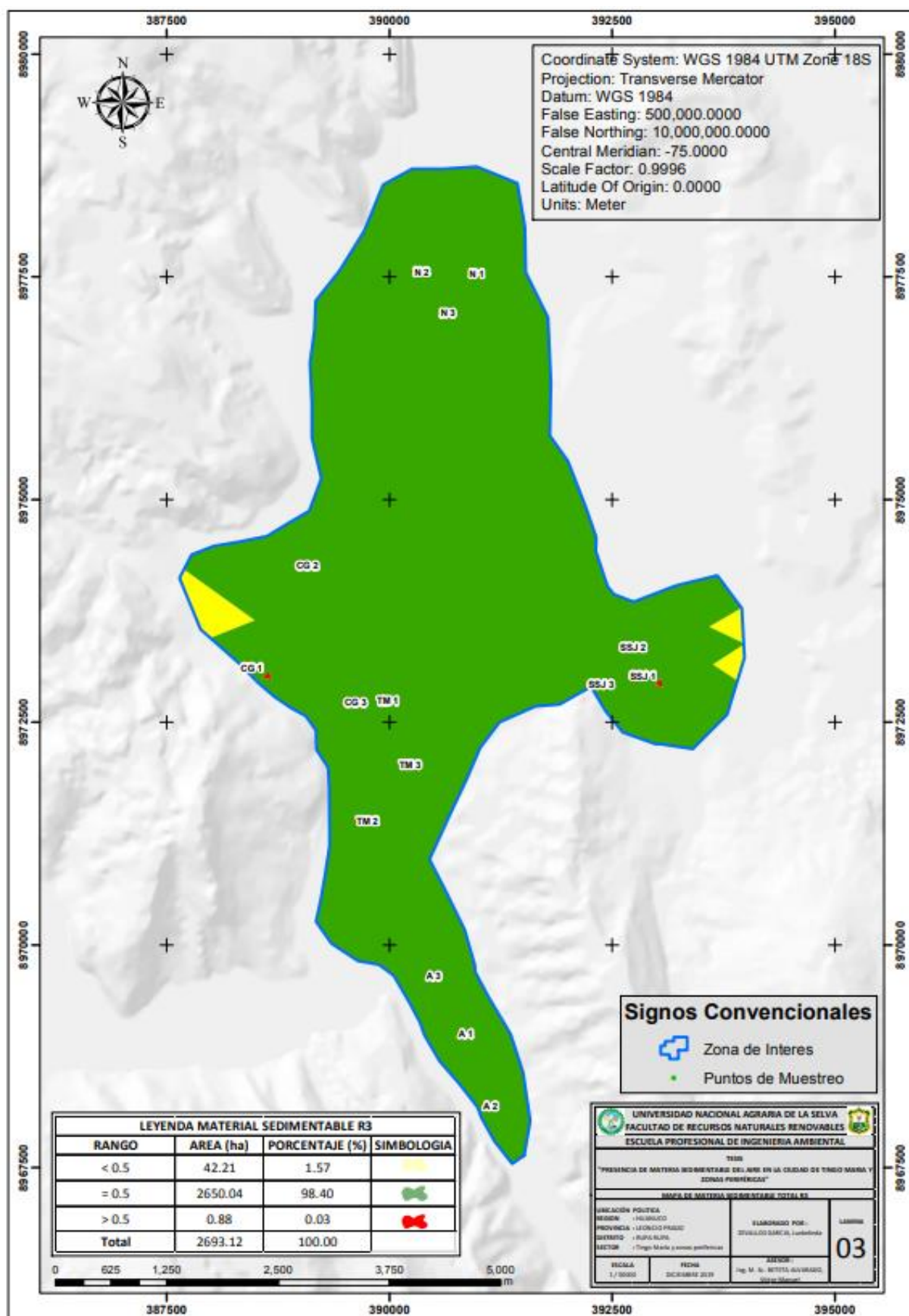


Figura 56. Mapa de dispersión de materia sedimentable total del tercer mes de evaluación.