

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE POLVO
ATMOSFERICO SEDIMENTABLE Y MATERIAL
PARTICULADO (PM_{2.5}, PM₁₀) PARA LA GESTION DE LA
CALIDAD DEL AIRE 2017 EN LA CIUDAD DE TACNA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. JEISSY LADY SHALOM MIRANDA CASAPIA

Bach. LIZBETH MERMA ARUHUANCA

TACNA – PERÚ

2017

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a la Virgen María por guiarme en cada paso que doy cuidándome y dándome fortaleza para continuar Y a mis padres por ser los pilares fundamentales en mi vida, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, Es por ellos que soy lo que soy y seguiré avanzando para lograr todas mis metas.

Jeissy Lady Shalom Miranda Casapía

A mis padres, por darme lo mejor de ellos, su cariño, paciencia, apoyo, amor incondicional, por sus ejemplos dignos de superación, porque gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera. Va por ustedes, por lo que valen y porque admiro su fortaleza.

A mi Compañera y Hermana de corazón Jeissy por su paciencia, su cariño, por aceptar este reto conmigo, por enseñarme a enfrentar cualquier obstáculo que se pueda presentar y sobre todo por brindarme su valiosa amistad.

Lizbeth Merma Aruhuanca

AGRADECIMIENTO

Los resultados de esta tesis, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de la realización y culminación de esta tesis, ya que de manera desinteresada nos han venido apoyando y haciendo posible el desarrollo de esta. Nuestros más sinceros agradecimientos a cada uno de ellos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Descripción del problema	16
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Justificación e Importancia.....	18
1.3.1. Justificación.....	18
1.3.2. Importancia	19
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
1.5. Hipótesis.....	20
1.5.1. Hipótesis de Investigación	20
1.5.2. Hipótesis Nula	21
1.5.3. Hipótesis específicas	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del estudio	21
2.1.1. Concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS).....	21
2.1.2. Valoración de la Campaña de Monitoreo Pasivo De Gases en la Ciudad de Ambato Para el Diseño del Sistema de Calidad del Aire de la Ciudad 2013 – 2014.	22
2.1.3. Plan de Acción para la mejora de la Calidad del Aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de Tacna 2016 - Análisis de Mortalidad investigado por la Dirección Ejecutiva de Epidemiología - DIRESA Tacna 2013.....	23
2.1.4. Plan de Acción para la mejora de la Calidad del Aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de Tacna 2016 - Análisis de Morbilidad investigado por la Dirección Ejecutiva de Epidemiología - DIRESA Tacna 2013.....	25
2.1.5. Concentración y composición química de partículas PM ₁₀ en el área metropolitana de Costa Rica en 2012.....	26
2.1.6. Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012.	27
2.1.7. Comparación de los Métodos De Bergerhoff y Placas Receptoras Para la Cuantificación de Polvo Atmosférico Sedimentable.....	28

2.1.8.	Contaminación del Aire por Material Particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM.	29
2.1.9.	Determinación del contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's, por sus siglas en inglés) en partículas PM _{2.5} en una zona de alto tráfico vehicular y otra con potencial exposición industrial del Área Metropolitana de Monterrey.	29
2.1.10.	Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima Callao/ Agosto – 2008.	30
2.1.11.	Calidad del Aire en el Valle de Aburrá Antioquia –Colombia.	31
2.1.12.	Relación Entre las Partículas Finas (PM _{2.5}) y Respirables (PM ₁₀) en la Ciudad De Medellín.	32
2.1.13.	Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá.	32
2.1.14.	Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM ₁₀) en la zona de Guayabal, Medellín, Colombia.	33
2.2.	Bases teóricas	34
2.2.1.	Estándar de Calidad Ambiental para el aire.	34
2.2.2.	Los Contaminantes y su Efecto Sobre la Salud.	35
2.2.3.	Contaminación Atmosférica.	36
2.2.4.	Método Automático - Microbalanza Oscilatoria.	37
2.2.5.	Método Pasivo de Muestreo de Partículas.	37
2.3.	Definición de términos	38
2.3.1.	Absorción.	38
2.3.2.	Adsorción.	38
2.3.3.	Contaminación.	39
2.3.4.	Partículas Sedimentables.	39
2.3.5.	Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS).	39
2.3.6.	Método Gravimétrico	40
2.3.7.	Monitoreo	40
2.3.8.	Estaciones de Muestreo.	40
2.3.9.	OMS.	41
2.3.10.	Estratiforme	41
2.3.11.	Estación de Monitoreo.	41
2.3.12.	Análisis de Varianza.	41
2.3.13.	Coeficiente de Curtosis (g ²).	42
2.3.14.	Coeficiente de Asimetría.	42
2.3.15.	Coeficiente de Variación.	42

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO	44
3.1. Tipo y diseño de la investigación	44
3.1.1. Tipo: Experimental	44
3.1.2. Diseño de la investigación.....	44
3.2. Población y muestra	44
3.3. Operacionalización de variables	45
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	46
3.4.1. Técnica para recolección de datos.....	46
3.4.2. Instrumento para la recolección de datos	46
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	47
CAPITULO IV: RESULTADOS	54
4.1. Identificación de Estaciones de Muestreo por Zonas	54
4.2. Resultados obtenidos del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1 – Céntrica de la Ciudad de Tacna.....	55
4.3. Resultados obtenidos del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2 – Intermedia de la Ciudad de Tacna.	58
4.4. Promedios de Resultados obtenidos de Muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables Zona 1, Zona2 – ciudad de Tacna.	61
4.5. Resultados del Cálculo de Análisis de Varianza, Coeficiente de Variación, Coeficiente de Curtosis y Coeficiente de Asimetría	63
4.5.1. Análisis de Varianza.....	63
4.5.2. Coeficiente de Variación.....	66
4.5.4. Coeficiente de Asimetría.....	68
4.6. Resultados de Material Particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10}	68
4.6.1. Identificación de la Red de Estaciones de monitoreo para Material Particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).....	68
4.6.2. Fuentes de Generación de Material Particulado	69
4.6.3. Partículas en suspensión ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en el medio atmosférico.....	70
4.7. Rosa de Vientos en la Ciudad de Tacna.....	97
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	100
5.1. CONCLUSIONES.....	101
5.2. RECOMENDACIONES.....	103
REFERECIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 01: Cuantificación de Morbilidad 2013.....	26
Tabla Nº 02: Estándares de Calidad del aire (D.S, Nº 003-2017-MINAM).....	35
Tabla Nº 03: Sustancias Contaminantes y Efectos Sobre la Salud.....	36
Tabla Nº 04: Operacionalización de variables	45
Tabla Nº 05: Tiempo de muestreo por zona.	49
Tabla Nº 06: Ubicación de puntos de monitoreo PM _{2.5} y PM ₁₀	51
Tabla Nº 07: Estaciones de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables por Zonas.	54
Tabla Nº 08: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1 del centro de la ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.	55
Tabla Nº 09: Resultados de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2 – zona intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.	58
Tabla Nº 10: Resultados Promedios de Muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables de la Zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.....	62
Tabla Nº 11: Análisis de Varianza de Zonas Establecidas.....	63
Tabla Nº 12: Análisis de Varianza de Zonas Establecidas.....	64
Tabla Nº 13: Resultados Análisis de Varianza.....	65
Tabla Nº 14: Red de estaciones de monitoreo.	69
Tabla Nº 15: Fuentes de generación de Material Particulado.	69
Tabla Nº 16: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM _{2.5} en la Estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), desde las 12:00 p.m. del día 18 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 19 de julio de 2017.	71
Tabla Nº 17: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM ₁₀ en la Estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), desde las 12:00 p.m. del día 18 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 19 de julio de 2017.	74
Tabla Nº 18: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM _{2.5} en la Estación de monitoreo del Centro de Post Grado UNJBG (E7), desde las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 hasta las 11:00 p.m. del día 23 de julio de 2017.	79
Tabla Nº 19: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM ₁₀ en la Estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), desde las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 23 de julio de 2017.	82
Tabla Nº 20: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM _{2.5} en la Estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna frente del SERPOST (E8), desde las 12:00 p.m. del día 14 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 15 de julio de 2017.	87
Tabla Nº 21: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM ₁₀ en la Estación de monitoreo en el Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8), desde las 12:00 p.m. del día 14 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 15 de julio de 2017.	90
Tabla Nº 22: Resultados promedio de las concentraciones horarias, durante el periodo de 24 horas, para el análisis de material de partículas < 2.5 y 10 (µg/m ³),	

Temperatura (°C), Humedad relativa (%), Velocidad del Viento (m/s), en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8.95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico Nº 01: Mortalidad general según causas de selección (6/67) Región de Salud Tacna, 2013.....	24
Gráfico Nº 02: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1: Centro de la Ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.	56
Gráfico Nº 03: Resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1: Céntrica de la Ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.	57
Gráfico Nº 04: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2: Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.....	59
Gráfico Nº 05: Resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables Zona 2: Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.....	61
Gráfico Nº 06: Resultados promedios del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) de la Zona Centro e Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm ² /mes.....	62
Gráfico Nº 07: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	72
Gráfico Nº 08: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y el de la OMS.	73
Gráfico Nº 09: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	75
Gráfico Nº 10: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS.	76
Gráfico Nº 11: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).	77
Gráfico Nº 12: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).....	77
Gráfico Nº 13: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).....	78
Gráfico Nº 14: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	80
Gráfico Nº 15: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y los valores guía de la OMS.....	81
Gráfico Nº 16: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	83

Gráfico N° 17: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS.	84
Gráfico N° 18: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).	85
Gráfico N° 19: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).	85
Gráfico N° 20: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).	86
Gráfico N° 21: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	88
Gráfico N° 22: Monitoreo de partículas PM _{2.5} durante 24 horas en el Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y los valores guía de la OMS.	89
Gráfico N° 23: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.	91
Gráfico N° 24: Monitoreo de partículas PM ₁₀ durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS Monitoreo del PM ₁₀ de 24 horas en Gran Hotel Tacna.	92
Gráfico N° 25: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).	93
Gráfico N° 26: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).	93
Gráfico N° 27: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).	94
Gráfico N° 28: Resultados promedios de las concentraciones de partículas PM _{2.5} , durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 Vs ECA para el aire.	96
Gráfico N° 29: Resultados promedios de las concentraciones de partículas PM ₁₀ , durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 Vs ECA para el aire.	97
Gráfico N° 30: Rosa de Vientos obtenida de la estación meteorológica Jorge Basadre, para el periodo Febrero – Mayo 2017.	98
Gráfico N° 31: Mapa de Rosa de Viento y Estaciones de muestreo para el PAS y Monitoreo de PM _{2.5} y PM ₁₀ por el método pasivo en la ciudad de Tacna.	99

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01. Matriz De consistencia.....	107
ANEXO 02 . Fichas de muestreo PAS.	108
ANEXO 03. Panel Fotográfico.	116
ANEXO 04. Mapa de Resultados.....	125

RESUMEN

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999), que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas.

La ciudad de Tacna no es ajena a la exposición de los agentes contaminantes como las partículas sedimentables que se generan debido a las condiciones atmosféricas estables, al crecimiento urbano, el incremento del tráfico vehicular, la expansión urbana, las calles no pavimentadas, el desarrollo de actividades de producción que no utilizan las energías renovables como fuentes de energía, la falta de una aplicación efectiva de la zonificación ecológica y económica para ubicar a las diferentes industrias que se encuentran en las proximidades de la zona urbana, entre otros aspectos, generan este gran problema de contaminación del aire.

Mediante el presente trabajo de investigación que se realizó en la ciudad de Tacna desde el mes Febrero al mes de Julio del 2017, se logró determinar la concentración de polvo atmosférico sedimentable en nuestra ciudad, para lo cual se establecieron 08 estaciones de muestreo donde se aplicó la metodología de Muestreo Pasivo, que consistió en la colocación de placas de vidrio ubicados en el nivel superior de las viviendas y/o instituciones, por un periodo de 04 meses y en ese tiempo se recopiló la información cada 30 días calendarios. Para la ubicación de las estaciones a muestrear se tuvo en cuenta el tipo de vía, densidad poblacional y tráfico; logrando determinar con ello 08 zonas de muestreo localizadas en la zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna, tomando como referencia el paseo cívico de la ciudad. Los resultados obtenidos del muestreo de partículas sedimentables indican un valor promedio final de 1.07 mg/cm²/mes en todas las estaciones de muestreo, el cual se encuentra en el orden de 0.57 mg/cm²/mes por encima de los valores guía para partículas atmosféricas sedimentables de la Organización Mundial de la Salud - OMS, fijado en 0.50 mg/cm²/mes.

De acuerdo a los resultados obtenidos se logró determinar 3 puntos con mayor grado de significancia, en los cuales se monitoreó el $PM_{2.5}$ y PM_{10} con la estación móvil donde se aplicó la metodología de Monitoreo Automático.

PALABRAS CLAVES *Muestreo, monitoreo, calidad de aire, material particulado*

ABSTRACT

The particulate material is one of the most studied atmospheric pollutants in the world, this is defined as the set of solid and / or liquid particles (with the exception of pure water) present in suspension in the atmosphere (Mészáros, 1999), which originate from a wide variety of natural or anthropogenic sources and have a wide range of morphological, physical, chemical and thermodynamic properties.

The city of Tacna is no stranger to the exposure of pollutants such as sedimentary particles that are generated due to stable atmospheric conditions, urban growth, increased vehicular traffic, urban expansion, unpaved streets, the development of production activities that do not use renewable energies as sources of energy, the lack of an effective application of ecological and economic zoning to locate the different industries that are in the vicinity of the urban area, among other aspects, generate this great problem of air pollution.

Through this research work that was conducted in the city of Tacna from February to July of 2017, it was possible to determine the concentration of atmospheric dust sedimentable in our city, for which 08 monitoring stations were established where it was applied the methodology of passive sampling, which consisted of the placement of glass plates located in the upper level of the houses and / or institutions, for a period of 04 months and in that time the information was collected every 30 calendar days. For the location of the stations to be sampled, the type of road, population density and traffic were taken into account; achieving with it 08 sampling zones located in the Central and Intermediate zone of the city of Tacna, taking as reference the civic walk of the city. The results obtained from the sampling of sedimentary particles indicate a final average value of $1.07 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{month}$ in all the sampling stations, which is in the order of $0.57 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{month}$ above the guide values for Sedimentable Particles of the World Health Organization - WHO, set at $0.50 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{month}$.

According to the results obtained, it was possible to determine 3 points with a greater degree of significance, in which the $PM_{2.5}$ and PM_{10} were monitored with the mobile station where the Automatic Sampling methodology was applied.

KEY WORDS *Sampling, monitoring, air quality, particulate material*

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna presenta un elevado potencial de desarrollo, concentra cerca de 321 mil 351 habitantes, 40 mil vehículos y 17 mil 339 empresas con actividades de comercio, en la base de un área urbana que se extiende sobre una superficie de 16 mil 075 Kilómetros² (INEI, 2016).

Una expansión urbana sin planeación, el crecimiento demográfico, el gran número de fuentes de contaminación como el uso de combustibles fósiles tanto para el transporte como la industria que generan el Material Particulado, además un acelerado proceso de erosión de los suelos, han provocado un deterioro ambiental de considerable magnitud y en la ciudad de Tacna estos problemas se vienen agudizando; sin embargo, en los modelos de desarrollo económico y en las políticas de acelerado crecimiento, fomentado desde hace dos décadas, no se consideraron los costos sociales que implicaría su ejecución.

El Material Particulado (MP) es una mezcla compleja de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Billet et al., 2007).

Debido a que son de tamaño, forma y composición variada para su identificación, se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. De acuerdo a esto, pueden ser clasificadas como finas y gruesas (García, 2002; Bell et al., 2004).

Los escenarios futuros en materia de calidad de aire para la ciudad de Tacna, siguen siendo complicados e inciertos debido a la creciente demanda y consumo de combustible, al constante aumento en el parque automotor, a la falta de control adecuado en el manejo del transporte público y a la expansión urbana.

Un instrumento estratégico de gestión ambiental que monitoree la calidad del aire, es la evaluación de concentración de Material Particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), que se encuentra establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Aire de la legislación peruana y las partículas atmosféricas sedimentables que se encuentra referenciado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

De esta manera, el presente estudio busca evaluar la concentración de partículas atmosféricas sedimentables y material particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10}) en diferentes lugares de la zona urbana de Tacna con flujo vehicular y comercial a fin de conocer su variación respecto de las normas que exige el Organismo Mundial de Salud (OMS) y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el aire.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La exigencia de un aire limpio y puro proviene del público en general ante su creciente preocupación por los problemas de contaminación atmosférica originados como consecuencia de la evolución de la tecnología moderna y la previsión de que cada vez mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera alteren el equilibrio natural existente entre los distintos ecosistemas, afecten la salud de los humanos y a los bienes materiales o incluso, provoquen cambios catastróficos en el clima terrestre.

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de autodepuración, aunque todavía no es muy conocida, también parece tener sus límites. La emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en cantidades crecientes como consecuencia de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria, han provocado ya concentraciones de estas sustancias a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire atentan contra la salud de los seres humanos.

Actualmente vivimos épocas de crecimiento en la cual, la actividad del hombre ha provocado una serie de efectos negativos en el mundo, actividades que han dado un gran apoyo al desarrollo industrial, agrario, económico, etc., pero también, ha sido uno de los factores preponderantes en el avance de la contaminación de la atmósfera del planeta en sus diversas formas. El proceso de urbanización también origina grandes transformaciones en el medio ambiente, el deterioro de la calidad del aire en las grandes ciudades, principalmente a causa del parque automotor que es un problema mundial que se incrementa con el crecimiento de la población.

Entre los contaminantes del aire urbano, el material particulado en suspensión es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados e importantes en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas. Las partículas pueden ser emitidas al aire de forma directa cuando provienen de fuentes como los procesos de combustión o el polvo arrastrado por el viento; una de las fuentes de generación de partículas en las ciudades es el tráfico, actividades que generan combustión dentro de su proceso, calles sin pavimento, construcciones, etc.

Estas partículas causan efectos negativos sobre la salud a nivel de aparato respiratorio y el sistema cardiovascular. A su vez la presencia de este contaminante ocasiona variedad de impactos en el ambiente ya sea en la vegetación, materiales y al hombre, entre ellos, la reducción de la visibilidad, con el aumento de la dispersión y/o de la absorción de la radiación solar afectando la radiación de onda corta y con el aumento del número de núcleos de condensación en la atmósfera. También, existen evidencias de los daños originados por el depósito de material particulado sobre edificios y monumentos.

Debido a dicha contaminación atmosférica que se presenta principalmente en las ciudades, se hace necesario generar políticas y proyectos de mejoramiento de la calidad de aire para proteger la salud de sus habitantes. (Cesar Augusto, Universidad de Caldas. 2012)

1.2. Formulación del problema

La ciudad de Tacna presenta gran diversidad de actividades económicas como industriales, turísticas y de servicios que, en conjunto con su gran densidad poblacional así como las condiciones geográficas y climáticas de la zona, han generado un impacto negativo directo sobre las condiciones de la calidad del aire del lugar y viene siendo afectada por el smog contaminante del parque automotor producto de la mala calidad del combustible que consumen y por su antigüedad, otro problema que se suma a este, es que además cuenta con una atmósfera¹ estable que hace de esta situación un problema alarmante.

Dada la magnitud del problema, el primer paso es el de monitorear distintos puntos dispersos en la ciudad, para conocer cuál es la calidad del aire, para ello se utilizan diversos procedimientos o métodos como son el método automático y el método pasivo.

¹ Boletín Meteorológico, Dirección Zonal 07 – SENAMHI 2017

1.3. Justificación e Importancia

Actualmente la contaminación atmosférica es un problema global del cual la ciudad de Tacna no se ve ajena, por este motivo la importancia del presente estudio es contribuir a las investigaciones sobre monitoreo y control de calidad ambiental para aire, con el fin de contar con información primaria que permita detectar en el futuro si se producen cambios en los niveles de contaminación del aire por Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) que supere el estándar de calidad ambiental para aire en aplicación de normativa legal vigente.

Previo a ese estudio, se realizará un mapeo de estaciones de muestreo en área de estudio de la ciudad de Tacna donde se aplicará la metodología pasiva de Placas Receptoras, a fin determinar puntos críticos de concentración de macropartículas como son las “Partículas Atmosféricas Sedimentables”(PAS).

La investigación se justifica porque nos permite realizar una propuesta de estaciones fijas de control y monitoreo de calidad de aire, para generar un diagnóstico de la situación actual que pueda ser utilizado en la toma de decisiones para la gestión del recurso aire con la finalidad de prevenir la contaminación del aire urbano, contribuyendo de esta forma con el cuidado del ambiente.

1.3.1. Justificación

- **Ambiental:** El Polvo Atmosférico Sedimentable y material particulado en Tacna, supera los valores guía y estándares de calidad ambiental establecidos por Organización Mundial de la Salud (OMS) y por el Ministerio del Ambiente del Perú respectivamente, situación que tiene alta probabilidad en provocar serios impactos ambientales y sobre todo en la salud de la población tacneña.
- **Social:** Afecta seriamente a la salud de la población, en este sentido la población es vulnerada en sus derechos a gozar de un ambiente sano para desarrollarse y tener calidad de vida, por otra parte se ha incrementado infecciones respiratoria agudas y restos de enfermedades del sistema respiratorio (enfermedades broncopulmonares y cardiovasculares).
- **Economía:** Los impactos económicos afectan seriamente tanto a la Población como al Estado Peruano, ya que los hospitales no se

abastecen para atender adecuadamente a la población enferma, los trabajadores pierden horas de trabajo, los empleadores horas/hombre, la dinámica de producción se reduce, en su gran mayoría, los afectados pagan su propio tratamiento médico y su calidad de vida es afectada y el desarrollo sostenible del Estado se contrae.

1.3.2. Importancia

La importancia de la investigación radica principalmente en las siguientes causas:

- No se respetan los valores guía de la OMS y ECA para aire en la nación.
- Crisis ecológica, también se le conoce como crisis medioambiental, es cuando la población sufre cambios que desestabilizan la calidad de vida por la presencia en aumento del polvo atmosférico sedimentable (Ejemplo: Problemas respiratorio).
- Afecta a la salud de la población, desgraciadamente los más vulnerables son los niños, pues las enfermedades relacionadas al sistema respiratorio seguiría en aumento y reduce la calidad de vida de la población.
- El desarrollo humano se vería afectado en la ciudad de Tacna generando un impacto socio económico.
- El incremento de Polvo Atmosférico Sedimentable, el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} , es un factor limitante para alcanzar el desarrollo sostenible en la ciudad de Tacna.
- Otros no menos importantes, como la necesidad de un cambio ideológico, concientización de las autoridades competentes y también de la población para que estén comprometidas con la dimensión del problema.
- Este estudio permitirá a las instituciones encargadas, como son el Gobierno Regional y la Municipalidad Provincial de Tacna, optar por una metodología económica, para determinar puntos de muestreo en una red de monitoreo de calidad de aire, basado en un muestreo pasivo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) mediante el método de Placas Receptoras y su relación con el material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} , en la ciudad de Tacna, para el periodo de febrero a julio de 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable utilizando el método de Placas Receptoras en puntos de muestreo ubicados estratégicamente en la zona urbana de la ciudad de Tacna.
- Identificar puntos críticos de contaminación de PAS que superan los valores guía establecidos por la OMS, para realizar monitoreo del $PM_{2.5}$ y PM_{10} aplicando metodología activa.
- Proponer estaciones de monitoreo de control de contaminación atmosférica en la ciudad de Tacna para determinar una red de monitoreo de calidad de aire de Tacna, según los resultados obtenidos de la aplicación del método de Placas Receptoras y uso estación móvil ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis de Investigación

- Hi1: La evaluación de concentración de partículas sedimentables atmosféricas en la ciudad de Tacna sobrepasa los valores guía recomendado por la OMS, fijado en $0.50 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$.
- Hi2: La evaluación del material particulado ($PM_{2.5}$) en la ciudad de Tacna sobrepasa el ECA para el aire, fijado en $50 \text{ } \mu\text{g/cm}^3/\text{día}$.
- Hi3: La evaluación del material particulado (PM_{10}) en la ciudad de Tacna sobrepasa el ECA para el aire, fijado en $100 \text{ } \mu\text{g/cm}^3/\text{día}$.

1.5.2. Hipótesis Nula

- Ho1: La evaluación de concentración de partículas sedimentables atmosféricas en la ciudad de Tacna no sobrepasa los valores guía de la OMS, fijado en 0.50 mg/cm²/mes.
- Ho2: La evaluación del material particulado (PM_{2.5}) en la ciudad de Tacna no sobrepasa el ECA para el aire, fijado en 50 µg/cm³/día
- Ho3: La evaluación del material particulado (PM₁₀) en la ciudad de Tacna no sobrepasa el ECA para el aire, fijado en 100 µg/cm³/día

1.5.3. Hipótesis específicas

- Existen diferencias significativas entre los resultados de concentración de PAS en los diferentes puntos de muestreo ubicados en la zona urbana de Tacna.
- Existen puntos críticos de muestreo que exceden los valores guía de la OMS.
- Existen puntos críticos de monitoreo que exceden el ECA Aire nacional.
- Los puntos de muestreo que presentan resultados de concentración de PAS significativos pueden ser incluidos en la red de monitoreo de la calidad de aire de Tacna.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS).

Según información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), durante el mes de diciembre del año 2012 en Lima Metropolitana, la concentración promedio de Polvo Atmosférico Sedimentable – PAS ($\Phi < 100$ micrómetros) llegó a un promedio de 13,1 t/km² /mes, siendo inferior en 7,1% a lo registrado en similar mes del año anterior que fue 14,1 t/km² /mes y en 2,6 veces el valor considerado como tolerable por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La zona crítica con nivel máximo de concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable se produjo en Lurigancho donde alcanzó 43,1 t/km² /mes, es decir en 8,62 veces lo recomendado por la OMS. Mientras que la zona con mínima concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable fue en Jesús María donde se registró un promedio de 2,5 t/km² /mes, inferior al valor guía de la OMS.

Según núcleos principales, en el mes de diciembre 2012 el punto crítico de contaminación por polvo atmosférico se registró en el núcleo Lima Centro Este, en los distritos de El Agustino y Cercado donde llegó a 31,8 t/km² /mes, es decir, fue 6,36 veces lo recomendado por la OMS. Cifra inferior en 17,2% a lo registrado en el mes anterior; pero superior en 42,0% en relación a similar mes del año anterior. En el mes de estudio en la zona de Lima Norte en el distrito de Independencia la contaminación por polvo atmosférico alcanzó 24,5 t/km² /mes cifra que representó un aumento en 16,7% en relación al mes anterior y una disminución de 9,3% respecto a similar mes del año anterior, no obstante, este valor fue de 4,9 veces el valor guía de la OMS.

La zona de Lima Sur en el distrito de Villa María del Triunfo, el contaminante alcanzó 16,3 t/km² /mes, siendo 3,26 veces el valor guía establecido por la OMS, mientras que se incrementó en 15,6% comparado al mes anterior (noviembre 2012), pero tuvo una disminución de 16,0% al compararlo con similar mes del año anterior. En Lima Sur Este, en el distrito de Pachacámac este valor alcanzó 16,8 t/km² /mes cifra superior en 136,6% respecto al mes anterior (noviembre 2012) pero decreció en 11,1% en relación a similar mes del año anterior. Este valor equivale a 3,36 veces de lo establecido como guía por la Organización Mundial de la Salud. (SENAMHI, 2012).

2.1.2. Valoración de la Campaña de Monitoreo Pasivo De Gases en la Ciudad de Ambato Para el Diseño del Sistema de Calidad del Aire de la Ciudad 2013 – 2014.

En el presente estudio, con el objeto de que los resultados del monitoreo sirvan de base para diseñar un sistema de calidad del aire de la ciudad, se ubicaron seis estaciones de muestreo en sitios representativos de la ciudad, los parámetros ambientales

determinados fueron ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno. Por problemas técnicos en el laboratorio, no se realizó el análisis de todas las muestras colectadas durante el año, sin embargo se trabajó con el promedio aritmético de los resultados entregados y se los comparó con las concentraciones medias anuales establecidas en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, otras normas internacionales y guía de la OMS; encontrándose que todos los parámetros estaban bajo los límites establecidos, siendo el dióxido de nitrógeno el que más se acercaba a estos por lo cual, se recomendó investigar medidas necesarias para evitar que en un futuro se convierta en un problema. Se planteó continuar con el monitoreo pasivo ampliando la red a diez estaciones en las cuales también se debería realizar monitoreo de depósito para determinar el material sedimentable; además se recomendó colocar una estación de monitoreo activo/automático en la cual además de los parámetros ya monitoreados en la primera etapa, también se midan las concentraciones de monóxido de carbono, material particulado y parámetros meteorológicos (Chachapoya, 2015).

2.1.3. Plan de Acción para la mejora de la Calidad del Aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de Tacna 2016 - Análisis de Mortalidad investigado por la Dirección Ejecutiva de Epidemiología - DIRESA Tacna 2013

Según el Gráfico N°01, en la Región Tacna, en el año 2013, se registraron 1,088 defunciones, dando una tasa bruta de mortalidad (TBM) de 3.26 por 1,000 habitantes, en tanto que la provincia de Tacna experimentó, una TBM equivalente a 3.05 por 1,000 habitantes, siendo los hombres más afectados que las mujeres.

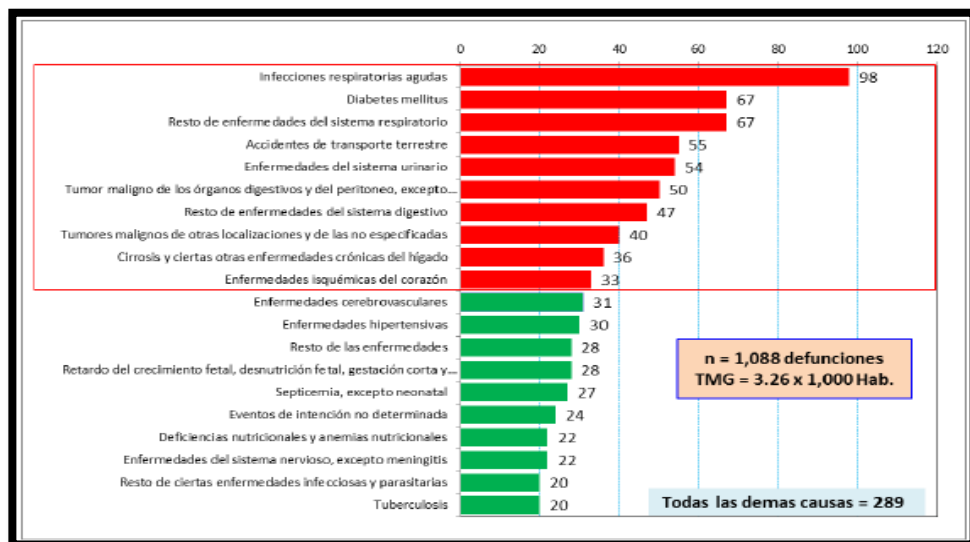
Las principales cinco causas de muerte fueron las infecciones respiratorias agudas (9.0%), diabetes mellitus (6.2%), otras enfermedades del sistema respiratorio (6.2%), accidentes de

transporte terrestre (5.1%), enfermedades del sistema urinario (5.0%), estos agrupan a cerca de la tercera parte del total.

Se resalta que la mortalidad por diabetes mellitus tiene un incremento de 45.7%, la tuberculosis disminuye porcentualmente en 45.9%, con relación al año 2012; sin embargo estos continúan siendo un problema de salud pública regional de gran impacto, no por la magnitud sino por la severidad en que se presenta la enfermedad, generando discapacidad en gran parte de la población. Llama la atención que las mujeres resultaron más afectadas (60%) que los hombres por la diabetes, mientras que en la tuberculosis, los hombres (57.4%) resultaron más afectados que las mujeres.

Las enfermedades cardiovasculares, enfermedades hipertensivas y enfermedades isquémicas del corazón son afecciones del sistema circulatorio que cada año toma mayor relevancia en la mortalidad de la población. (Ambiente, 2013).

Gráfico Nº 01: Mortalidad general según causas de selección (6/67) Región de Salud Tacna, 2013.



Fuente: Sistema de Hechos Vitales 2013 – OITE – DRST.

2.1.4. Plan de Acción para la mejora de la Calidad del Aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de Tacna 2016 - Análisis de Morbilidad investigado por la Dirección Ejecutiva de Epidemiología - DIRESA Tacna 2013.

En la investigación del año 2013 a cargo de la Dirección Ejecutiva de Epidemiología - DIRESA Tacna, se registraron 382,714 procesos mórbidos, evidenciando un incremento de 22% respecto al año 2012 (314,293).

Los tres primeros grupos de causas de morbilidad que demandaron mayor atención en los servicios de consulta externa en todos los establecimientos de salud concentran el 48.2% del total, según como se observa en la Tabla N°01, y estos fueron:

- Las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores con 20.6% (tasa de incidencia anual 236 por mil habitantes), encontrándose en este grupo como principales causas de morbilidad a: otras infecciones agudas de las vías respiratorias superiores, faringitis aguda y rinofaringitis aguda (resfrío agudo).
- El segundo grupo son las enfermedades de la cavidad bucal, glándulas salivales y maxilares con 18.3% (tasa de incidencia anual 201.4 por 1,000 habitantes), encontrándose a la caries dental como principal causa de morbilidad.
- El tercer grupo fue la obesidad y otros problemas de hiper alimentación con el 6.3% (tasa de incidencia anual 9.3 por 1,000 habitantes), constituida básicamente por problemas de obesidad. (Ambiente, 2013)

Tabla N° 01: Cuantificación de Morbilidad 2013.

N°	Morbilidad	Total	%
1	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	78,844	20.6
2	Enfermedades de la cavidad bucal, de las glándulas salivales y de los maxilares	70,118	18.3
3	Obesidad y otros de hiper alimentación	35,677	9.3
4	Otros trastornos materiales relacionados principalmente con el embarazo	15,521	4.1
5	Enfermedades infecciosas intestinales	13,538	3.5
6	Enfermedades del esófago, estómago y duodeno	11,095	2.9
7	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	10,854	2.8
8	Síntomas y signos generales	6,915	1.8
9	Dorsopatías	6,431	1.7
10	Dermatitis y eczema	6,414	1.7
	Todos los demás grupos	127,307	33.3
Total general		382,714	100

Fuente: Plan de Acción para la mejora de la Calidad del Aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de Tacna 2016.

2.1.5. Concentración y composición química de partículas PM₁₀ en el área metropolitana de Costa Rica en 2012.

En este estudio se analizaron las concentraciones de partículas PM₁₀ presentes en trece sitios del área metropolitana de Costa Rica, durante el 2012, utilizando muestreadores de aire de alto volumen. Adicionalmente, se determinaron los niveles de iones (F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄₃⁻, SO₄₂⁻), metales traza (V, Cr, Cu, Mn, Fe, Al, Pb, Ni), carbono orgánico y elemental, presentes en las partículas. Los sitios ubicados en las áreas industriales y comerciales de alto flujo vehicular presentaron concentraciones significativamente superiores (42 – 29

g/m³) a las registradas para las zonas residenciales y comerciales de bajo flujo vehicular (23 – 15 g/m³). El aporte a las partículas PM₁₀ se incrementa desde 13% - 14% en las zonas industriales y de alto flujo vehicular hasta un 28 % en la zona residencial, mientras que la contribución del aerosol marino varía entre 2.5% y 5% para los sitios de muestreo lo cual presenta un comportamiento bastante regular. Los niveles de materia orgánica y carbono elemental (OM + EC) resultaron ser máximos en HE – 01 y BE – 01, que representan entre 53% y 56% de la masa total de partículas PM₁₀. Estos resultados muestran la importancia del aporte de los procesos de combustión a la composición de las partículas finas. Los metales traza representan la contribución más pequeña para todos los sitios de monitoreo (Herrera, Rojas, Beita, Rodríguez, & Argüello, 2015).

2.1.6. Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012.

Mediante el presente trabajo de investigación que se realizó en la ciudad de Moyobamba desde el mes Octubre del 2012 al mes Enero del 2013, se logró determinar el grado de partículas sedimentables en dicha ciudad, para lo cual se establecieron 15 estaciones de muestreo donde se aplicó la metodología de Muestreo Pasivo, que consistió en la colocación de placas petri ubicados en el segundo nivel de las viviendas, por treinta (30) días durante 03 meses. Para la ubicación de las estaciones a monitorear se tuvo en cuenta el tipo de vía, densidad poblacional y tráfico; logrando determinar con ello 03 zonas de muestreo en la ciudad de Moyobamba: Centro, Intermedia y Periferia ubicando en cada zona 05 estaciones de muestreo. Los resultados obtenidos del muestreo de partículas sedimentables, dieron un valor promedio final de 0,70 mg/cm²/mes en las estaciones de muestreo, excediendo así los Estándares de Calidad Ambiental para Partículas Sedimentables en 0,20 mg/cm²/mes, establecido por la Organización Mundial de la Salud OMS, que es de 0,50 mg/cm²/mes como valor máximo.

De acuerdo a los resultados obtenidos del muestreo de las partículas sedimentables se determinó la existencia de una relación directa entre las condiciones meteorológicas y la generación de partículas sedimentables, es decir en los meses de mayor precipitación se registraron menor cantidad de partículas sedimentables en comparación con el mes de menor precipitación donde se registró mayor cantidad de partículas sedimentables. Además se aplicó el análisis de la varianza en donde se determinó que no existe diferencia significativa entre los datos obtenidos, pero que si ayudan a determinar que existe un problema de contaminación ambiental que con este proyecto se contribuirá a hacer un llamado de atención a la ciudadanía en general a favor del desarrollo sustentable y calidad de vida que todos anhelamos. (Coral, 2012)

2.1.7. Comparación de los Métodos De Bergerhoff y Placas Receptoras Para la Cuantificación de Polvo Atmosférico Sedimentable.

La presente investigación consistió en la comparación de dos métodos gravimétricos, que permiten cuantificar la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable; con el objetivo de verificar si los resultados obtenidos por cada método son similares y si pueden ser aplicables; los cuales son el Método de Bergerhoff y el Método de las Placas Receptoras, realizándose en las Instalaciones del Campus de la Universidad de El Salvador, Sede Central.

Con el empleo del método de Bergerhoff se obtuvieron en época seca, resultados que oscilan entre 1,8104 – 4,0139 mg/cm² x 30 días, y en época lluviosa valores entre 12,2401 y 20,1355 mg/cm² x 30 días sobrepasándose en ambas épocas el Límite Máximo Permisible que establece la Organización Mundial de la Salud para Polvo Atmosférico Sedimentable (0,5 mg/cm² x 30 días); mientras que con el método de Placas Receptoras se observan valores inferiores de concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable que varían entre 0,3483 y 0,7794 mg/cm² x 30 días, en época seca; y valores que en promedio oscilan

entre 0,0006 y 0,0011 mg/cm² x 30 días en época lluviosa. (Escobar & Aquino, 2012).

2.1.8. Contaminación del Aire por Material Particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM.

Este estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de material particulado en el aire en la Universidad Nacional de San Marcos de Lima Perú, mediante el método de tubos pasivos.

En el monitoreo ambiental se ubicaron 23 puntos de medición, obteniéndose los resultados siguientes: La velocidad promedio del viento en la estación meteorológica ubicada en el DAIMF fue de 3,25 m/s, la dirección del viento de N20°E. El punto de mayor concentración se encontraba ubicado en la loza deportiva de la Facultad de Química (1.45mg/cm²/mes); en el comedor provisional de estudiantes, se obtuvo en promedio 0,86mg/cm² /mes, superior al LMP en 172%; en la Avenidas Venezuela y Colonial se encontró en promedio 1,45mg/cm²/mes y 0,8mg/cm²/mes; valores superiores al LMP en 290% y 160%, respectivamente (Huatuco & Romero, 2011) .

2.1.9. Determinación del contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's, por sus siglas en inglés) en partículas PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular y otra con potencial exposición industrial del Área Metropolitana de Monterrey.

En este proyecto se monitorearon los niveles de PM_{2.5} en la zona suroeste (Santa Catarina) y el cruce de las avenidas Madero y Gonzalitos (Centro). La primera representando una zona con potencial exposición industrial y la segunda representando una zona de alto tráfico vehicular. Así mismo se cuantificaron los niveles de Naftaleno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Benzo(ghi)perileno e Indeno (1,2,3 cd) pireno en las PM_{2.5}. Se obtuvo como resultados que durante el periodo de muestreo se detectaron en ambas zonas Benzo(a) Antraceno, Criseno, Benzo(b) Fluoranteno, Benzo(k)Fluoranteno,

Benzo(a)Pireno, Benzo(ghi)Perileno, Naftaleno, Acenafteno y Antraceno. Estos últimos 3 a niveles inferiores al límite de cuantificación del método. La mayor concentración de los primeros 6 PAH's se obtuvo en los meses de invierno para la zona 1 y de otoño-invierno para la zona 2. En el mes de diciembre se registraron los niveles más elevados de PAH's en ambas zonas. Entre los factores que pueden contribuir a la elevación de PAH's se encuentran: la deficiente dispersión y limpieza de las PM_{2.5} debido a una menor velocidad del viento y la menor degradación de PAH's causada por la menor radiación solar de los meses de invierno. Estos resultados concuerdan con otros estudios en los que también se observa la abundancia de estos PAH's en las PM_{2.5}. Cabe recordar que los 6 PAH's cuantificados son los que están más asociados al desarrollo de cáncer pulmonar (Santiago, 2009).

2.1.10. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima Callao/ Agosto – 2008.

Se ha desarrollado un estudio para conocer la severidad de la contaminación atmosférica en el Centro Histórico de Lima. Se plantearon como objetivos determinar: la diferencia entre métodos de muestreo de Tubos pasivos y el de analizador de los gases; la variabilidad temporal de los contaminantes; y las relaciones entre los factores de dispersión (V, T y HR) y los contaminantes SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5}. Los resultados muestran que las concentraciones de SO₂ y NO₂ obtenidas con los tubos pasivos son menores que los obtenidos con los analizadores, las diferencias son 30% para el SO₂ y 86 % para NO₂. Las variaciones temporales horarias de contaminantes SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5} muestran concentraciones máximas bimodales, la primera ocurre entre 7 y 10 horas y la otra entre 19 y 22 horas; las concentraciones de SO₂, NO₂, CO están muy por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad del Aire (ECA) del país; sin embargo, las concentraciones de los contaminantes de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} muestran comportamiento diferentes en las horas de ocurrencia de las máximas

bimodales, las de PM_{10} llegan a superar el valor límite indicado en el ECA nacional ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el $PM_{2.5}$ al valor referencial ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la determinación de los modelos de relación entre contaminantes y factores de dispersión, se logró determinar relaciones para los 5 contaminantes; sin embargo, el proceso de validación sólo pasaron la relaciones para SO_2 , NO_2 , PM_{10} y $PM_{2.5}$, mas no el de CO ; de acuerdo a estos resultados, la concentración del SO_2 , NO_2 , PM_{10} y $PM_{2.5}$, en el Paseo de los Héroes, pueden estimarse con los modelos determinados y validados con sólo conocer el viento, temperatura y la humedad relativa . (Jeronimo Garcia V., 2008).

2.1.11. Calidad del Aire en el Valle de Aburrá Antioquia –Colombia.

Medellín y otros 9 municipios vecinos conforman un área metropolitana densamente poblada concentrada en un hábitat geográficamente estrecho y poco ventilado. Las múltiples actividades industriales y de transporte que se realizan en la ciudad arrojan a la atmósfera cantidades de contaminantes que podrían estar afectando desfavorablemente la calidad del aire que respiran sus habitantes. Analizar la calidad del aire en Medellín y su área metropolitana período 2001-2007 es uno de los objetivos de este estudio. Se explora el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en el área Metropolitana del valle de Aburrá, con base en los datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Se confirma la información con mediciones actualizadas realizadas con rigor de precisión y reproducibilidad para garantizar la calidad y consistencia de los datos. Las concentraciones de partículas en suspensión total (PST) y de partículas respirables (PM_{10}) se encontraron elevadas a niveles que exceden en 200 - 400% los límites de precaución definidos por la Organización Mundial de la Salud y la tendencia es al empeoramiento a medida que crece la densidad vehicular. También hay presencia de otros gases contaminantes en concentraciones menores. La contaminación del aire por material particulado en Medellín y su área metropolitana es alta, y ha de estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes. (Bedoya & Martínez, 2008)

2.1.12. Relación Entre las Partículas Finas (PM_{2.5}) y Respirables (PM₁₀) en la Ciudad De Medellín.

En este trabajo se presenta parte de los resultados del proyecto “Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín”, realizado por la Universidad de Medellín y la Universidad CES para la Secretaria de Salud de Medellín dentro del contrato 4700026668 de 2006. Se realizaron mediciones simultáneas de partículas finas (PM_{2.5}) y respirables (PM₁₀) durante el período de febrero a octubre de 2007 en varios sitios de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia, habitada aproximadamente por 2'250.000 personas. Los resultados del análisis muestran, en la mayoría de los casos, una correlación positiva y lineal entre los dos parámetros. La relación (PM_{2.5}/PM₁₀) promedio para los sitios o zonas bajo consideración en este estudio fue de aproximadamente 0.67, valor bastante considerable que hace pensar que probablemente se puede cumplir con la norma anual para PM₁₀, pero no para PM_{2.5}. Los resultados obtenidos identifican las partículas finas como uno de los principales problemas de contaminación en la ciudad de Medellín (Londoño & Vasco, 2008).

2.1.13. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá.

Durante la presente investigación se realizó un análisis de los registros contenidos en la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Se construyó una base de datos que fue organizada y estructurada para facilitar la validación y el análisis de la información, la cual fue utilizada para evaluar de forma cuantitativa el estado de la calidad del aire de la ciudad. Los resultados sugieren que para contaminantes como óxidos de azufre y de nitrógeno, así como para monóxido de carbono, Bogotá no presenta en la actualidad un problema significativo de contaminación del aire. Al mismo tiempo, sin embargo, las concentraciones atmosféricas de material particulado en la ciudad tienden a encontrarse muy por encima de los niveles

sugeridos por las normas de calidad del aire (Gaitán, Cancino, & Behrentz, 2007).

2.1.14. Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM₁₀) en la zona de Guayabal, Medellín, Colombia.

En este trabajo se determinaron niveles de concentración de partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM₁₀), en el aire en sector de Guayabal, Medellín, durante un período de cinco meses en el año 2000. La concentración diaria promedio de PST registrada fue de 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor inferior a la norma diaria para Colombia (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo, las concentraciones presentaron una tendencia a superar la norma anual, de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones diarias de PM₁₀, con promedio de 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no superaron ninguna vez la norma diaria de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fijada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), sin embargo, existe la tendencia a superar la norma anual (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se logró obtener 101 parejas de datos diarios de PST y PM₁₀ lo cual permitió hacer una correlación poco explorada en Colombia, con resultados de $R^2 = 0,91$. Esto permite en estudios futuros una economía importante ya que midiendo PST se puede estimar con alta confiabilidad el valor de PM₁₀. La fracción PM₁₀/PST arrojó un promedio de 0,62 indicando una participación importante de partículas respirables con respecto al total de partículas suspendidas. (Gómez, Henao, Molina, & Molina, 2003)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estándar de Calidad Ambiental para el aire.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y el Límite Máximo Permisible (LMP) son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

Los ECA son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Los Estándares de Calidad del Aire, son aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través mecanismos y plazos detallados. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios.

Recientemente, el 07 de Junio de 2017 se ha aprobado el ECA para el aire a través del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, para los parámetros que se indican en la Tabla N°02.

Tabla N° 02: Estándares de Calidad del aire (D.S, N° 003-2017-MINAM).

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ^[1]
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ^[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

^[1] o método equivalente aprobado.

^[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: MINAM

2.2.2. Los Contaminantes y su Efecto Sobre la Salud.

Es de suma importancia considerar los impactos negativos que causa la contaminación del aire en la salud de la población Tacneña, originando la ocurrencia de enfermedades, por lo que es importante un ordenamiento y la mejor disposición de las actividades urbanas para reducir los impactos negativos al medio ambiente y a la salud de la población.

En la Tabla N° 03, se presenta un listado de las sustancias contaminantes y sus efectos sobre la salud.

Tabla Nº 3: Sustancias Contaminantes y Efectos Sobre la Salud.

SUSTANCIAS CONTAMINANTES	EFFECTOS SOBRE LA SALUD
CO, CO₂	Dolores de cabeza, estrés, fatiga, problemas cardiovasculares, desmayos, etc. Deterioro en la percepción auditiva y visual.
Oxidos de nitrógeno y azufre (NOX y SOX)	Enfermedades bronquiales, irritación del tracto respiratorio, cáncer, disminución de defensas anti-inflamatorias pulmonares.
Mercurio y las dioxinas	Genera problemas en el desarrollo mental de los fetos, enfermedades ocupacionales en ciertas industrias.
Cadmio	Enfermedades en la sangre.
Polvos	Enfermedades a la vista y pulmonares.
PTS; PM₁₀, PM_{2.5}	Infección de las membranas mucosas.
Dióxido de azufre (SO₂)	Bronco constricción en asmáticos y malestar torácico.
Plomo	Deterioro del coeficiente de inteligencia en niños, efectos cardiovasculares (hipertensión)
Sulfuro de hidrógeno (H₂S)	Irritación ocular, intoxicación, edema pulmonar.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud 2011.

2.2.3. Contaminación Atmosférica.

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas (Molina, 2001).

2.2.4. Método Automático - Microbalanza Oscilatoria.

El método utilizado por el monitor automático llamado TEOM (*Tapered Element Oscillating Microbalance*), consiste en que una muestra de aire pasa a través de un filtro el cual es parte de un sistema que vibra a una frecuencia característica. El material particulado colectado sobre el filtro aumenta la masa vibrante y por lo tanto decrece la frecuencia de oscilación en forma proporcional. La toma de muestra ocurre a 50 °C de temperatura para evitar errores por efectos de la humedad.

La concentración de material particulado es calculada a partir de una ecuación que relaciona la frecuencia de vibración y la cantidad de material particulado, teniendo en cuenta el volumen de muestra de aire.

$$m = kf^2$$

Donde k es una constante determinada para un equipo, m la masa y f la frecuencia de oscilación (Ocmin, 2013).

Ventajas:

- Han sido debidamente probados
- Alto rendimiento
- Datos horarios
- Información en línea

Desventajas:

- Sofisticados
- Costosos
- Demandan alta Calificación (OEFA)

2.2.5. Método Pasivo de Muestreo de Partículas.

Este método de muestreo colecta un contaminante específico por medio de su adsorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición por un período adecuado de muestreo

(Gravimetría), que puede variar desde una hora hasta meses o inclusive un año, la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción del contaminante para ser analizado cuantitativamente. Los equipos utilizados se conocen como muestreadores pasivos que se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos o discos.

Ventajas:

- Simplicidad en la operación y bajo costo (no requiere energía eléctrica).

Desventajas:

- No desarrollados para todos los contaminantes, sólo proporcionan valores promedios con resoluciones típicas semanales o mensuales; no tienen gran exactitud (sirven solo como valor referencial), en general requieren de análisis de laboratorio (Molina, 2001).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Absorción.

Es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra, incorporándose al volumen de la segunda fase (Rodríguez, 2017).

2.3.2. Adsorción.

Es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material (Rodríguez, 2017).

2.3.3. Contaminación.

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes medibles en lugares, formas y concentraciones tales que sobrepasen los Límites Máximos Permisibles (LMP) y sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Cotrina, 2008).

2.3.4. Partículas Sedimentables.

Son todas las partículas sólidas que se encuentran en el aire y pueden sedimentarse sobre la superficie terrestre u objeto o infraestructura que lo ocupe. Y estas se generan por procesos extractivos, transporte, concentración, fundición, refinación y comercialización de la actividad minera; quema de combustibles fósiles; emisiones volcánicas; polen de la fase de floración de las plantas; fotoquímica de gases contaminantes primarios, etc. (Sandoval, 2000).

2.3.5. Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS).

Constituido por partículas contaminantes sólidas de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ($D \geq 10\mu$); tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre (gravedad), por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en general de exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas; de este grupo de partículas, las más finas son las más peligrosas ya que tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio. (Sandoval, 2000)

2.3.6. Método Gravimétrico

Método analítico cuantitativo en el cual la determinación de las sustancias, se lleva a cabo por una diferencia de pesos. Existen métodos para conocer la concentración de una muestra en solución, que llevan a cabo precipitaciones de la muestra por medio de la adición de un exceso de reactivo y otros en los que directamente se pesa el material colectado en el filtro. En este último, se determina la masa, pesando el filtro antes y después del muestreo con una balanza a temperatura y humedad relativa controladas (Korc Marcelo, 2000).

2.3.7. Monitoreo

Monitoreo significa en general observar o controlar algo. En el contexto del lugar de trabajo, el monitoreo se refiere a la vigilancia de las prácticas laborales en comparación con un conjunto establecido de estándares laborales llevada a cabo por una persona (o varias personas) con una presencia regular o frecuente en el lugar de trabajo y con acceso irrestricto a la gerencia y el personal. “Frecuente”, en este contexto, significa estar presente en el lugar de trabajo con la frecuencia suficiente para poder detectar variaciones en una conducta estándar. En el contexto de un código de prácticas laborales, monitoreo significa observar lugares de trabajo cubiertos por un código para determinar si se implementan y se cumplen con las disposiciones del código. Esto puede contrastarse con los términos “inspección” o “auditoría” que pueden describir actividades que no son necesariamente continuas o repetidas (Cotrina, 2008).

2.3.8. Estaciones de Muestreo.

Emplazamiento físico determinado para la instalación de un sistema de equipos e instrumentos de muestreo periódico y/o aperiódico o el monitoreo continuo de la calidad del aire (Korc Marcelo, 2000).

2.3.9. OMS

OMS es la sigla de la Organización Mundial de la Salud, una entidad de la Organización de las Naciones Unidas se encarga de la gestión de políticas sanitarias a escala global. Se rige por la Asamblea Mundial de la Salud. Fuente: Organización Mundial de la Salud (1999).

2.3.10. Estratiforme

Que tiene forma de estrato dispuesta horizontalmente en capas de más o menos espesor que, sinónimos de a capas, a estratos, estratificado. (Benza J. C., 1982)

2.3.11. Estación de Monitoreo.

Sitio geográfico exacto donde se realiza el muestreo de un ecosistema, en particular de su vegetación (geografía, fisionomía, composición florística). Generalmente los puntos de monitoreo son indicados en fotografías aéreas y sus coordenadas son verificadas mediante el uso de un GPS (Cotrina, 2008).

2.3.12. Análisis de Varianza

Es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas. La idea básica del análisis de varianza es comparar la variación total de un conjunto de muestras, permitiendo descomponerla en variación debida al "factor", "tratamiento" o tipo de situación estudiada, y en variación dentro de cada "factor", "tratamiento" o tipo de situación estudiada. (Benza J. C., 1982)

2.3.13. Coeficiente de Curtosis (g^2)

Analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Se definen 3 tipos de distribuciones según su grado de curtosis:

- Distribución Mesocúrtica: Presenta un grado de concentración medio alrededor de los valores centrales de la variable (el mismo que presenta una distribución normal). $g^2 = 0$ (distribución Mesocúrtica).
- Distribución Leptocúrtica: Presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable. $g^2 > 0$ (distribución Leptocúrtica).
- Distribución Platicúrtica: Presenta un reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable. $g^2 < 0$ (distribución Platicúrtica). (Benza J. C., 1982)

2.3.14. Coeficiente de Asimetría.

Se refiere a si la curva que forman los valores de la serie presenta la misma forma a la izquierda y derecha de un valor central (media aritmética).

Los resultados pueden ser los siguientes:

- $g_1 = 0$ (distribución simétrica; existe la misma concentración de valores a la derecha y a la izquierda de la media).
- $g_1 > 0$ (distribución asimétrica positiva; existe mayor concentración de valores a la derecha de la media que a su izquierda).
- $g_1 < 0$ (distribución asimétrica negativa; existe mayor concentración de valores a la izquierda de la media que a su derecha). (Benza J. C., 1982)

2.3.15. Coeficiente de Variación.

Es una medida de variación Relativa, que mide el grado de dispersión de un conjunto de datos en relación con su media. Los resultados pueden ser los siguientes:

- 26% o más (Muy heterogéneo).

- 16% a 25% (Heterogéneo).
- 11% a 15% (Homogéneo).
- 0% a 10% (Muy homogéneo).

(Benza J. C., 1982)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo: Experimental

Este tipo de investigación, se refiere a una investigación prospectiva. Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas (Rodríguez, 2005).

El presente trabajo es una investigación experimental, porque tiene como objetivo familiarizarse con un tema poco estudiado, como lo es la calidad del aire en la ciudad de Tacna. Si bien se ha realizado estudios en otras ciudades, relacionado con el tema, éstos han sido orientados sólo en el cumplimiento de la OMS, en cambio la presente investigación utilizará los parámetros de la OMS y el ECA del aire para el cumplimiento Ambiental exigido por el estado.

3.1.2. Diseño de la investigación

- Descriptiva
- Explicativo

3.2. Población y muestra

- Población: Conformado por las áreas seleccionadas dentro de la ciudad de Tacna
- Muestra: Conformado por 08 puntos de muestreo que presentan similares condiciones como tránsito vehicular, zonas comerciales y urbanas, luego se identificará los puntos de muestreo que sobrepasen los límites de la calidad del aire, establecido por la OMS, para la utilización de la estación móvil con el objetivo de evaluar la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

3.3. Operacionalización de variables

En la Tabla N° 04 se muestra la operacionalización de las variables estudiadas.

Tabla N° 04: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
VD: Concentración de Partículas Atmosféricas Sedimentables y Material Particulado PM ₁₀ PM _{2.5}	Es la alteración de la composición natural del aire como consecuencia de la entrada en suspensión, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5} ➤ Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valores guía de la OMS ➤ ECA para aire del Perú
VI: Características socioeconómicas	Es una medida total económica y sociológica combinada de la preparación laboral de una persona y de la posición económica y social individual o familiar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Recursos Sociales ➤ Recursos económicos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Actividades Socioeconómicas. ➤ Parque Automotor

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnica para recolección de datos

- Fuentes Primarias:

Se Tomará la información de los 08 puntos de muestreo, determinado y ubicado dentro de la ciudad de Tacna, que consistirá de:

- Recopilación de información de cada punto de muestreo cada 30 días calendarios por espacio de 120 días.
- Geo referencia de los puntos de muestreo.
- Determinación de la concentración de las muestras obtenidas en los puntos de muestreo, mediante técnica de pesado – diferencia de peso.
- Evaluación de los 3 puntos de muestreo que sobrepasaron los valores guía de la OMS, por 3 días, usando la estación móvil de calidad de aire (método automático).

- Fuentes Secundarias:

Está basada en información adicional que ayude a evaluar los resultados obtenidos de las mediciones; ello permitirá complementar la información primaria; las fuentes que se tomarán en cuenta son investigaciones anteriores, publicaciones, libros, folletos, revistas, periódicos, registros de instituciones y especialistas.

3.4.2. Instrumento para la recolección de datos

- GPS
- Balanza Analítica
- Cámara fotográfica digital
- Soporte metálico
- Placa de vidrio de 10 x 10
- Estación móvil para material particulado

3.5. Procesamiento y análisis de datos

El proceso de datos consistió en el trabajo de campo para las mediciones utilizando laboratorio y gabinete en base a la metodología del muestreo pasivo que determina lo siguiente:

3.5.1. Muestreo Pasivo – Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS).

Método que colecta un contaminante específico por medio de precipitación en un sustrato sólido o líquido seleccionado.

Luego de su exposición por un periodo adecuado de muestreo, éste puede variar desde horas, días, meses o un año, la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza el pesado del sustrato para ser analizado cuantitativamente.

Estos equipos se los conocen como muestreadores pasivos y se pueden presentar de diversas formas y tamaño, con formas de baldes, recipientes rectangulares, circulares o tubos.

❖ Parámetros a procesar

Parámetro considerado para la evaluación de la calidad del aire en la Ciudad de Tacna es la siguiente:

A) Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS)

• Determinación y ubicación de Puntos de Muestreos:

La ciudad de Tacna se sectorizará en 02 zonas (1 y 2), como se indica en la Tabla N° 05, de acuerdo a la dinámica socio económica, densidad y transitabilidad, el cual se detalla de la siguiente manera:

- Zona 1, parte Céntrica de la ciudad de Tacna, se determina por presentar locales comerciales cerca o alrededor del punto de muestreo.
- Zona 2, parte Intermedia de la ciudad de Tacna, se determina por presentar viviendas, locales comerciales (en esta zona también encontramos

locales comerciales) o zona residencial cerca o alrededor del punto de muestreo

Los puntos de muestreo que se determinaron son los siguientes:

- Zona 1, Céntrica: Estaciones de Muestreo 5, 6, 7, 8.
- Zona 2, Intermedia: Estaciones de Muestreo 1, 2, 3, 4.

- **Ubicación para muestreo**

- Se realizó la identificación de las placas (rotulado), de acuerdo a la denominación de los puntos de muestreo con tinta indeleble con el fin de evitar la pérdida de identificación y se consignó el peso inicial.
- Después, se colocó cada soporte metálico y fue ubicado en 08 puntos de la ciudad de Tacna, colocado en la parte alta del local (Techo o azotea), y presente condiciones de seguridad y estabilidad para luego ser retirado la muestra en 30 días; el muestreo se realizó durante 120 días.
- Las zonas donde se ubicó los puntos de muestreo cuentan con azotea o techo plano con acceso rápido y condiciones estables para la protección de la muestra y para el personal que recogió las muestras.

Tabla N° 05: Tiempo de muestreo por zona.

N°	ZONAS	RECOJO DE MUESTRA	TIEMPO TOTAL DE MUESTREO
1	Zona 1, parte céntrica de la ciudad de Tacna	30 Días	120 Días
2	Zona 2, parte intermedia de la ciudad de Tacna	30 Días	120 Días

Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de Datos para Partículas Atmosférico Sedimentable (PAS).**
 - Previo al recojo de las muestras se pesaron los sustratos que nos sirvieron como recolectores de muestras en una balanza analítica.
 - Al día 30 se procedió a recolectar las placas, cada uno en sus respectivos sobre rotulados y con su peso inicial que fue previamente registrado antes de ser colocado en el recipiente.
 - Se realizaron 04 recolecciones de muestras, cada 30 días, de los 08 puntos muestreo en el mismo día; siendo el tiempo total de muestreo de 120 días.
 - Las muestras obtenidas en los puntos de muestreo fueron herméticamente cerradas y fueron abiertos en laboratorio para ser pesados en una balanza analítica y por diferencia de peso se conoció el peso de las partículas.
 - Determinado el peso de las partículas se proyectó la concentración tomando en cuenta la superficie del recipiente utilizando la siguiente expresión matemática:

$$\text{PAS} = \text{PS} = ((\text{mg}/\text{cm}^2) \text{ Mes}) = (\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}/\text{Área}) 1 \text{ Mes}$$

B) Monitoreo Automático PM_{2.5} y PM₁₀

El monitoreo automático de partículas en suspensión en el ambiente se realiza a través de métodos gravimétricos, donde la fracción de partículas deseada es separada a un determinado flujo y posteriormente colectada en filtro previamente estabilizado por humedad.

Luego de su exposición por un periodo de muestreo, éste puede variar desde horas, días, meses o un año, la muestra se examina mediante el equipo a utilizar o laboratorio para ser analizado cuantitativamente.

Los equipos utilizados son muestreadores de alto volumen y bajo volumen por tomar medidas de las concentraciones de material particulado menor a 2.5 micrómetros y 10 micrómetros conocidas como PM_{2.5} y PM₁₀.

❖ Parámetros a monitorear

El parámetro a monitorear para las partículas en suspensión son PM_{2.5} y PM₁₀ por ser un factor clave de la repercusión a la salud humana.

Además se han considerado los siguientes parámetros ambientales y meteorológicos:

- Temperatura, Indicada por el equipo automático y de los registros tomados de la estación meteorológica automatizada THERMO SCIENTIFIC - TEOM 1405
- Dirección y velocidad del viento, registro tomado por el equipo THERMO SCIENTIFIC - TEOM 1405

- Humedad relativa, registro tomado por el equipo THERMO SCIENTIFIC - TEOM 1405

- **Determinación y ubicación de Puntos de Monitoreo**

Se ha determinado 03 puntos de monitoreo, como se muestra en la Tabla N° 06, los cuales han sido elegidos teniendo en cuenta los resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables.

La ubicación del equipo ha sido instalada en lugar abierto a distancias mayores de cuatro metros a construcciones existentes. Además la ubicación del equipo será en una superficie plana por las dimensiones de la estación.

Tabla N° 06: Ubicación de puntos de monitoreo $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

N°	Nombre de la ubicación	RECOJO DE MUESTRA	TIEMPO TOTAL DE MONITOREO
1	Centro de Salud Leoncio Prado	24 Horas	01 Día
2	Centro de Post grado UNJBG	24 Horas	01 Día
3	Gran Hotel - Serpost	24 Horas	01 Día

Fuente: Elaboración Propia.

- **Frecuencia y tiempo del monitoreo**

En la Tabla N° 06 se indica que se tomará sólo un día (24 horas).

- **Selección de equipos de monitoreo**

El equipo de monitoreo de aire automático tipo: THERMO SCIENTIFIC - TEOM 1405 del Gobierno Regional de Tacna.

- **Procedimiento de monitoreo**

- Ubicación del punto de monitoreo
- Obtención de energía eléctrica
- Traslado del equipo al punto de monitoreo
- Posicionamiento del equipo
- Establecimiento de los parámetros de funcionamiento del equipo de monitoreo: flujo de aire (en el equipo automático la lectura es directa: se selecciona 24 h en el controlador de tiempo.
- Encendido del equipo de monitoreo y revisión de su funcionamiento normal
- Toma de datos meteorológicos: Temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.
- Registro de información inicial: lectura inicial del flujo (directa o de la altura de presión, del equipo automático), fecha y hora inicial de funcionamiento.
- Lectura y registro de información final, luego de 24 horas funcionamiento del equipo
- Apagado del equipo de monitoreo, luego de 24 horas de funcionamiento del equipo.
- Retiro del equipo de monitoreo
- Cálculos de los parámetros de las partículas PM_{2.5} y PM₁₀.

- **Técnica de análisis de muestras**
 - **La concentración de partículas suspendidas PM_{2.5} y PM₁₀**, Se obtuvo con utilizando el equipo automático THERMO SCIENTIFIC - TEOM 1405.
 - **La Temperatura**, Este parámetro ha sido obtenido por medición directa de la estación meteorológica del Gobierno Regional de Tacna.
 - **Dirección y velocidad del viento**, Estos parámetros han sido obtenidos por medición directa de la estación meteorológica del Gobierno Regional de Tacna.
 - **Humedad relativa**, Este parámetro ha sido obtenido por medición directa de la estación meteorológica del Gobierno Regional de Tacna.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Identificación de Estaciones de Muestreo por Zonas

En la Tabla N° 07 se indican las estaciones de muestreo, para las Partículas Atmosféricas Sedimentables, para las zonas intermedia y céntrica de la ciudad de Tacna.

Tabla N° 07: Estaciones de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables por Zonas.

N° Estación	Nombre de la ubicación	Dirección	Coordenadas (UTM)	Zona
01	Vivienda	Calle Ordonel Vargas N°654	367145.83 E 8008546.00 S 19K	Intermedia
02	Oficina del Instituto Peruano del Deporte	Av. Enrique Quijano S/N	367125.82 E 8008656.90 S 19K	Intermedia
03	Centro de Salud Leoncio Prado	Gral. Varela N° 1250	367659.91 E 8009352.35 S 19K	Intermedia
04	Centro de Salud Leguía	Av. 200 millas S/N	364911.34 E 8005610.15 S 19K	Intermedia
05	Estación de Bomberos N° 24	Av. Dos de mayo N° 145	367340.85 E 8008013.75 S 19K	Céntrica
06	Centro de Salud Bolognesi	Av. Basadre y Forero N° 2185	369223.94 E 8009316.23 S 19K	Céntrica

07	Centro de Post grado UNJBG	Av. Bolognesi cruce con Pinto	36889.47 E 8008595.80 S 19K	Céntrica
08	SERPOST	Av. Bolognesi N° 337	367739.69 E 8007759.97 S 19K	Céntrica

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Resultados obtenidos del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1 – Céntrica de la Ciudad de Tacna.

La Tabla N° 08 muestra los resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las estaciones de muestreo E5, E6, E7 y E8, de la Zona 1 en el centro de la ciudad de Tacna.

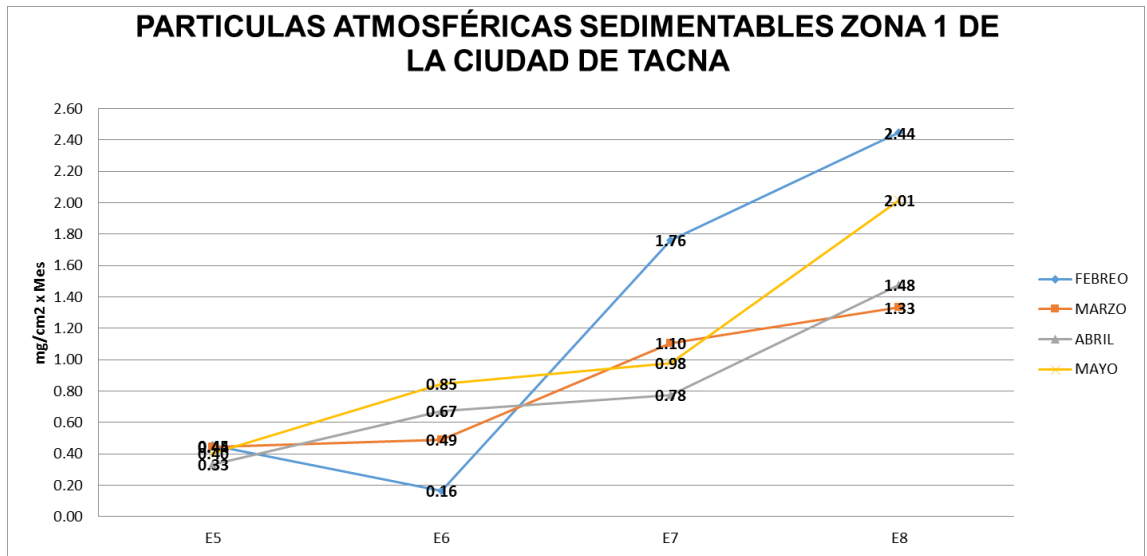
Tabla N° 08: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1 del centro de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

ZONA 1	PARTE CENTRICA DE LA CIUDAD DE TACNA				
MES/FECHA	E5	E6	E7	E8	PROMEDIO
FEBRERO	0.45	0.16	1.76	2.44	1.21
MARZO	0.44	0.49	1.10	1.33	0.84
ABRIL	0.33	0.67	0.78	1.48	0.82
MAYO	0.40	0.85	0.98	2.01	1.06
SUMATORIA	1.63	2.17	4.62	7.27	
PROMEDIO	0.41	0.54	1.16	1.82	0.98

Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico N° 02 se muestran las cuatro series de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las estaciones de muestreo E5, E6, E7 y E8, de la Zona 1 en el centro de la ciudad de Tacna.

Gráfico N° 02: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1: Centro de la Ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

Del Gráfico N° 02, se puede observar que la primera serie corresponde al primer mes de muestreo donde la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8 con un valor de 2.44 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registran en las estaciones de muestreo E6 con un valor de 0.16 mg/cm²/mes y E5 con un valor de 0.45 mg/cm²/mes, respectivamente.

Para la segunda serie, que corresponde al segundo mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8 con un valor de 1.33 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas sedimentables se registra en la estación de muestreo E5 con un valor de 0.44 mg/cm²/mes.

Para la tercera serie, que corresponde al tercer mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8 con un valor de 1.48 mg/cm²/mes y la menor

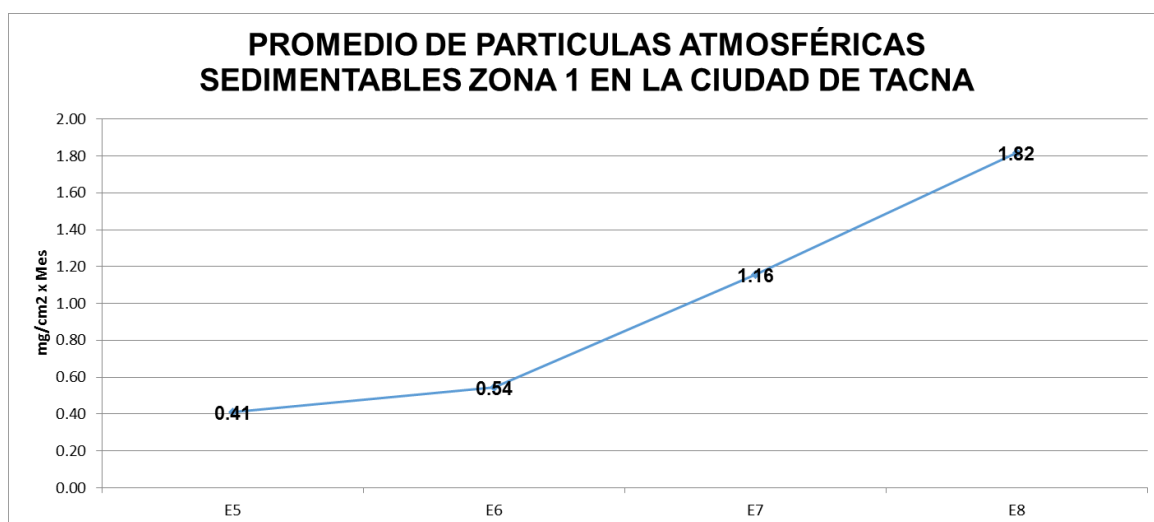
concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E5 con un valor de 0.33 mg/cm²/mes

Para la cuarta serie, que corresponde al cuarto mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8 con un valor de 2.01 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E5 con un valor de 0.40 mg/cm²/mes.

Por lo tanto, de estas 4 series se tiene que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8, ubicada en la Av. Bolognesi N° 337 en la zona céntrica de la ciudad de Tacna, y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registran en las estaciones de muestreo E5 y E6, localizadas en la zona céntrica de la ciudad de Tacna.

En el Gráfico N° 03 se muestran los resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las 4 series de muestreo de la Zona 1 en el centro de la ciudad de Tacna.

Gráfico N° 03: Resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 1: Céntrica de la Ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De los resultados promedio de partículas atmosféricas sedimentables indicados en la Tabla N° 08 y representados en el Gráfico N° 03, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E8, ubicada en la Av. Bolognesi N° 337 (SERPOST), con un valor de 1.82 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E5, ubicada en la Av. Dos de mayo N° 145 (Estación de Bomberos N° 24), con un valor de 0.41 mg/cm²/mes.

4.3. Resultados obtenidos del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2 – Intermedia de la Ciudad de Tacna.

La Tabla N° 09 muestra los resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las estaciones de muestreo E1, E2, E3 y E4, de la Zona 2 - zona intermedia de la ciudad de Tacna.

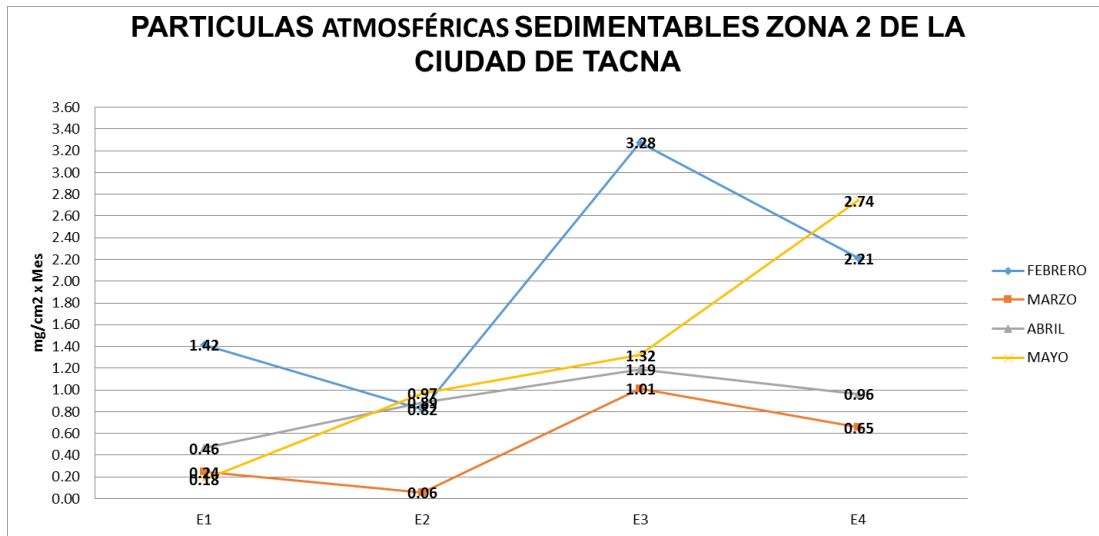
Tabla N° 09: Resultados de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2 – zona intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

ZONA 2	PARTE INTERMEDIA DE LA CIUDAD DE TACNA				
MES/FECHA	E1	E2	E3	E4	PROMEDIO
FEBRERO	1.42	0.82	3.28	2.21	1.93
MARZO	0.24	0.06	1.01	0.65	0.49
ABRIL	0.46	0.89	1.19	0.96	0.88
MAYO	0.18	0.97	1.32	2.74	1.30
SUMATORIA	2.30	2.73	6.80	6.57	
PROMEDIO	0.57	0.68	1.70	1.64	1.15

Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico N° 04 se muestran las cuatro series de muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las estaciones de muestreo E1, E2, E3 y E4, de la Zona 2 - zona intermedia de la ciudad de Tacna.

Gráfico N° 04: Resultados del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Zona 2: Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

Del Gráfico N° 04, se puede observar que la primera serie corresponde al primer mes de muestreo donde la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E3 con un valor de 3.28 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E2 con un valor de 0.82 mg/cm²/mes.

Para la segunda serie, que corresponde al segundo mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E3 con un valor de 1.01 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E2 con un valor de 0.06 mg/cm²/mes.

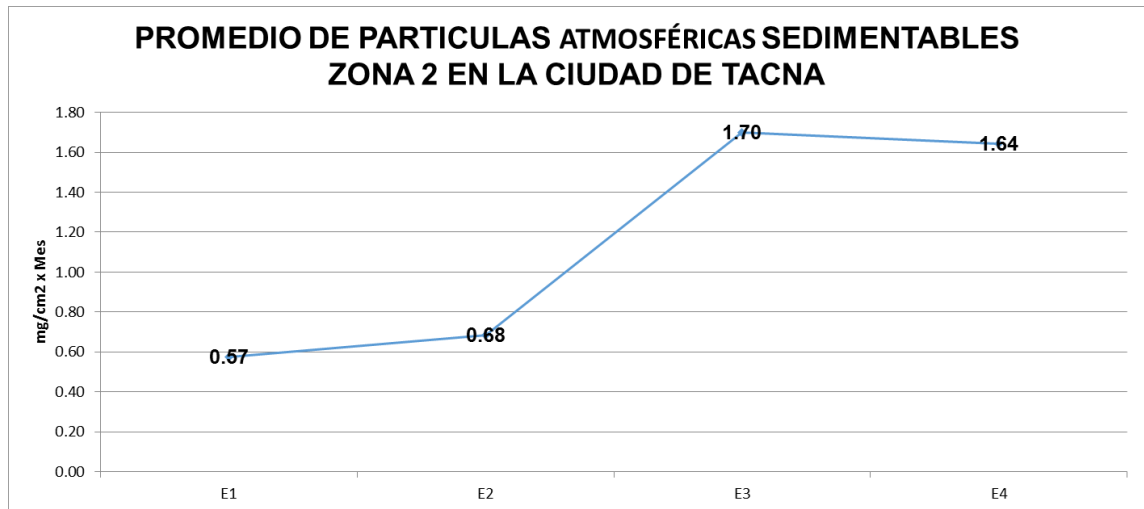
Para la tercera serie, que corresponde al tercer mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E3 con un valor de 1.19 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E1 con un valor de 0.46 mg/cm²/mes.

Para la cuarta serie, que corresponde al cuarto mes de muestreo, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E4 con un valor de 2.74 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E1 con un valor de 0.18 mg/cm²/mes.

Por lo tanto, de estas 4 series se tiene que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E3, Centro de Salud Leoncio Prado, ubicada en Gral. Varela N° 1250, en la zona céntrica de la ciudad de Tacna, y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registran en las estaciones de muestreo E1 y E2, localizadas en la zona intermedia de la ciudad de Tacna.

En el Gráfico N° 05 se muestran los resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables para las 4 series de muestreo de la Zona 2, zona intermedia de la ciudad de Tacna.

Gráfico N° 05: Resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables Zona 2: Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De los resultados promedio de partículas atmosféricas sedimentables indicados en la Tabla N° 09 y representados en el Gráfico N° 05, se puede observar que la mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E3, Centro de Salud Leoncio Prado, ubicada en Gral. Varela N° 1250 en la zona intermedia de la ciudad de Tacna, con un valor de 1.70 mg/cm²/mes y la menor concentración de partículas atmosféricas sedimentables se registra en la estación de muestreo E1, Vivienda, ubicada en la Calle Ordonel Vargas N° 654 en la zona intermedia de la ciudad de Tacna, con un valor de 0.57 mg/cm²/mes.

4.4. Promedios de Resultados obtenidos de Muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables Zona 1, Zona2 – ciudad de Tacna.

La Tabla N° 10 muestra los resultados promedio de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) de la Zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

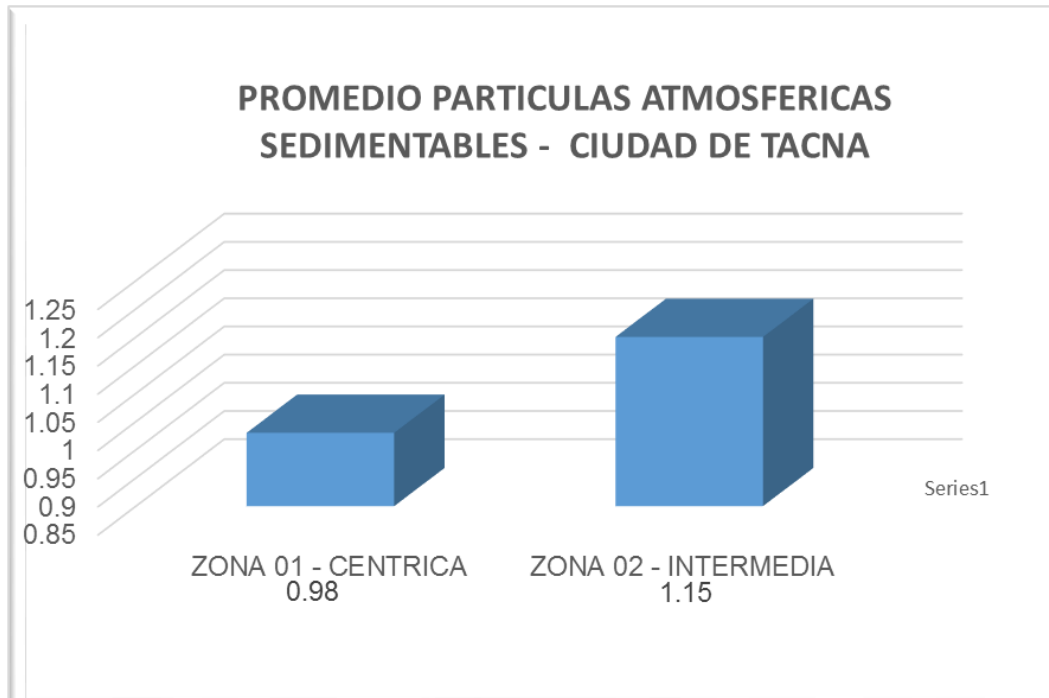
Tabla Nº 10: Resultados Promedios de Muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables de la Zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

ZONAS	PROMEDIO FINAL POR ZONAS
ZONA 01 - CENTRICA	0.98
ZONA 02-INTERMEDIA	1.15
PROMEDIO TOTAL	1.07

Fuente: Elaboración Propia.

En el Gráfico N° 06 se muestran los resultados promedio del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) de la zona centro e intermedia de la ciudad de Tacna.

Gráfico Nº 06: Resultados promedios del muestreo de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) de la Zona Centro e Intermedia de la Ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

En el Gráfico N° 06, se observa que la Zona de Muestreo N° 02 - Intermedia de la Ciudad de Tacna tiene el mayor valor promedio de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) con un valor de 1.15 mg/cm²/mes, siendo el promedio general obtenido para las Partículas Atmosféricas Sedimentables registrada en la ciudad de Tacna, mediante el muestreo pasivo, de 1.07 mg/cm²/mes.

4.5. Resultados del Cálculo de Análisis de Varianza, Coeficiente de Variación, Coeficiente de Curtosis y Coeficiente de Asimetría

4.5.1. Análisis de Varianza

Las Tablas N° 11 y 12 muestran el análisis de varianza de las zonas establecidas: Zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

Tabla N° 11: Análisis de Varianza de Zonas Establecidas.

REPETICIONES	R1= Zona 1	R2= Zona 2
MES 1	1.21	1.93
MES 2	0.84	0.49
MES 3	0.82	0.88
MES 4	1.06	1.30
Xi	3.92	4.60
PROMEDIO	0.98	1.15

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Nº 12: Análisis de Varianza de Zonas Establecidas.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS (SC)	CUADRADO MEDIO (CM)	VALOR "F" CALCULADO
Entre tratamientos	t-1	$SCC = \frac{\sum(x_j^2)}{r} - \frac{(\sum x)^2}{r(t)}$	$SMC = \frac{SCC}{t-1}$	$\frac{SMC}{CME}$
Error (Dentro de los grupos)	(t-1) - ((r.t) -1)	SCE = SCT - SCC	$CME = \frac{SCE}{t(r-1)}$	
Total	(r · t)-1	$SCT = \sum X t^2 - \frac{\sum X^2 J}{r(t)}$		

Fuente: Elaboración Propia.

Rotulación:

t: número de tratamientos

r: Número de repeticiones, en cada tratamiento

SCC: Suma de cuadrados de los tratamientos

SCT: Suma de cuadrados totales

SCE: Suma de cuadrados del error

CM: Cuadrado medio de los tratamientos

CME: Cuadrado medio del error

j: Tratamiento o muestra

i: Unidades experimentales

Procesamiento de datos:

$$SCC = \frac{3.92^2 + 4.60^2}{4} - \frac{8.52^2}{8}$$

$$SCC = 9.1316 - 9.0732$$

$$SCC = 0.0584$$

$$SCT = 1.21^2 + 0.84^2 + 0.82^2 + 1.06^2 + 1.93^2 + 0.49^2 + 0.88^2 + 1.30^2 - \frac{8.52^2}{8}$$

$$SCT = 10.3951 - 9.0732$$

$$SCT = 1.3219$$

La Tabla N° 13 muestra los resultados de análisis de varianza de las zonas establecidas: Zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna en mg/cm²/mes.

Tabla N° 13: Resultados Análisis de Varianza.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS (SC)	CUADRADO MEDIO (CM)	VALOR "F" CALCULADO	VALOR "F" TABULADO
Entre tratamientos	3	0.0584	0.0195	0.0617	6.5914
Error (Dentro de los grupos)	4	1.2635	0.3158		
Total	7	1.3219			

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2. Coeficiente de Variación

$$CV\% = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right) 100$$

Siendo:

S: Desviación estándar

X: Promedio total de los datos

Calculando

*** Varianza:**

Dónde:

X_i: Cada una de las unidades experimentales

Entonces:

$$S^2 = \frac{1.21^2 + 0.84^2 + 0.82^2 + 1.06^2 + 1.93^2 + 0.49^2 + 0.88^2 + 1.30^2}{8} - 1.07^2$$

$$S^2 = 0.1544$$

*** Desviación Estándar**

$$S = \sqrt{S^2}$$

Entonces:

$$S = \sqrt{0.1544}$$

$$S = 0.393$$

Promedio total de los datos:

$$X = 1.07$$

Entonces:

$$CV\% = \left(\frac{0.393}{1.07}\right) 100$$

$$CV = 36.73\%$$

4.5.3. Coeficiente de Curtosis

$$g_2 = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x \sum \left(\left(\frac{X_i - x}{s} \right)^4 \right) - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Dónde:

X_i : Cada una de las unidades experimentales

X : Promedio del conjunto de datos

$$g_2 = \frac{8(8-1)}{(8-1)(8-2)(8-3)} x \left(\left(\frac{1.21 - 1.07}{0.393} \right)^4 + \left(\frac{0.84 - 1.07}{0.393} \right)^4 + \left(\frac{0.82 - 1.07}{0.393} \right)^4 \right. \\ \left. + \left(\frac{1.06 - 1.07}{0.393} \right)^4 + \left(\frac{1.93 - 1.07}{0.393} \right)^4 + \left(\frac{0.49 - 1.07}{0.393} \right)^4 \right. \\ \left. + \left(\frac{0.88 - 1.07}{0.393} \right)^4 + \left(\frac{1.30 - 1.07}{0.393} \right)^4 \right) - \frac{3(8-1)^2}{(8-2)(8-3)}$$

$$g^2 = 0.343 \times (28.144) - 4.9$$

$$g^2 = 4.75$$

- Es una **Curtosis Leptocúrtica**, es decir presenta un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

4.5.4. Coeficiente de Asimetría

$$As = \left(\frac{n}{(n-1)(n-2)} \times \sum \left(\frac{Xi - x}{s} \right)^3 \right)$$

$$As = \frac{8}{(8-1)(8-2)} \times \left(\left(\frac{1.21 - 1.07}{0.393} \right)^3 + \left(\frac{0.84 - 1.07}{0.393} \right)^3 + \left(\frac{0.82 - 1.07}{0.393} \right)^3 \right. \\ \left. + \left(\frac{1.06 - 1.07}{0.393} \right)^3 + \left(\frac{1.93 - 1.07}{0.393} \right)^3 + \left(\frac{0.49 - 1.07}{0.393} \right)^3 \right. \\ \left. + \left(\frac{0.88 - 1.07}{0.393} \right)^3 + \left(\frac{1.30 - 1.07}{0.393} \right)^3 \right)$$

$$As = 0.1904 \times (6.394)$$

$$As = 1.3212$$

Es una **Distribución Asimétrica Positiva**, es decir existe mayor concentración de valores a la derecha de la media que a su izquierda.

4.6. Resultados de Material Particulado PM_{2.5} y PM₁₀

4.6.1. Identificación de la Red de Estaciones de monitoreo para Material Particulado (PM_{2.5} y PM₁₀).

En la Tabla N° 14, se muestra la red de estaciones de monitoreo para el material particulado PM_{2.5} y PM₁₀.

Tabla N° 14: Red de estaciones de monitoreo.

N° ESTACIÓN	NOMBRE DE LA UBICACIÓN	DIRECCIÓN	COORDENADAS (UTM)	FECHA DE MONITOREO	HORARIO (24 HORAS)
03	Centro de Salud Leoncio Prado	Gral. Varela N° 1250	367659.91 E 8009352.35 S 19K	18/07/2017 19/07/2017	i: 12:00 pm f: 11:00 pm
07	Centro de Post grado UNJBG	Av. Bolognesi cruce con Pinto	368809.47 E 8008595.80 S 19K	22/07/2017 23/07/2017	i: 12:00 pm f: 11:00 pm
08	SERPOST(Gran hotel)	Av. Bolognesi N° 337	367739.69 E 8007759.97 S 19K	14/07/2017 15/07/2017	i: 12:00 pm f: 11:00 pm

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2. Fuentes de Generación de Material Particulado

Las Fuentes de generación de material particulado identificadas dentro del ámbito de estudio del presente trabajo de investigación se presentan en la tabla N°15.

Tabla N° 15: Fuentes de generación de Material Particulado.

N°	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
1	Vías de circulación	Vías no pavimentadas: Calles, avenidas de Tacna
2	Medios de Transporte	Vehículos motorizados: Camión, combi, auto, motocicleta lineal. Vehículos no motorizados: Bicicletas y triciclos
3	Actividades económicas	- Venta comercial - Restaurantes - Pollerías
4	Obras Civiles	- Construcción de viviendas - Mejoramiento de calles

Fuente: Elaboración Propia

4.6.3. Partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀) en el medio atmosférico.

Los resultados del estudio del material particulado fueron obtenidos a través del peso del material particulado con tamaño igual o menor que 2.5 y 10 µm, respectivamente. Los resultados de los análisis y cálculos para las partículas en suspensión PM_{2.5} y PM₁₀ se muestran en las siguientes tablas y gráficos:

❖ Estación 3 (E3) – Centro de Salud Leoncio Prado

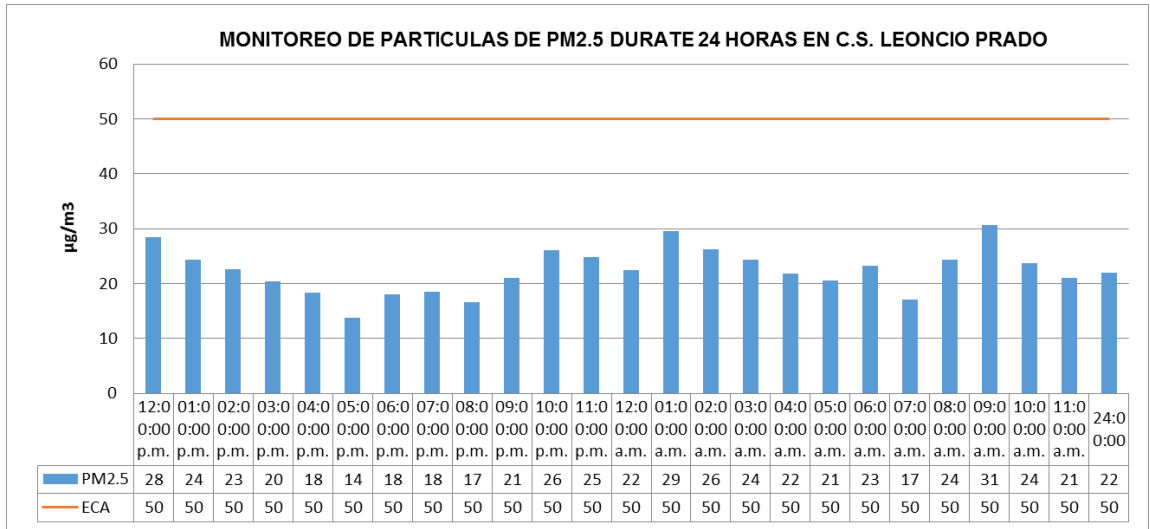
El monitoreo se realizó alrededor de las instalaciones del Centro de Salud Leoncio Prado y se obtuvo los resultados como PM_{2.5} y PM₁₀, temperatura, velocidad del viento, y humedad relativa.

Tabla Nº 16: Datos obtenidos del monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ en la Estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), desde las 12:00 p.m. del día 18 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 19 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
18/07/2017	12:00:00 p.m.	28
	01:00:00 p.m.	24
	02:00:00 p.m.	23
	03:00:00 p.m.	20
	04:00:00 p.m.	18
	05:00:00 p.m.	14
	06:00:00 p.m.	18
	07:00:00 p.m.	18
	08:00:00 p.m.	17
	09:00:00 p.m.	21
	10:00:00 p.m.	26
	11:00:00 p.m.	25
19/07/2017	12:00:00 a.m.	22
	01:00:00 a.m.	29
	02:00:00 a.m.	26
	03:00:00 a.m.	24
	04:00:00 a.m.	22
	05:00:00 a.m.	21
	06:00:00 a.m.	23
	07:00:00 a.m.	17
	08:00:00 a.m.	24
	09:00:00 a.m.	31
	10:00:00 a.m.	24
	11:00:00 a.m.	21
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	22

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 07: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

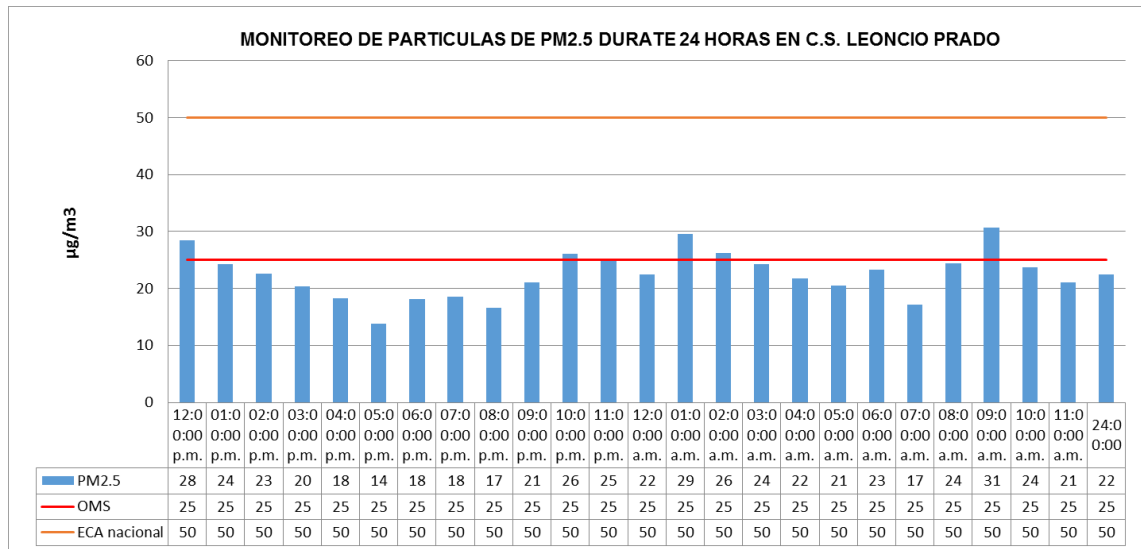


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 16 y el Gráfico N° 07, se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la Estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), durante el periodo de 24 horas, no exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 8: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y el de la OMS.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

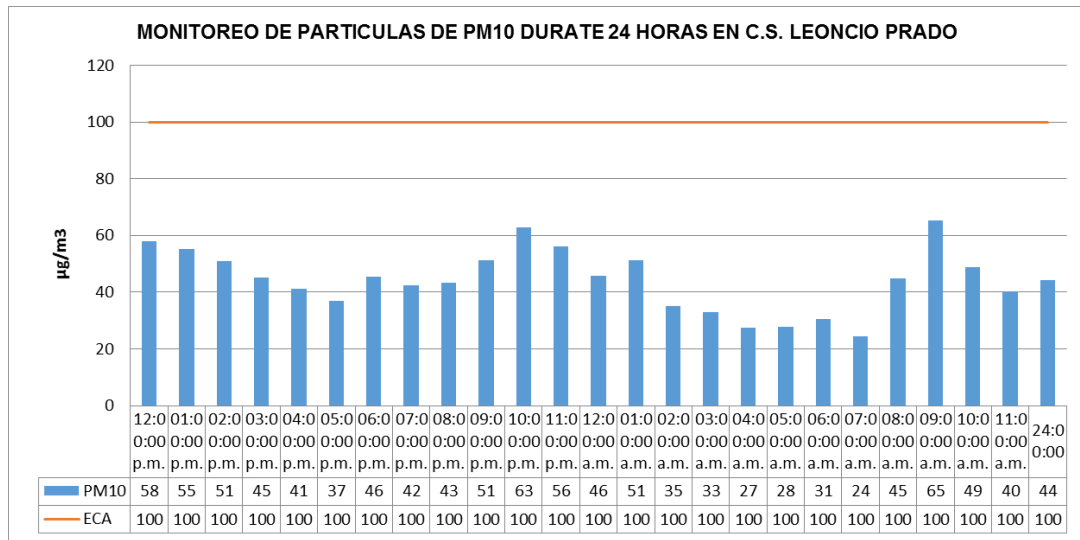
De la Tabla N° 16 y el Gráfico N° 08 se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el horario diurno y nocturno, mas no el ECA de Aire nacional fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ni el valor guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla N° 17: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM₁₀ en la Estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), desde las 12:00 p.m. del día 18 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 19 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM10 (µg/m ³)
18/07/2017	12:00:00 p.m.	58
	01:00:00 p.m.	55
	02:00:00 p.m.	51
	03:00:00 p.m.	45
	04:00:00 p.m.	41
	05:00:00 p.m.	37
	06:00:00 p.m.	46
	07:00:00 p.m.	42
	08:00:00 p.m.	43
	09:00:00 p.m.	51
	10:00:00 p.m.	63
	11:00:00 p.m.	56
19/07/2017	12:00:00 a.m.	46
	01:00:00 a.m.	51
	02:00:00 a.m.	35
	03:00:00 a.m.	33
	04:00:00 a.m.	27
	05:00:00 a.m.	28
	06:00:00 a.m.	31
	07:00:00 a.m.	24
	08:00:00 a.m.	45
	09:00:00 a.m.	65
	10:00:00 a.m.	49
	11:00:00 a.m.	40
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	44

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 9: Monitoreo de partículas PM₁₀ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

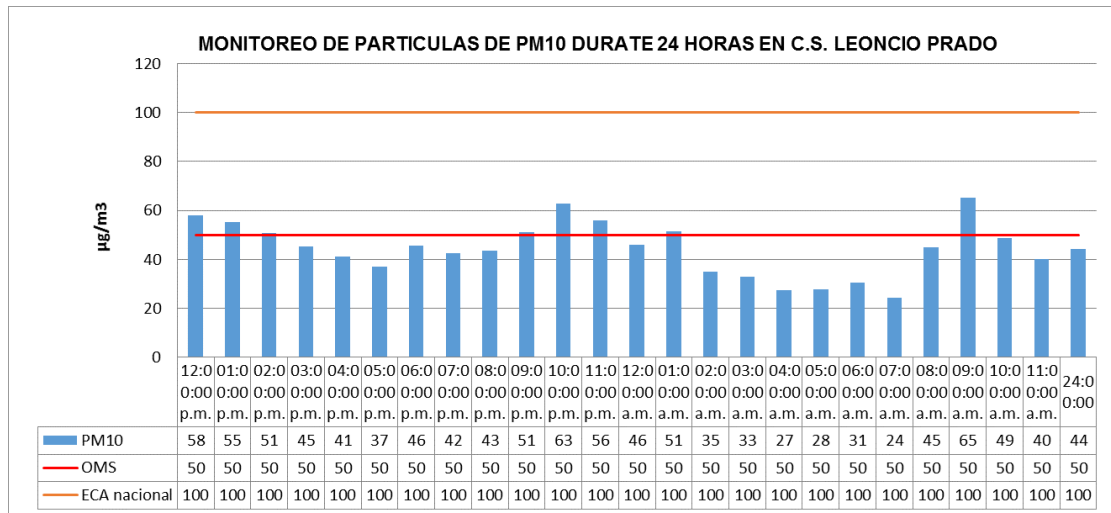


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 17 y el Gráfico N° 09, se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas PM₁₀, en la estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), durante el periodo de 24 horas, no exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM₁₀ fijado en 100 µg/m³. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM₁₀, durante el periodo de 24 horas, es de 44 µg/m³, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM₁₀ fijado en 100 µg/m³.

Gráfico N° 10: Monitoreo de partículas PM₁₀ durante 24 horas en el Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS.

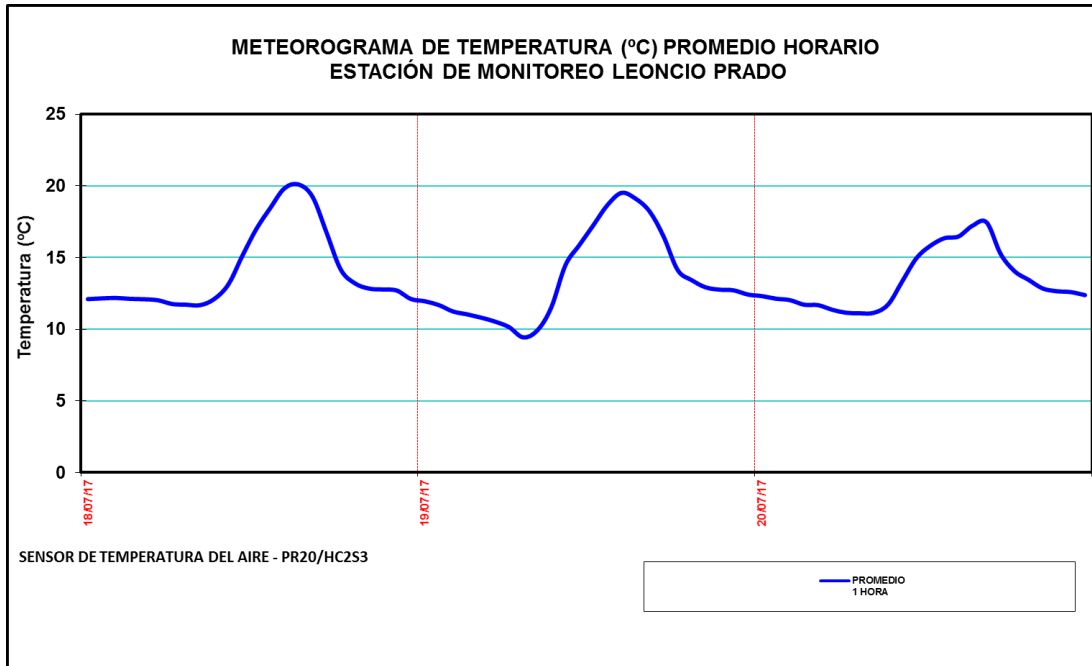


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

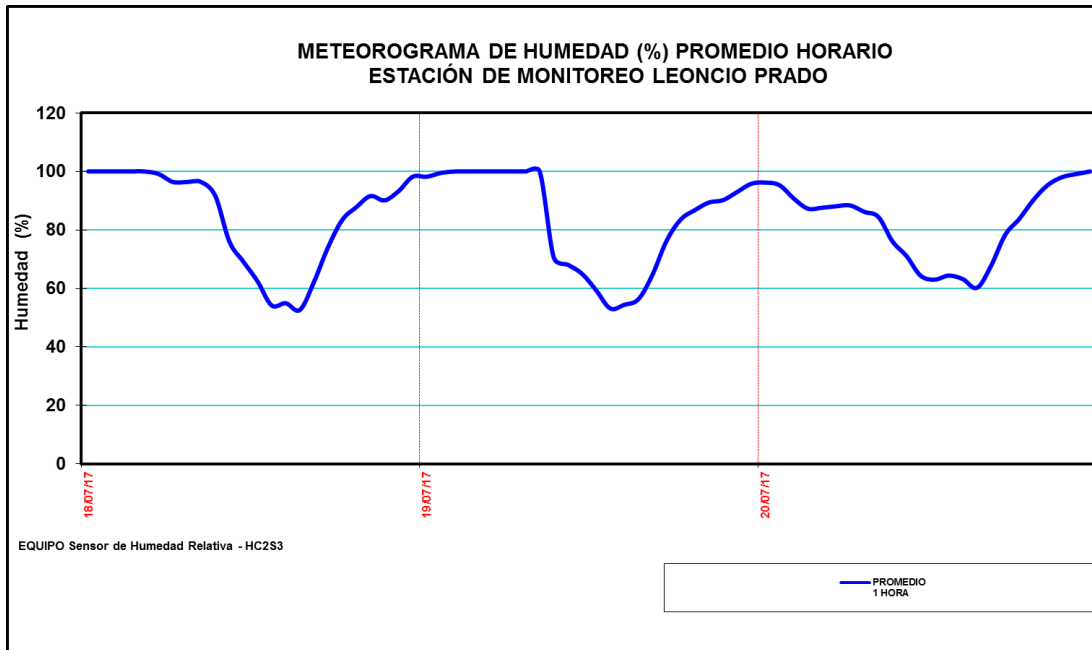
De la Tabla N° 17 y el Gráfico N° 10 se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas PM₁₀, en la estación de monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores guía de la OMS, fijado en 50 µg/m³, en los horarios de las 12:00 p.m., 1:00 p.m., 2:00 p.m., 9:00 p.m. y 10:00 p.m. del día 18 de julio de 2017 y la 1:00 a.m. y 9:00 a.m. del día 19 de julio de 2017, mas no el ECA de Aire nacional fijado en 100 µg/m³. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM₁₀, durante el periodo de 24 horas, es de 44 µg/m³, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM₁₀ fijado en 100 µg/m³ ni el valor guía de la OMS, fijado en 50 µg/m³.

Gráfico N° 11: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).



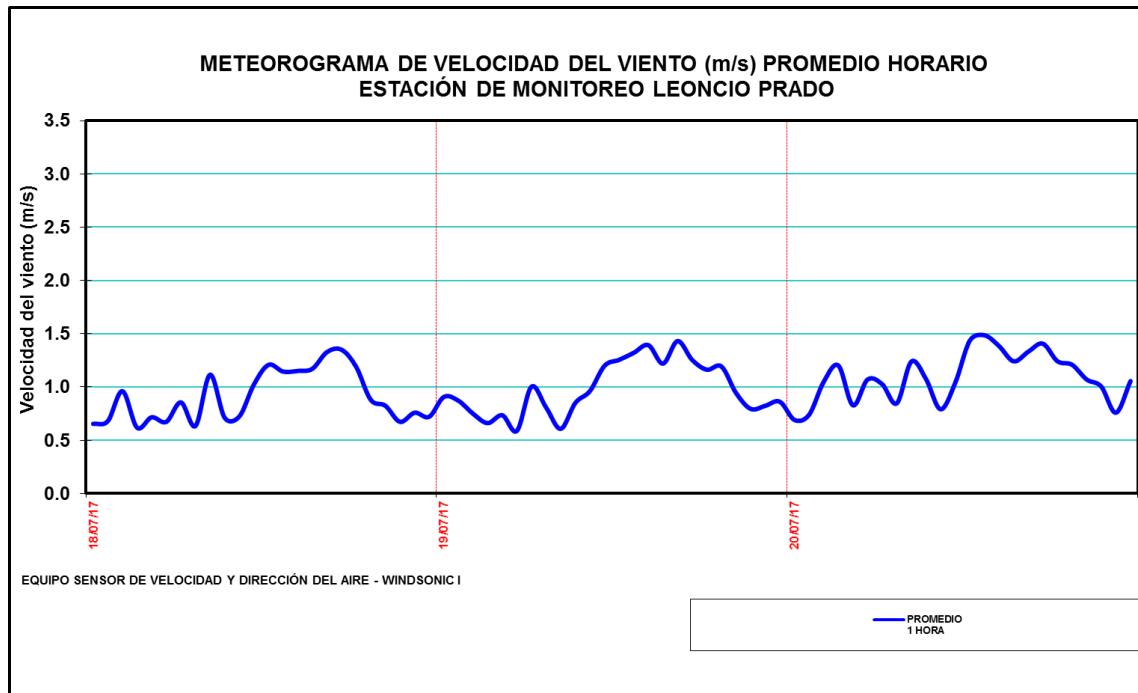
Fuente: Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Gráfico N° 12: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).



Fuente: Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Gráfico N° 13: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo del Centro de Salud Leoncio Prado (E3).



Fuente: Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Interpretación:

Del Meteorograma de Temperatura promedio horaria, representado en el Gráfico N° 11, se observa que la amplitud térmica diaria para los días de monitoreo en la estación del Centro de Salud de Leoncio Prado (E3) oscila entre 6.4 °C a 10.1 °C, estando los valores extremos de mínimas y máximas temperaturas en relación inversa con los valores extremos de mínimas y máximas humedades relativas, representados en el Gráfico N° 12.

Por otro lado, del Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria, representado en el Gráfico N° 13, se observa que la intensidad de la velocidad del viento para los días de monitoreo es menor al valor de 1.5 m/s, que lo cataloga como intensidades de viento poco energéticos que a su vez no favorece la dispersión de contaminantes.

Estación 7 (E7) – Centro de Post Grado UNJBG

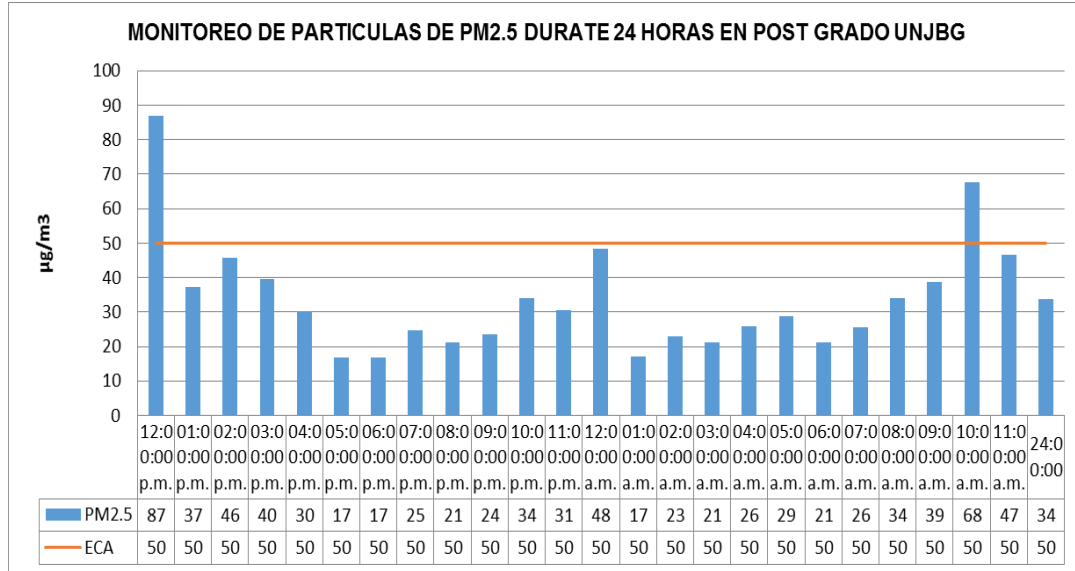
En el monitoreo se realizó alrededor de las instalaciones del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) y se obtuvo los resultados como PM_{2.5} y PM₁₀, temperatura, velocidad del viento, y humedad relativa.

Tabla Nº 18: Datos obtenidos del monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ en la Estación de monitoreo del Centro de Post Grado UNJBG (E7), desde las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 hasta las 11:00 p.m. del día 23 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
22/07/2017	12:00:00 p.m.	87
	01:00:00 p.m.	37
	02:00:00 p.m.	46
	03:00:00 p.m.	40
	04:00:00 p.m.	30
	05:00:00 p.m.	17
	06:00:00 p.m.	17
	07:00:00 p.m.	25
	08:00:00 p.m.	21
	09:00:00 p.m.	24
	10:00:00 p.m.	34
	11:00:00 p.m.	31
23/07/2017	12:00:00 a.m.	48
	01:00:00 a.m.	17
	02:00:00 a.m.	23
	03:00:00 a.m.	21
	04:00:00 a.m.	26
	05:00:00 a.m.	29
	06:00:00 a.m.	21
	07:00:00 a.m.	26
	08:00:00 a.m.	34
	09:00:00 a.m.	39
	10:00:00 a.m.	68
	11:00:00 a.m.	47
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	34

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 14: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

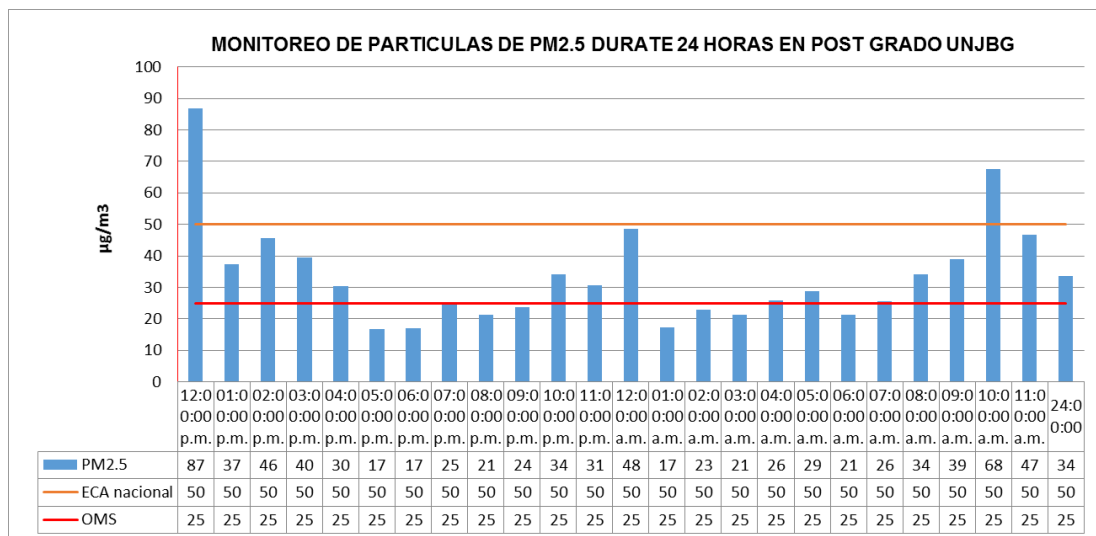


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 18 y el Gráfico N° 14, se observa que de manera referencial las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la Estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), durante el periodo de 24 horas, no exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de los horarios de las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 y las 10:00 a.m. del día 23 de julio de 2017, los cuales exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 15: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y los valores guía de la OMS.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

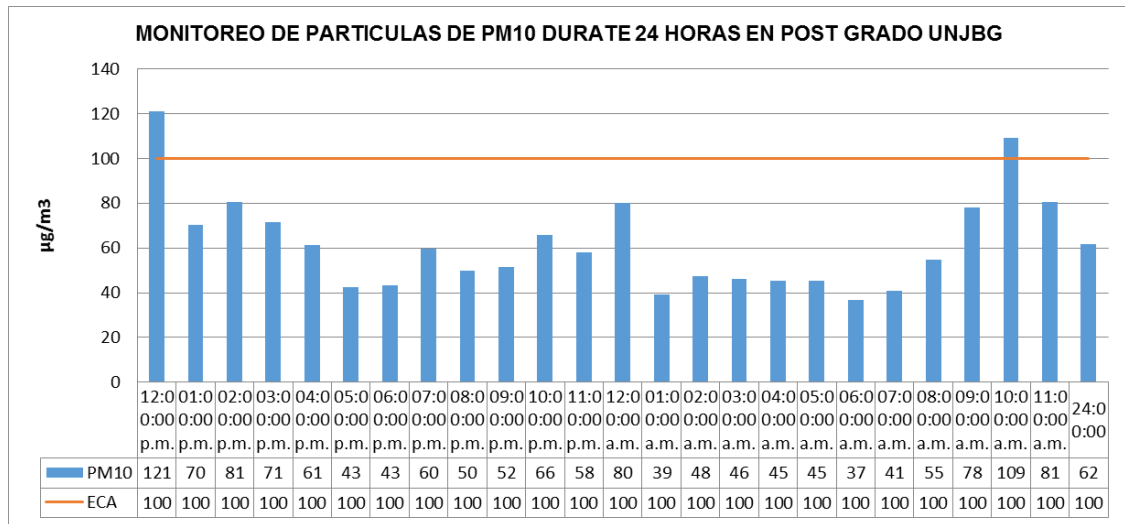
De la Tabla N° 18 y el Gráfico N° 15 se observa que de manera referencial las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), durante el periodo de 24 horas, excede los valores guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el horario diurno y nocturno; mientras que en los horarios de las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 y las 10:00 a.m. del día 23 de julio de 2017 se excede el ECA de Aire nacional, fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pero si excede el valor guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla Nº 19: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM₁₀ en la Estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), desde las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 23 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM10 (µg/m3)
22/07/2017	12:00:00 p.m.	121
	01:00:00 p.m.	70
	02:00:00 p.m.	81
	03:00:00 p.m.	71
	04:00:00 p.m.	61
	05:00:00 p.m.	43
	06:00:00 p.m.	43
	07:00:00 p.m.	60
	08:00:00 p.m.	50
	09:00:00 p.m.	52
	10:00:00 p.m.	66
	11:00:00 p.m.	58
	23/07/2017	12:00:00 a.m.
01:00:00 a.m.		39
02:00:00 a.m.		48
03:00:00 a.m.		46
04:00:00 a.m.		45
05:00:00 a.m.		45
06:00:00 a.m.		37
07:00:00 a.m.		41
08:00:00 a.m.		55
09:00:00 a.m.		78
10:00:00 a.m.		109
11:00:00 a.m.		81
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	62

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 16: Monitoreo de partículas PM_{10} durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

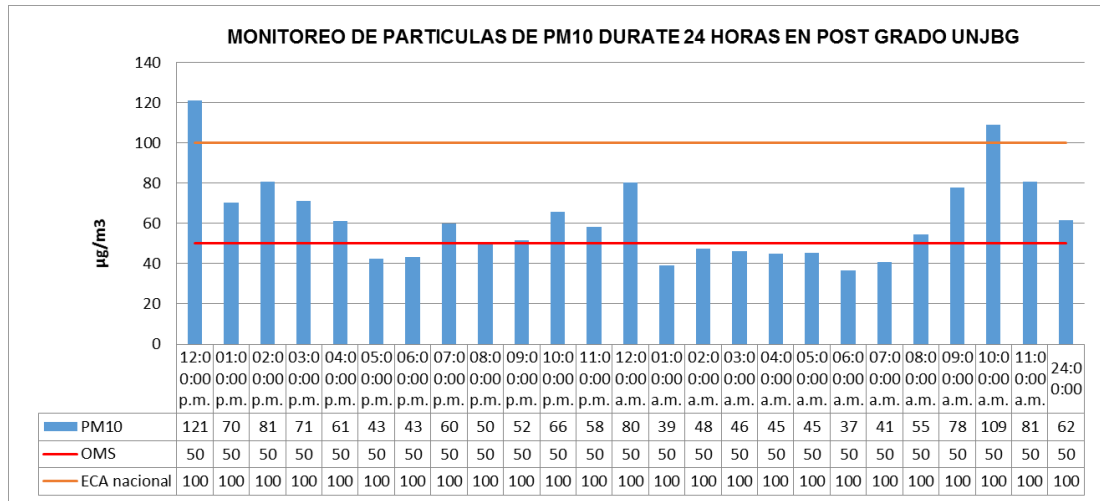


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 19 y el Gráfico N° 16, se observa que de manera referencial las concentraciones horarias de partículas PM_{10} , en la estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en los horarios de las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 y las 10:00 a.m. del día 23 de julio de 2017. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, es de $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 17: Monitoreo de partículas PM_{10} durante 24 horas en el Centro de Post Grado de la UNJBG (E7) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS.

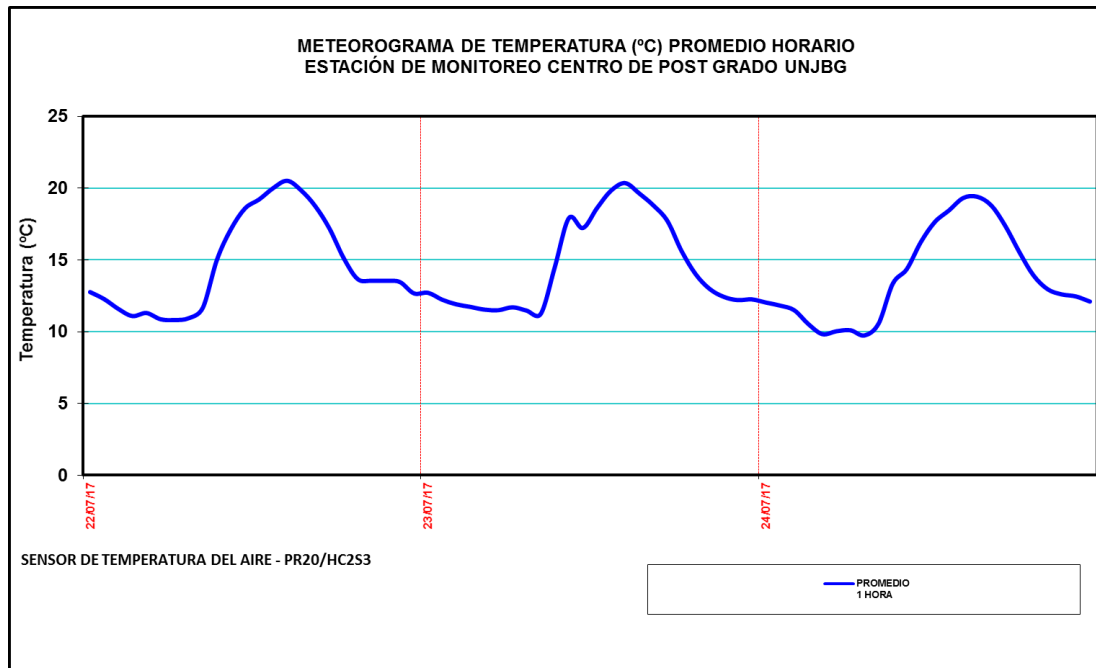


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

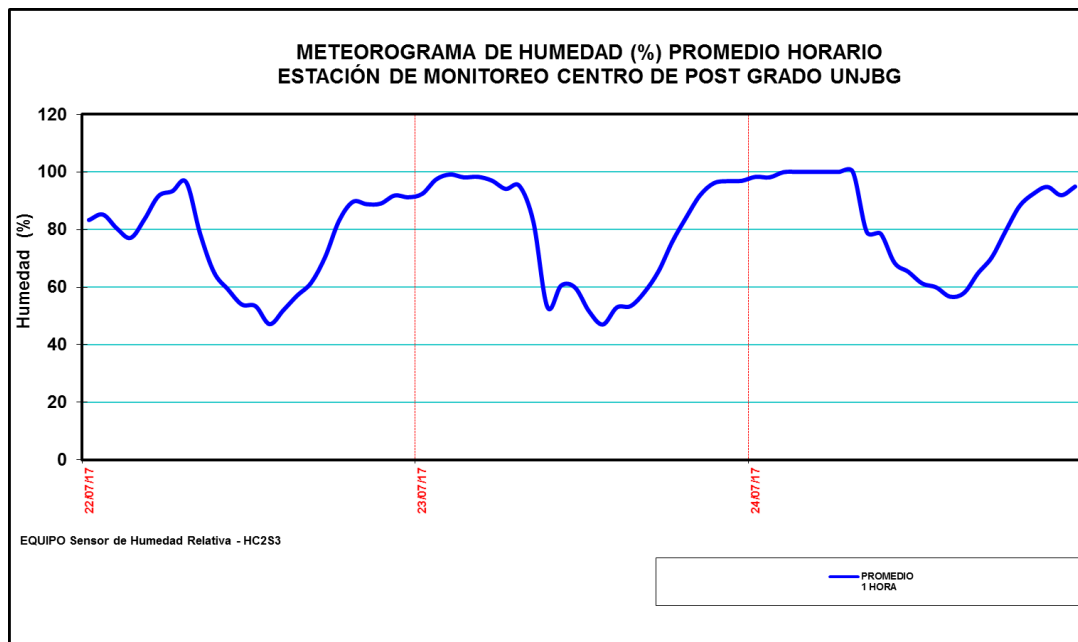
De la Tabla N° 19 y el Gráfico N° 17 se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas PM_{10} , en la estación de monitoreo del Centro de Post Grado de la UNJBG (E7), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores guía de la OMS, fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en los horarios de las 12:00 p.m. a 4:00 p.m., 7:00 p.m., 10:00 p.m. y 11:00 p.m. del día 22 de julio de 2017, y en los horarios de las 12:00 a.m. y de 8:00 a.m. a 11:00 a.m. del día 23 de julio de 2017; mientras que en los horarios de las 12:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 y las 10:00 a.m. del día 23 de julio de 2017 se excede el ECA de Aire nacional, fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, es de $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pero si excede el valor guía de la OMS, fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 18: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).



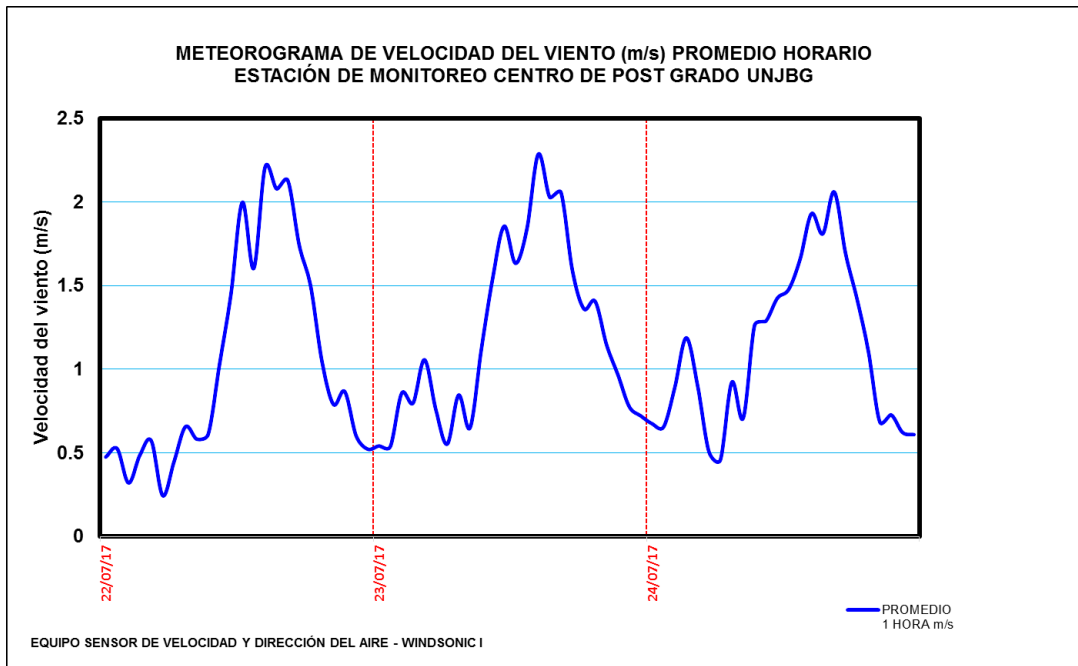
Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna

Gráfico N° 19: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).



Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna

Gráfico N° 20: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo Centro de Post Grado de la UNJBG (E7).



Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna

Interpretación:

Del Meteorograma de Temperatura promedio horaria, representado en el Gráfico N° 18, se observa que la amplitud térmica diaria para los días de monitoreo en la estación del Centro de Post Grado UNJBG (E7) oscila entre 9.2 °C a 9.7 °C, estando los valores extremos de mínimas y máximas temperaturas en relación inversa con los valores extremos de mínimas y máximas humedades relativas, representados en el Gráfico N° 19.

Por otro lado, del Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria, representado en el Gráfico N° 20, se observa que la intensidad de la velocidad del viento para los días de monitoreo se encuentra entre aproximadamente 0.25 m/s a 2.3 m/s, la cual puede ser considerado como una ligera brisa que puede transportar la presencia de contaminantes.

Estación 8 (E6) – Gran Hotel (SERPOST)

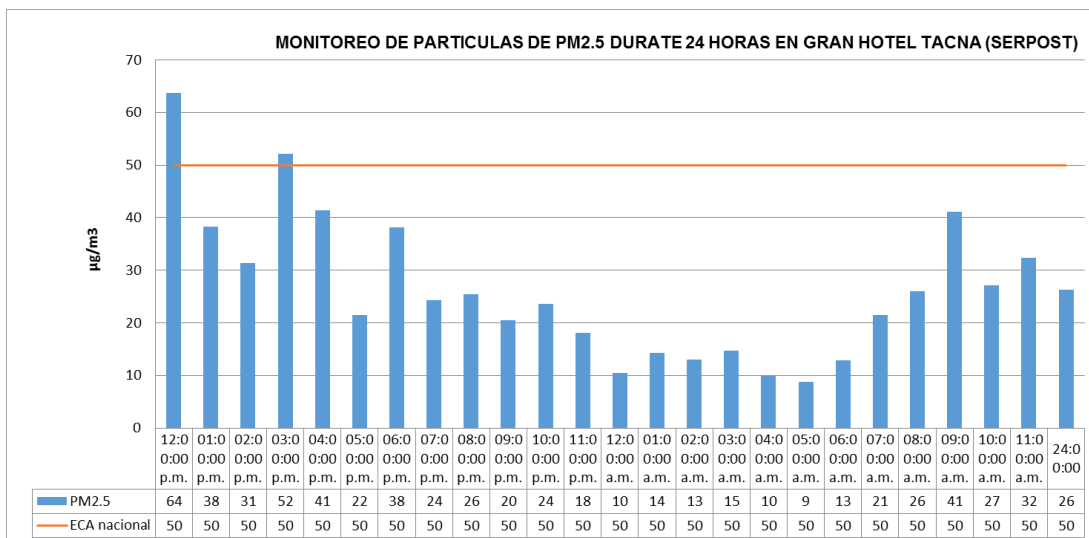
El monitoreo se realizó al frente de la oficina de SERPOST, en el Gran Hotel Tacna, y se obtuvo los resultados como PM_{2.5} y PM₁₀, temperatura, velocidad del viento, y humedad relativa.

Tabla Nº 20: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM_{2.5} en la Estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna frente del SERPOST (E8), desde las 12:00 p.m. del día 14 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 15 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM2.5 (µg/m3)
14/07/2017	12:00:00 p.m.	64
	01:00:00 p.m.	38
	02:00:00 p.m.	31
	03:00:00 p.m.	52
	04:00:00 p.m.	41
	05:00:00 p.m.	22
	06:00:00 p.m.	38
	07:00:00 p.m.	24
	08:00:00 p.m.	26
	09:00:00 p.m.	20
	10:00:00 p.m.	24
11:00:00 p.m.	18	
15/07/2017	12:00:00 a.m.	10
	01:00:00 a.m.	14
	02:00:00 a.m.	13
	03:00:00 a.m.	15
	04:00:00 a.m.	10
	05:00:00 a.m.	9
	06:00:00 a.m.	13
	07:00:00 a.m.	21
	08:00:00 a.m.	26
	09:00:00 a.m.	41
	10:00:00 a.m.	27
11:00:00 a.m.	32	
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	26

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 21: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

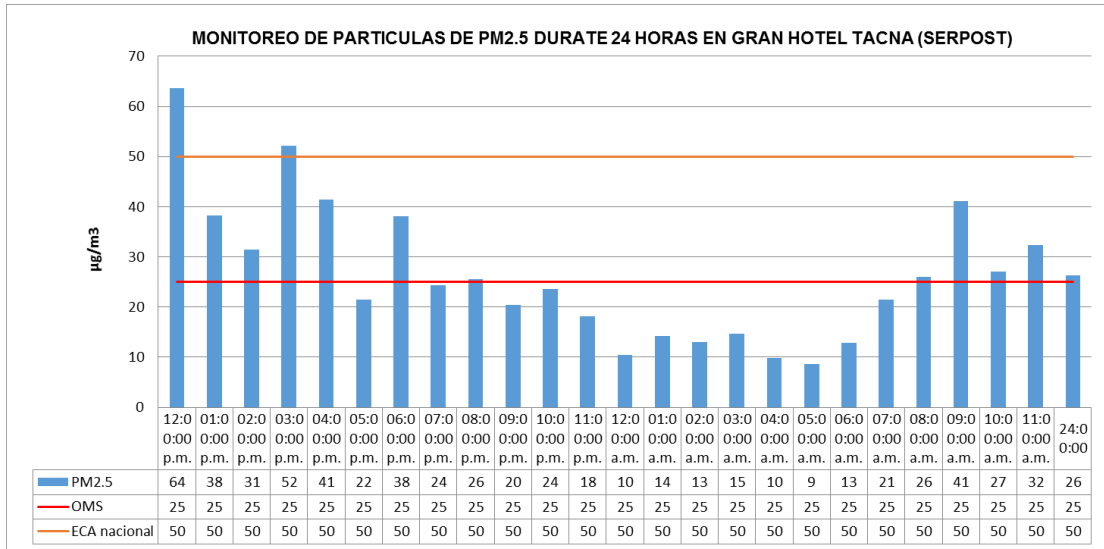


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 20 y el Gráfico N° 21, se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la Estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8), durante el periodo de 24 horas, no exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de los horarios de las 12:00 p.m. y las 3:00 p.m. del día 14 de julio de 2017, los cuales exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 22: Monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ durante 24 horas en el Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional y los valores guía de la OMS.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

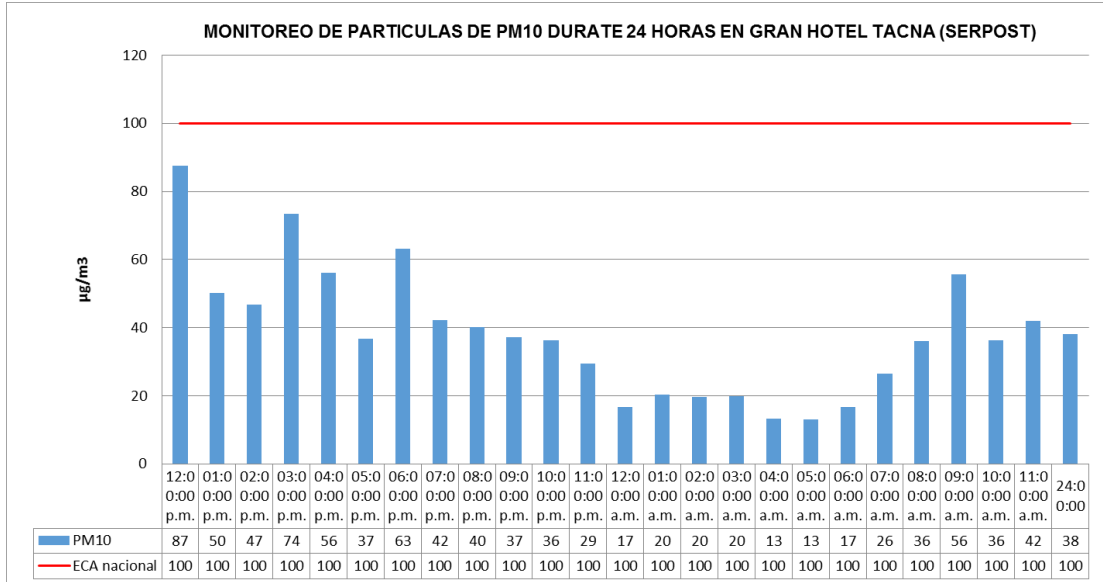
De la Tabla N° 20 y el Gráfico N° 22 se observa de manera referencial que las concentraciones horarias de partículas $PM_{2.5}$, en la estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna (Serpost) (E8), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre las 12:00 p.m. a 4:00 p.m. y las 6:00 p.m. del día 14 de julio de 2017, y entre las 8:00 a.m. a 11:00 a.m. del día 15 de julio de 2017; mientras que a las 12:00 p.m. y 3:00 p.m. del día 22 de julio de 2017 exceden el ECA de Aire nacional fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de $PM_{2.5}$, durante el periodo de 24 horas, es de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para $PM_{2.5}$ fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pero si excede el valor guía de la OMS, fijado en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla N° 21: Datos obtenidos del monitoreo de partículas PM₁₀ en la Estación de monitoreo en el Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8), desde las 12:00 p.m. del día 14 de julio de 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 15 de julio de 2017.

FECHA	HORA	PM10 (µg/m3)
14/07/2017	12:00:00 p.m.	87
	01:00:00 p.m.	50
	02:00:00 p.m.	47
	03:00:00 p.m.	74
	04:00:00 p.m.	56
	05:00:00 p.m.	37
	06:00:00 p.m.	63
	07:00:00 p.m.	42
	08:00:00 p.m.	40
	09:00:00 p.m.	37
	10:00:00 p.m.	36
11:00:00 p.m.	29	
15/07/2017	12:00:00 a.m.	17
	01:00:00 a.m.	20
	02:00:00 a.m.	20
	03:00:00 a.m.	20
	04:00:00 a.m.	13
	05:00:00 a.m.	13
	06:00:00 a.m.	17
	07:00:00 a.m.	26
	08:00:00 a.m.	36
	09:00:00 a.m.	56
	10:00:00 a.m.	36
11:00:00 a.m.	42	
PROMEDIO 24 HORAS	24:00:00	38

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 23: Monitoreo de partículas PM_{10} durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) dentro del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional.

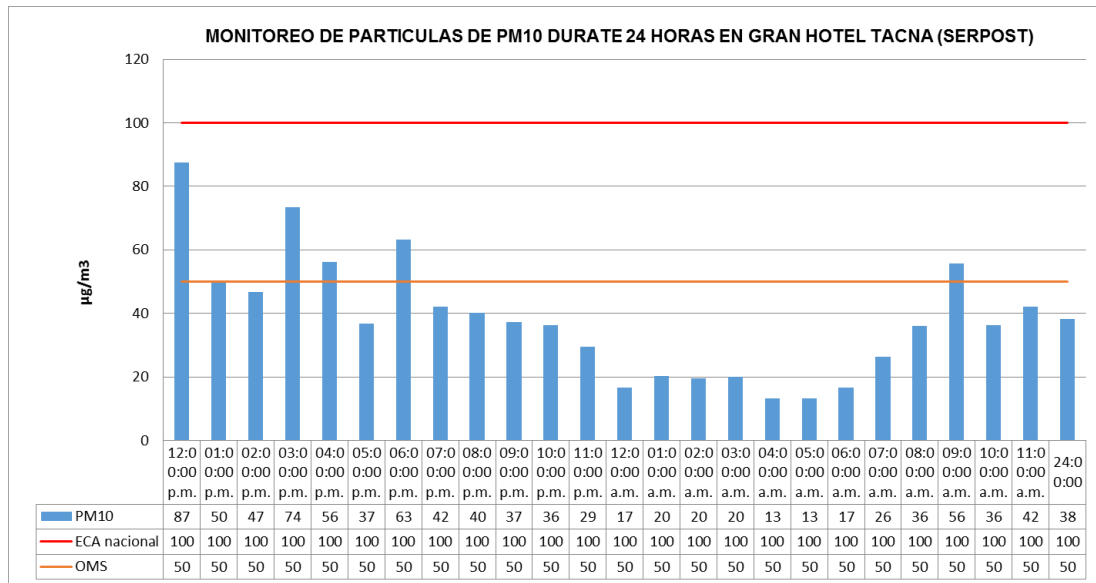


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la Tabla N° 21 y el Gráfico N° 23, se observa referencialmente que las concentraciones horarias de partículas PM_{10} , en la estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8), durante el periodo de 24 horas, no exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, es de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 24: Monitoreo de partículas PM_{10} durante 24 horas en Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire nacional y los valores guía de la OMS Monitoreo del PM_{10} de 24 horas en Gran Hotel Tacna.

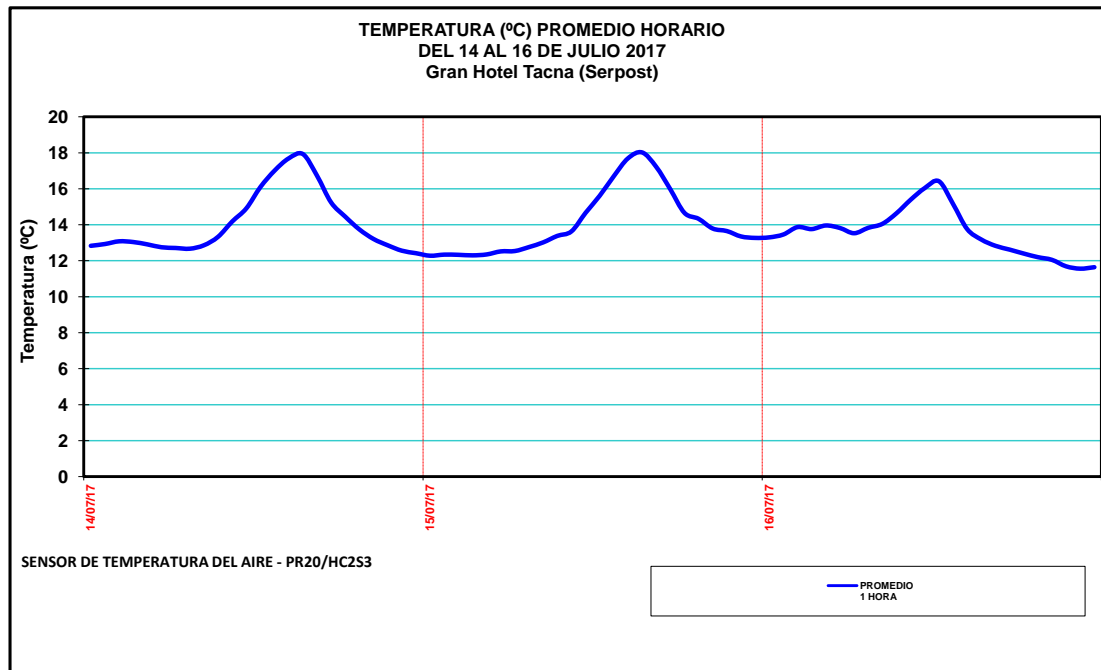


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

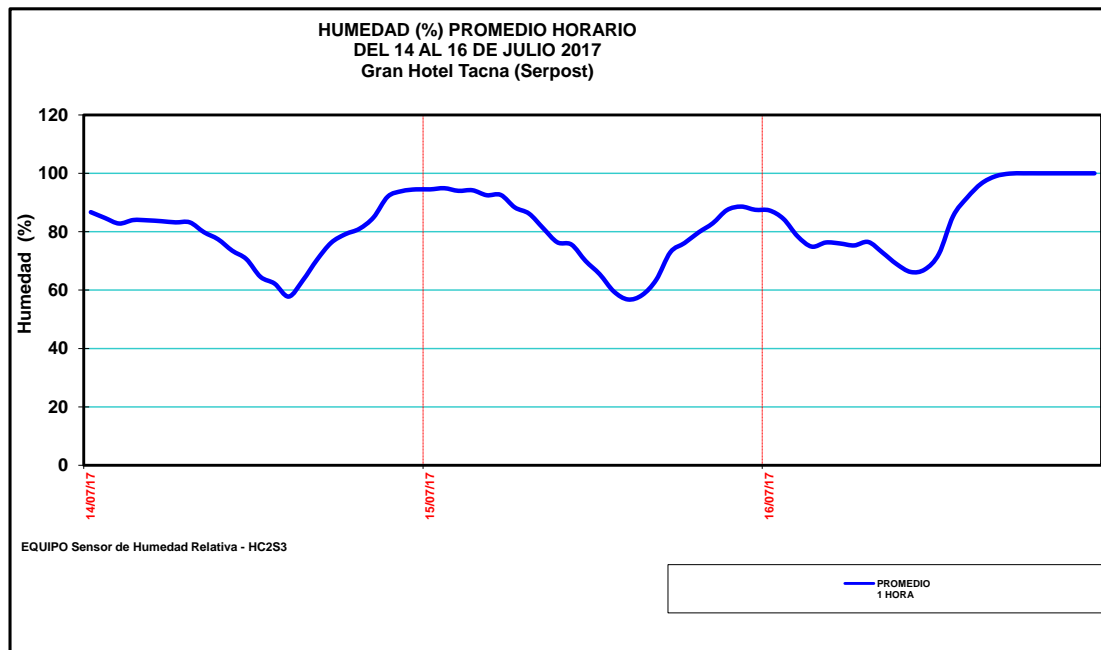
De la Tabla N° 21 y el Gráfico N° 24 se observa referencialmente que las concentraciones horarias de partículas PM_{10} , en la estación de monitoreo del Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8), durante el periodo de 24 horas, exceden los valores guía de la OMS, fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el horario de las 12:00 p.m., 3:00 p.m., 4:00 p.m. y 6:00 p.m. del día 14 de julio de 2017 y las 9:00 a.m. del día 15 de julio de 2017, mas no el ECA de Aire nacional fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, tenemos que el promedio registrado de PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, es de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire nacional para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor guía de la OMS fijado en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 25: Meteorograma de Temperatura promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).



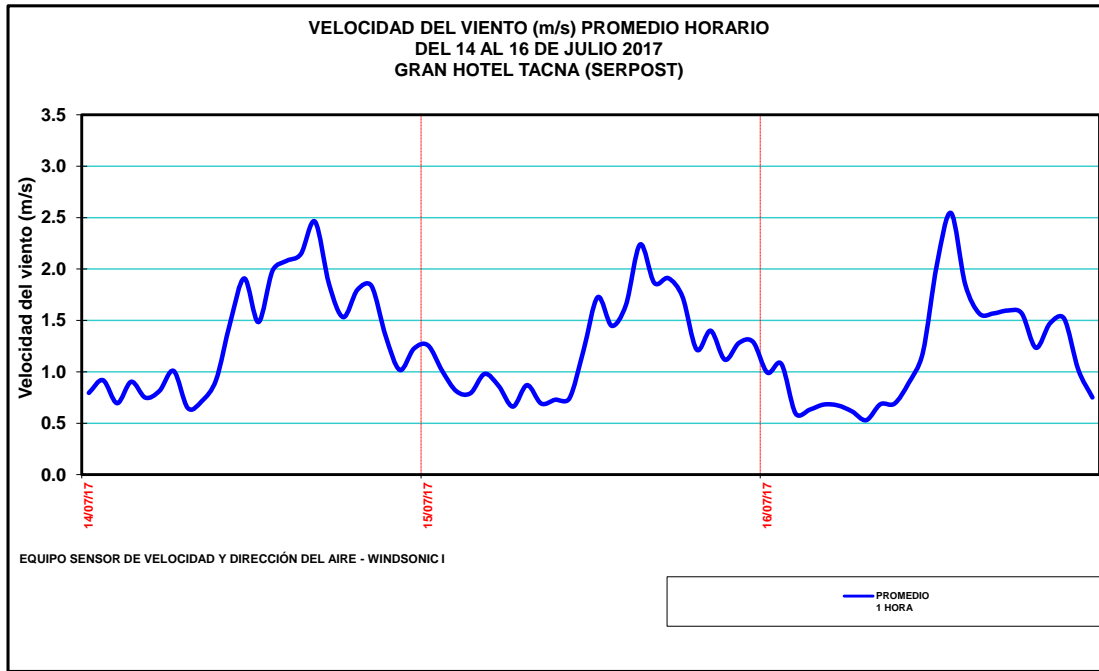
Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Gráfico N° 26: Meteorograma de Humedad Relativa promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).



Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Gráfico N° 27: Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria en la Estación de Monitoreo Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8).



Fuente: Elaboración Propia - Equipo de Monitoreo del Gobierno Regional de Tacna.

Interpretación:

Del Meteorograma de Temperatura promedio horaria, representado en el Gráfico N° 25, se observa que la amplitud térmica diaria para los días de monitoreo en la estación Gran Hotel Tacna (SERPOST) (E8) oscila entre 4.8°C a 5.7 °C, estando los valores extremos de mínimas y máximas temperaturas en relación inversa con los valores extremos de mínimas y máximas humedades relativas, representados en el Gráfico N° 26.

Por otro lado, del Meteorograma de Velocidad del viento promedio horaria, representado en el Gráfico N° 27, se observa que la intensidad de la velocidad del viento para los días de monitoreo se encuentra entre 0.5 m/s a 2.5 m/s, la cual puede ser considerado como una ligera brisa que puede transportar la presencia de contaminantes.

Resultados Promedio de las concentraciones horarias, durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de Monitoreo PM_{2.5} y PM₁₀ seleccionados E3, E7 y E8.

La tabla N° 22 muestra el resultado promedio de las concentraciones horarias, durante el periodo de 24 horas, para el análisis de material de partículas ≤ 2.5 y 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8.

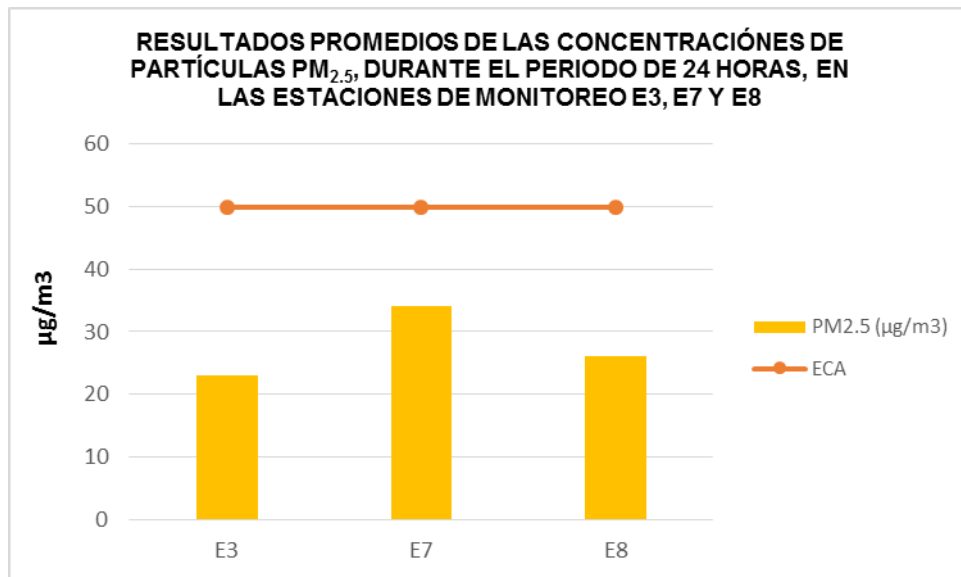
Tabla N° 22: Resultados promedio de las concentraciones horarias, durante el periodo de 24 horas, para el análisis de material de partículas ≤ 2.5 y 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Humedad relativa (%), Velocidad del Viento (m/s), en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8.

	Descripción	E3	E7	E8
1	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23	34	26
2	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45	62	38
3	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	14	15	14
4	Humedad relativa (%)	83	79	82
5	Velocidad del Viento (m/s)	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia.

Los gráficos N° 28 y N° 29 muestran los resultados promedios de las concentraciones de partículas PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente, durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 Vs ECA para el aire.

Gráfico N° 28: Resultados promedios de las concentraciones de partículas PM_{2.5}, durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 Vs ECA para el aire.

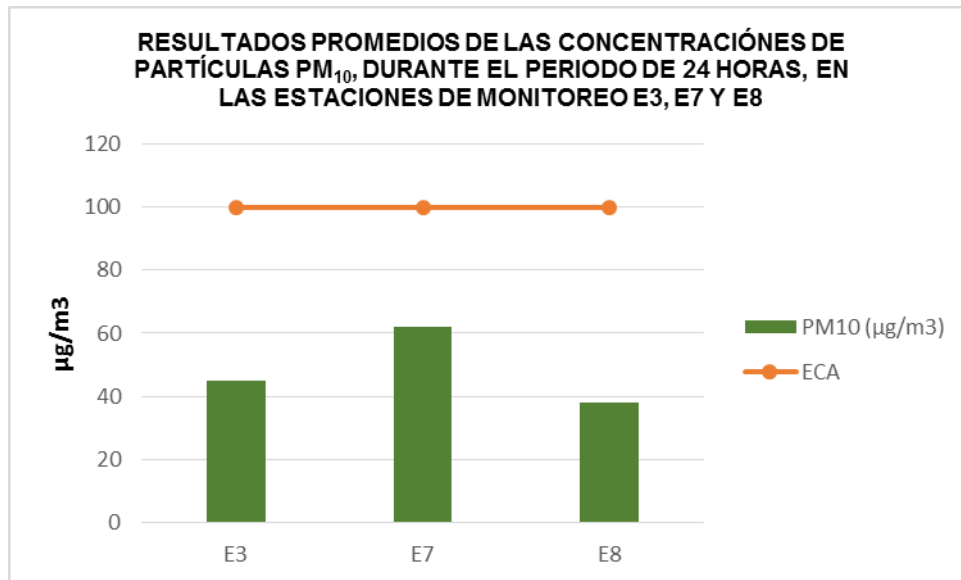


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

De la tabla N° 22 y el Gráfico N° 28, se observa que las concentraciones promedios de las concentraciones de partículas PM_{2.5}, durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 se encuentran por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire para PM_{2.5} fijado en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico N° 29: Resultados promedios de las concentraciones de partículas PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 Vs ECA para el aire.



Fuente: Elaboración Propia.

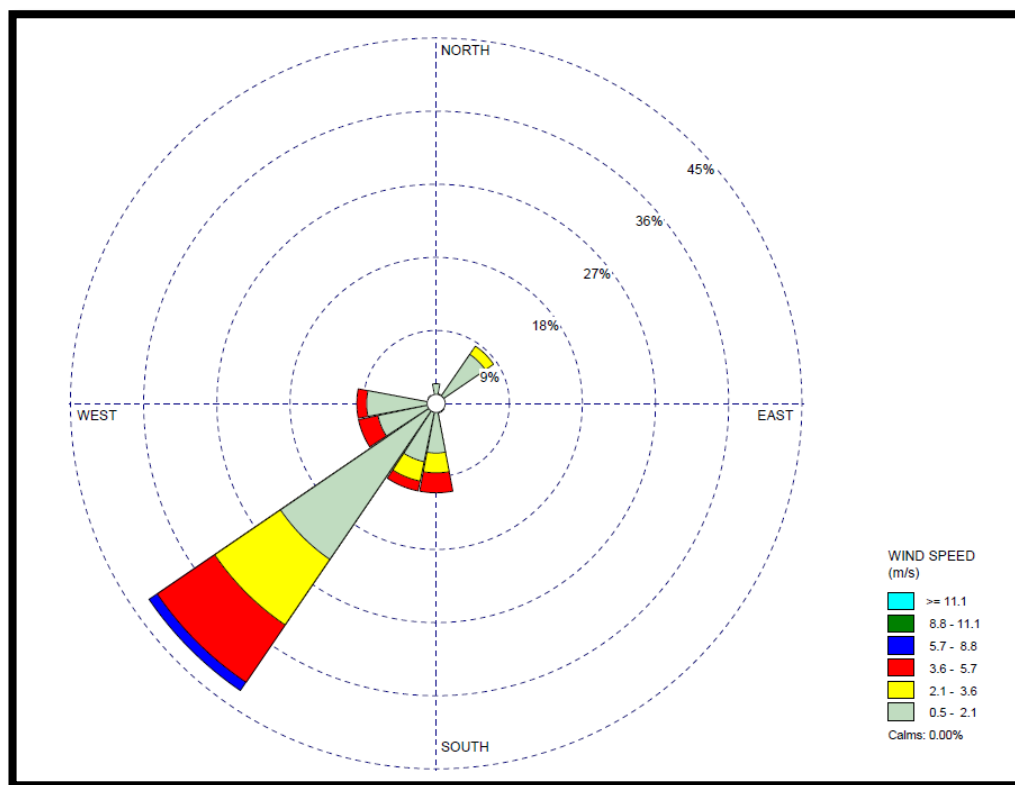
Interpretación:

De la tabla N° 22 y el Gráfico N° 29, se observa que las concentraciones promedios de las concentraciones de partículas PM_{10} , durante el periodo de 24 horas, en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 se encuentran por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del Aire para PM_{10} fijado en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.7. Rosa de Vientos en la Ciudad de Tacna

En el gráfico N° 30 se muestra la Rosa de Vientos de la estación meteorológica Jorge Basadre, ubicada en la localidad de Tacna, para el periodo comprendido desde el mes de febrero hasta el mes de mayo de 2017.

Gráfico N° 30: Rosa de Vientos obtenida de la estación meteorológica Jorge Basadre, para el periodo Febrero – Mayo 2017.



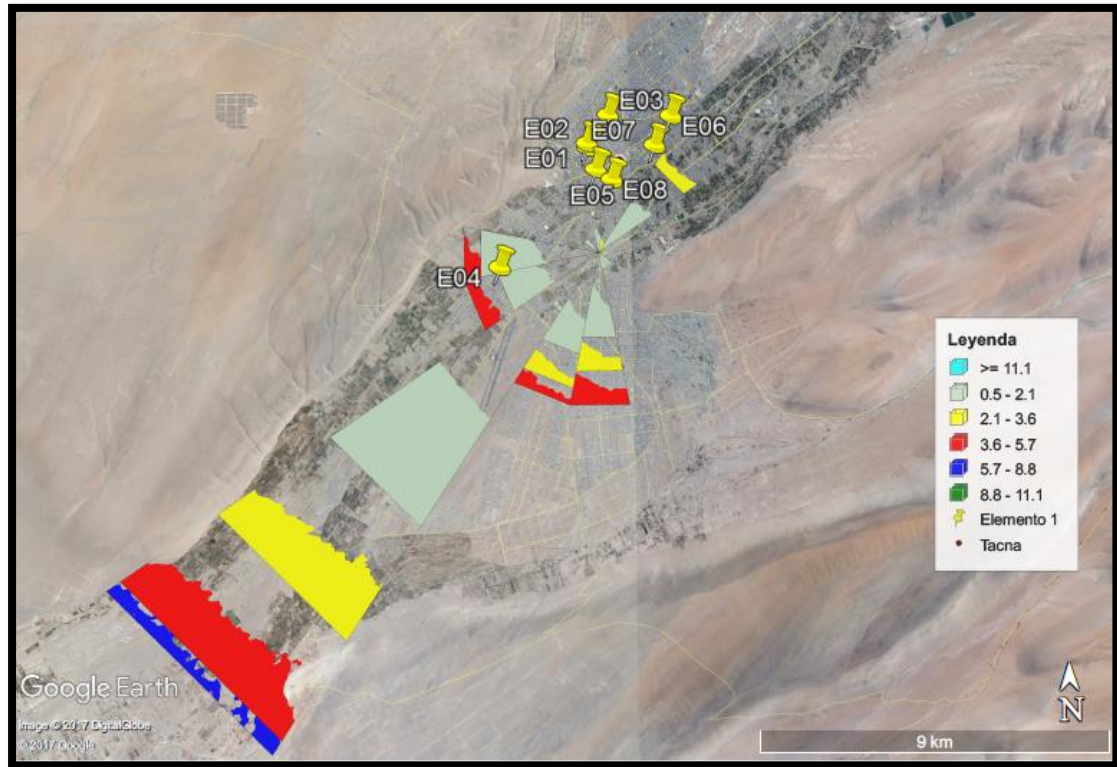
Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

La Rosa de Vientos de la estación meteorológica Jorge Basadre indica que la componente del viento Suroeste (SW) es la que mayormente predomina, en la localidad de Tacna, con intensidades de viento de hasta 8.8 m/s en esa misma dirección. Esta componente SW está asociada con el viento sinóptico del Anticiclón del Pacífico Sur que ingresa por el litoral costero de Tacna, induciendo una brisa mar – tierra en el sentido SW – NE.

En el gráfico N° 31 se muestra la distribución de los puntos de muestreo para el Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) y el monitoreo de PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente, así como también la Rosa de Vientos en la zona de estudio.

Gráfico N° 31: Mapa de Rosa de Viento y Estaciones de muestreo para el PAS y Monitoreo de $PM_{2.5}$ y PM_{10} por el método pasivo en la ciudad de Tacna.



Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

El gráfico N° 31, se muestra la Rosa de Vientos en la ciudad de Tacna indicándonos que la componente del viento Suroeste (SW) es la que mayormente predomina, con intensidades de viento de hasta 8.8 m/s en esa misma dirección, estando esta componente del SW asociada con el viento sinóptico del Anticiclón del Pacífico Sur que ingresa por el litoral costero de Tacna, induciendo una brisa mar – tierra en el sentido SW – NE, el cual transporta el material particulado en el ambiente en el sentido de la brisa mar – tierra hacia la ciudad de Tacna.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

- Como referencia, la Organización Mundial de la Salud – OMS ha establecido valores guía para la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) en el aire de $0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. La distribución de la concentración de PAS en la ciudad de Tacna sobrepasa estos valores establecidos, tal es el caso de La Zona 2 = Zona Intermedia de la Ciudad de Tacna, que supera el valor guía de la OMS con un valor de $0.65 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$; mientras que en la Zona 1 = Centro de la ciudad de Tacna, se encuentra por debajo del valor guía de la OMS con un valor de $0.48 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Este comportamiento diferenciado se debe a las condiciones que presenta la Zona 2 = Zona Intermedia es decir la existencia de alta densidad habitacional y tránsito intermedio; mientras que las condiciones de la Zona 01: Centro de la ciudad de Tacna, presenta la mayor parte de las calles pavimentadas, disminuyendo con ello la remoción de partículas.
- En las dos zonas de Monitoreo (Zona 1 y Zona 2) se observa que en el mes de Febrero de 2017 se presenta la mayor concentración de PAS en el aire, este comportamiento guarda relación con la estación de verano, donde se registran altas temperaturas y velocidad del viento ligeramente intensos, según los datos meteorológicos obtenidos de la estación de Tacna, en comparación con los registros meteorológicos del resto de meses monitoreados; lo que demuestra que las condiciones meteorológicas juegan un papel importante en el control natural de las PAS.
- Como principales fuentes de generación de PAS en el aire, tenemos al Transporte Urbano, calles sin Pavimentar, Acumulación y Quema de Residuos Sólidos y biomasa de los campos de cultivo, Desarrollo de Actividades económicas, principalmente las dedicadas a la comercialización de productos, lo que nos lleva a determinar la urgente necesidad de mejorar el parque automotor, mejorar las infraestructura de las emisiones que genera los restaurantes que utilizan carbón y zonificación urgente de la ciudad.
- Según la Organización Mundial de la Salud, al sobrepasar los valores guía establecidos para la concentración de PAS de $0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, como es el caso de los resultados obtenidos en ambas zonas de la ciudad de Tacna (Zona 1 y Zona 2) con un valor de $1.07 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ como Promedio Total Final, podemos inferir que la población está expuesto a presentar afecciones

respiratorias, oftalmológicas, dérmicas, influenciando en su desempeño diario, economía y estabilidad emocional.

- El monitoreo de partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la ciudad de Tacna se realizó en una etapa, es decir sólo en una época del año, en invierno, siendo el mes elegido el mes de julio. Para el desarrollo del presente monitoreo de partículas para una sola época se usó un equipo automático de propiedad del Gobierno Regional de Tacna (GORE).
- La estrategia de monitoreo utilizada por las normas legales peruanas indican el monitoreo de 24 horas continuas cada 6 meses, y los datos que de allí resulten son “suficientes” en términos legales. Sin embargo, la caracterización del aire, en el parámetro que sea, para obtener validez científica, académica y estadística requiere programas de monitoreo más extensos. En el presente estudio se han monitoreado 3 días, con frecuencia mensual para calcular el valor de las concentraciones de material particulado menor a 2.5 micrómetros y 10 micrómetros, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , por lo que puede considerarse los resultados obtenidos más claros o próximos.
- Se debe tener en cuenta que las Partículas Atmosféricas Sedimentables, sedimentan más rápido que el material particulado, ya que el material particulado por ser más fino demora en sedimentar, por tal motivo la diferencia de resultados al momento de aplicar ambas metodologías.
- Si bien es cierto que el monitoreo activo se realiza por 24 horas, establecido por la norma nacional, se evidencia una variación de la concentración en distintas horas.

1.1. CONCLUSIONES

- En la determinación de la concentración de Partículas Atmosféricas Sedimentables (PAS) mediante el método de muestreo pasivo realizado en la ciudad de Tacna se encontró que el resultado promedio final es de 1.07 $mg/cm^2/mes$ de PAS, el cual sobrepasa en 0.57 $mg/cm^2/mes$, los valores guía para la concentración de PAS establecidos por la Organización Mundial de la Salud OMS que es 0.5 $mg/cm^2/mes$.
- De la evaluación de los resultados de PAS en el aire se determinó que existe relación directa entre las condiciones meteorológicas y la generación de partículas sedimentables, como es el caso presentado en las dos zonas de Monitoreo, donde en el mes de febrero de 2017 se obtuvo la mayor

concentración de PAS con un valor de 1.93 mg/cm²/mes, y la mayor velocidad de viento (4.96 m/s) ; mientras que en el mes de marzo de 2017 se obtuvo la menor concentración de PAS con un valor de 0.49 mg/cm²/mes, y una menor intensidad de viento (4.64 m/s) .

- En la aplicación de la metodología automática de partículas menor a PM_{2.5} y PM₁₀, durante el periodo de 24 horas, en los puntos monitoreados de Leoncio Prado (E3), UNJBG (E7) y Gran Hotel de Tacna (SERPOST) (E8) se realizó en el mes de julio de 2017, obteniéndose concentraciones máximas de PM_{2.5} de 33.6 µg/m³ y de PM₁₀ de 61.59 µg/m³ en la estación de monitoreo E7, respectivamente; mientras que las concentraciones mínimas de PM_{2.5} de 22.6 µg/m³ se presenta en la estación de monitoreo E3 y de PM₁₀ de 38.14 µg/m³ se presenta en la estación de monitoreo E8, respectivamente.
- Las concentraciones promedio de material particulado (PM_{2.5}), para el periodo de 24 horas, son de 22.6 µg/m³ en la estación de monitoreo E3, de 33.6 µg/m³ en la estación de monitoreo E7 y de 26.27 µg/m³ en la estación de monitoreo E8, respectivamente; mientras que las concentraciones promedio de material particulado (PM₁₀), para el periodo de 24 horas, son de 44.66 µg/m³ para la estación de monitoreo E3, de 61.59 µg/m³ para la estación de monitoreo E7 y de 38.14 µg/m³ para la estación de monitoreo E8, respectivamente. En consecuencia, las concentraciones de material particulado PM_{2.5} y PM₁₀, se concluye que en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8 se encuentran por debajo del ECA para Aire de, respectivamente de acuerdo al D.S. N° 003-2017-MINAM.
- De acuerdo a los resultados promedio obtenidos del monitoreo de PM_{2.5} y PM₁₀, concluimos que superan los valores guía 25 y 50 µg/m³ diario de PM_{2.5} y PM₁₀, establecidos por la Organización Mundial de la Salud.
- De acuerdo a la Rosa de Vientos en la ciudad de Tacna se ha podido observar que la componente del viento Suroeste (SW) es la que mayormente predomina, con intensidades de viento de hasta 8.8 m/s en esa misma dirección, estando esta componente del SW asociada con el viento sinóptico del Anticiclón del Pacífico Sur que ingresa por el litoral costero de Tacna, el cual induce una brisa mar – tierra en el sentido SW – NE, que a su vez contribuye el transporta del material particulado en el ambiente en el sentido de la brisa mar – tierra hacia la ciudad de Tacna, esto se puede comprobar en los resultados obtenidos en la estación E7 y E8 , los cuales tuvieron mayor concentración de material particulado.

1.2. RECOMENDACIONES

- Sugerir al Gobierno Regional y/o la Municipalidad Provincial de Tacna considerar la importancia de incrementar los entornos ecológicos como las áreas verdes con la finalidad de mitigar el Polvo Atmosférico Sedimentable.
- Elaborar un plan de desarrollo de la ciudad de Tacna mejorando la descongestión vehicular, mejorar el parque automotor y la zonificación de las actividades económicas y comerciales.
- La Municipalidad Provincial de Tacna, debe establecer un sistema de vigilancia de la calidad del aire que sea liderado por la Comisión del Medio Ambiente, a través de sus organizaciones de base más representativas, asesorada por la coordinación inter institucional, este sistema podría constar de una estación de monitoreo fija.
- Se recomienda realizar el monitoreo de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones de monitoreo E3, E7 y E8, en la estación de verano, con la finalidad de realizar una comparación con los resultados obtenidos en la estación de invierno y de esta manera analizar la variación de resultados.
- El Ministerio de Salud debe asesorar a la Dirección Regional de Salud, para que implemente actividades de monitoreo de la calidad del aire con la finalidad de prevenir riesgos a la salud de la población de Tacna.
- Se deben de realizar estudios epidemiológicos que relacione la presencia de material particulado en el ambiente y las enfermedades respiratorias.
- Este estudio permitirá a las instituciones encargadas, como son el Gobierno Regional y la Municipalidad Provincial de Tacna, optar por una metodología económica, para determinar puntos de muestreo en una red de monitoreo de calidad de aire, basado en un muestreo pasivo.
- Considerar como puntos fijos de monitoreo continuo de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones E3, E7 y E8 por ser las que presentaron mayor concentración de partículas atmosféricas sedimentables, previo muestreo pasivo y ser considerados puntos críticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente, D. G. (2013). *Plan de Acción para la mejora de la calidad del aire en la zona de atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de Tacna*. Tacna.
- Bances Estela, V. M. (2003). *Contaminación Atmosférica y su Impacto Ambiental en la Ciudad de Moyobamba*. San Martín.
- Bedoya, J., & Martínez, E. (12 de Diciembre de 2008). *Calidad del Aire en el Valle de Aburrá Antioquia - Colombia*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n158/a01v76n158.pdf>
- Benza, J. C. (1982). Métodos estadísticos para la investigación. En J. C. Benza, *Métodos estadísticos para la investigación* (pág. 643). Lima: Milagros.
- Benza, J. C. (1982). Metodos estaditicos para la investigacion. En J. C. Benza, *Metodos estaditicos para la investigacion*. Lima: Milagros.
- BioEnciclopedia. (28 de Marzo de 2014). *Contaminación atmosférica*. Recuperado el 20 de Julio de 2014, de Contaminación atmosférica: <http://www.bioenciclopedia.com/contaminacion-atmosferica/>
- Chachapoya, M. P. (2015). "Valoración de la Campaña de Monitoreo Pasivo De Gases en la Ciudad de Ambato Para el Diseño del Sistema de Calidad del Aire de la Ciudad 2013 - 2014". Quito.
- Coral, F. R. (2012). "Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012". Moyobamba.
- Cotrina, J. S. (2008). *Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la zona metropolitana de Lima-Callao*. Lima.
- Escobar, A. M., & Aquino, D. M. (2012). "Comparación de los Métodos De Bergerhoff y Placas Receptoras Para la Cuantificación de Polvo Atmosférico Sedimentable". San Salvador.
- Gaitán, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (1 de Octubre de 2007). *Análisis del estado de la calidad del aire*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>
- Gómez, A., Henao, E., Molina, E., & Molina, F. (2003). "Evaluacion de las particulas suspendidas totales (PST) y particulas respirables (PM10) en la Zona Guayaquil,Medellin,Colombia". *Facultad de Ingenieria No. 30* ., 24-33.
- Herrera, J., Rojas, J. F., Beita, V. H., Rodríguez, A., & Argüello, D. S. (2015). "Concentración y composición química de partículas PM10 en el área metropolitana de Costa Rica en 2012". *Revista de Ciencias Abientales Tropical Journal of Environmental*, 39-53.
- Huatuco, R. M., & Romero, A. V. (2011). "Contaminacion del Aire por Material Particulado en la ciudad Universitaria - UNMSM". En *Proyecto Libro Digital* (págs. 1-14). Lima: Guzlop.
- INEI. (26 de Agosto de 2016). *Departamento de Tacna cuenta con una población de 346 mil habitantes*. Obtenido de Departamento de Tacna cuenta con una población de 346 mil habitantes: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/departamento-de-tacna-cuenta-con-una-poblacion-de-346-mil-habitantes-9270/>

- Jeronimo Garcia V., J. T. (2008). "Evaluación del grado de contaminación del aire en el Centro Histórico de Lima". *ANALES CIENTIFICOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA*, 1-11.
- Korc Marcelo, F. F. (2000). El Proceso de Fijación y Revisión de Normas de calidad del aire. En F. F. Korc Marcelo, *El Proceso de Fijación y Revisión de Normas de calidad del aire*. Lima: CEPIS-OPS.
- Londoño, C. A., & Vasco, G. J. (2008). "Relación Entre las Partículas Finas (PM2.5) y Respirables (PM10) en la Ciudad De Medellín". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 23-42.
- Molina, M. (2001). Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del aire. En M. Molina, *Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del aire*. México.
- Ocmin, Y. (2013). MONITOR DE PARTÍCULAS TEOM 1405DF. Lima, Lima, Perú: ENVIROEQUIP SAC.
- OEFA. (s.f.). EQUIPOS DE MEDICION DE LA CALIDAD DE AIRE. LIMA, LIMA, PERÚ: MINAM.
- Rodriguez, E. (2005). *Metodología de la Investigación*.
- Rodríguez, V. (17 de Mayo de 2017). *Diferencia entre adsorción y absorción*. Recuperado el 24 de Julio de 2017, de Diferencia entre adsorción y absorción: <https://diferencias.eu/entre-adsorcion-y-absorcion/>
- Sandoval, H. (2000). Contaminación y contaminantes, aspectos científicos, teóricos y prácticos. En H. S. L, *Contaminación y contaminantes, aspectos científicos, teóricos y prácticos*. Lima.
- Santiago, O. G. (2009). *Determinación del contenido de PAH's en partículas PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular y otra con potencial exposición industrial del Área Metropolitana de Monterrey*. Monterrey.
- SENAMHI. (2012). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. En SENAMHI.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz De consistencia.

Interrogante del Problema	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	Indicadores	Prueba estadística o estrategia
<p>1. Problema principal</p> <p>¿Cuál es la concentración de polvo atmosférico (PAS) y PM2.5 y PM10 en la ciudad de Tacna?</p>	<p>1. Objetivo general</p> <p>Evaluar la concentración de polvo atmosférico sedimentable (PAS) mediante el método de Placas Receptoras y su relación con el material particulado PM2.5 y PM10, en la ciudad de Tacna, 2017.</p>	<p>1. Hipótesis general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hi1: La evaluación de concentración de partículas sedimentables atmosféricas en la ciudad de Tacna sobrepasan los valores guía establecidos por la OMS 0.50 mg/cm2/mes. • Hi2: La evaluación del material particulado (PM2.5) en la ciudad de Tacna sobrepasa el ECA para el aire 50 µg/cm3/día • Hi3: La evaluación del material particulado (PM10) en la ciudad de Tacna sobrepasa el ECA para el aire 100 µg/cm3/día <p>• Ho1: La evaluación de concentración de partículas sedimentables atmosféricas en la ciudad de Tacna no sobrepasan los valores guía establecidos por la OMS de 0.50 mg/cm2/mes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hi2: La evaluación del material particulado (PM2.5) en la ciudad de Tacna no sobrepasa el ECA para el aire 50 µg/cm3/día • Hi3: La evaluación del material particulado (PM10) en la ciudad de Tacna no sobrepasa el ECA para el aire 100 µg/cm3/día 	<p>VD: Concentración de Partículas Atmosféricas Sedimentables y Material Particulado PM10 PM 2.5</p>	<p>Valores guía de la OMS ECA para aire del Perú</p>	<p>1. Tipo de investigación Es tipo de investigación es principalmente de carácter Experimental</p> <p>2. Nivel de Investigación El nivel de la presente investigación.</p> <p>Descriptivo: Es descriptivo porque está orientada al conocimiento de la realidad del sector ambiental en la Calidad del aire.</p> <p>Explicativo: Está orientada al descubrimiento de la existencia de valores significativos para PAS , PM2.5 y PM10, mediante el uso de Placas petri y estación móvil.</p> <p>3. Descripción del ámbito de la investigación Es estudio se realizará con escenarios de similitudes condiciones como la presencia de zonas urbanas, comerciales y fluidez vehicular.</p> <p>4. Población y muestra Población: Áreas seleccionadas dentro de la ciudad de Tacna. Muestra: Conformado por 8 puntos para la primera evaluación con la placa petri y 3 puntos críticos con equipo móvil para concentración .</p>
<p>2. Problemas secundarios</p> <p>¿Cuáles son las concentraciones que se presentan en los puntos de muestreo?</p> <p>¿Cuáles son los puntos que sobrepasan los valores guía establecidos por la OMS para el Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) ?</p> <p>¿Existe puntos de monitoreo con valores significativos que pueden ser incluidos?</p>	<p>2. Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la concentración de PAS utilizando el método de Placas Receptoras en los puntos de muestreo ubicados en la ciudad de Tacna. • Identificar puntos críticos de contaminación que superan los valores guía establecidos por la OMS , para realizar monitoreo del PM2.5 y PM10 aplicando metodología activa. • Proponer estaciones de monitoreo de control de contaminación atmosférica en la ciudad de Tacna para incluirlos en la red de monitoreo de calidad de aire de Tacna, según los resultados obtenidos de la aplicación del método de Placas Receptoras y uso estación móvil (PM2.5 y PM10). 	<p>2. Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen diferencias significativas entre los resultados de concentración de PAS en los diferentes puntos de muestreo ubicados en la zona urbana de Tacna. • Existen puntos críticos de muestreo que exceden los valores guía de la OMS. <p>• Existen puntos críticos de monitoreo que exceden el ECA Aire nacional.</p> <p>• Los puntos de muestreo que presentan resultados de concentración de PAS significativos pueden ser incluidos en la red de monitoreo de la calidad de aire de Tacna.</p>	<p>• Características socioeconómicas</p>	<p>Actividades Socioeconómicas. Parque Automotor</p>	

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 02 . Fichas de muestreo PAS.

FICHA PAS PUNTO N°1

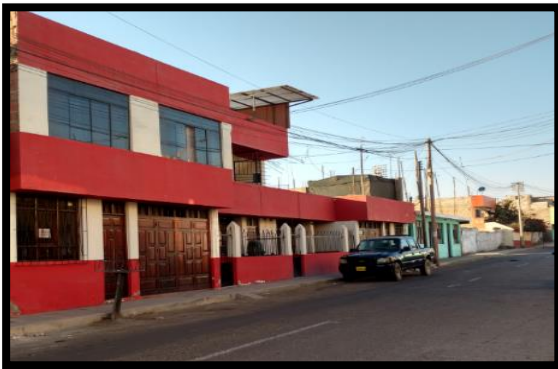
1. LOCALIZACIÓN: VIVIENDA 1

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
367143.83 E	8008544.38 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTREADO



FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 144.2618	144.2618	144.2618	144.2618
Pv: 144.5765	144.5895	144.4348	144.706
Pf: 144.7181	144.6139	144.4811	144.7235

FICHA PAS PUNTO N°2

1. LOCALIZACIÓN: OFICINA DEL INSTITUTO PERUANO DEL DEPORTE.

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
367125.82 E	8008656.90 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTREADO

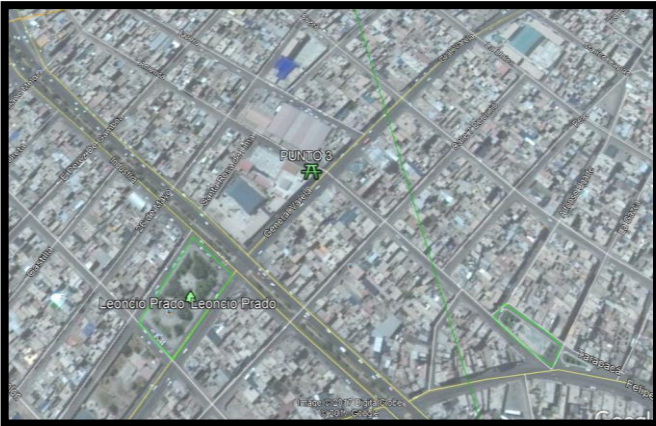


FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 141.3478	141.3478	141.3478	141.3478
Pv:141.5288	141.5591	141.5959	141.8008
Pf: 141.6109	141.5647	141.6844	141.8978

FICHA PAS PUNTO N°3

1. LOCALIZACIÓN: CENTRO DE SALUD
LEONCIO PRADO

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
367659.91 E	8009352.35 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MONITOREADO



	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 145.1862	145.1862	145.1862	145.1862	145.1862
Pv: 145.3528	145.5452	145.4118	145.4492	145.4492
Pf: 145.6806	145.6466	145.5307	145.5812	145.5812

FICHA PAS PUNTO N°4

1. LOCALIZACIÓN: CENTRO DE SALUD
LEGUÍA

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
364911.34 E	8005610.15 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTREADO



FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 143.2569	143.2569	143.2569	143.2569
Pv: 143.4895	143.4970	143.5157	143.5282
Pf: 143.7106	143.5625	143.6121	143.8024

FICHA PAS PUNTO N°5

1. LOCALIZACIÓN: ESTACIÓN DE BOMBEROS N°24

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
367340.85 E	8008013.75 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MONITOREADO

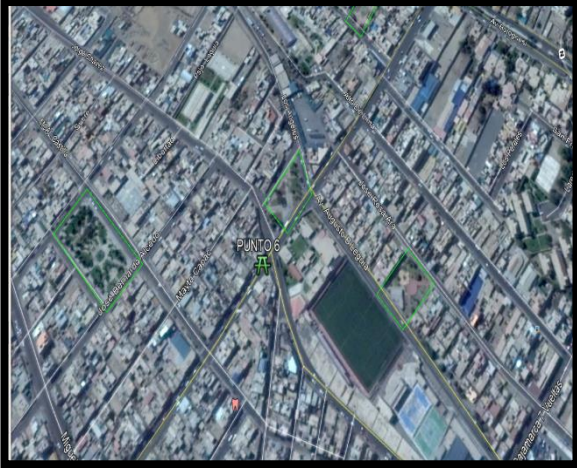


	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 144.4044	144.4044	144.4044	144.4044	144.4044
Pv: 144.4381	144.6456	144.6389	144.4431	
Pf: 144.4833	144.6901	144.6723	144.4834	

FICHA PAS PUNTO N°6

1. LOCALIZACIÓN: CENTRO DE SALUD BOLOGNESI

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
369223.94 E	8009316.23 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTREADO

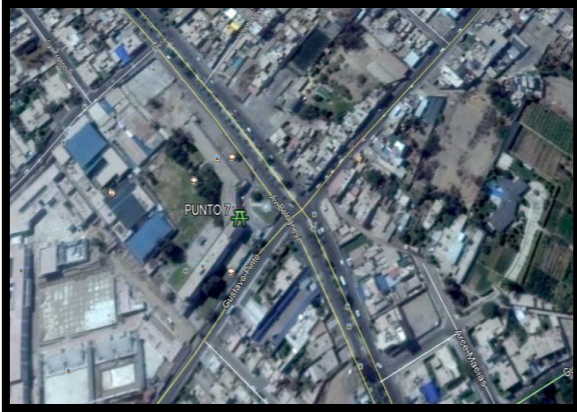


FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 144.3717	144.3717	144.3717	144.3717
Pv: 144.5474	144.6199	144.6085	144.7274
Pf: 144.5638	144.6688	144.676	144.8121

FICHA PAS PUNTO N°7

1. LOCALIZACIÓN: CENTRO DE POST GRADO UNJBG

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
368809.47 E	8008595.80 S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTRE

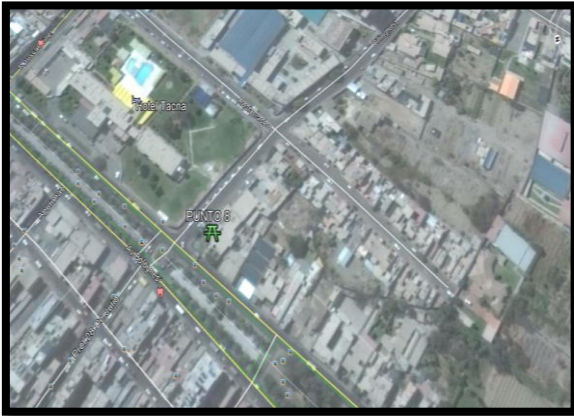


FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 144.6164	144.6164	144.6164	144.6164
Pv: 144.6821	144.8295	144.8543	144.9519
Pf: 144.8583	144.9399	144.9319	145.0497

FICHA PAS PUNTO N°8

1. LOCALIZACIÓN: SERPOST

2. COORDENADA – VALOR (UTM WGS-84)



ESTE	SUR
367739.69 m E	8007759.97 m S

3. IMAGEN DEL LUGAR MUESTREADO



FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Pi: 143.489	143.489	143.489	143.489
Pv: 143.5385	143.7563	143.6755	143.995
Pf: 143.7830	143.8895	143.823	144.1964

ANEXO 03. Panel Fotográfico.

CAMPO: MUESTREO PARTICULAS ATMOSFÉRICAS SEDIMENTABLES



Colocación de Placas en los respectivos puntos a monitorear



PUNTO1. Vivienda 1



PUNTO 2. Oficina del Instituto
Peruano del Deporte



Placa con vaselina



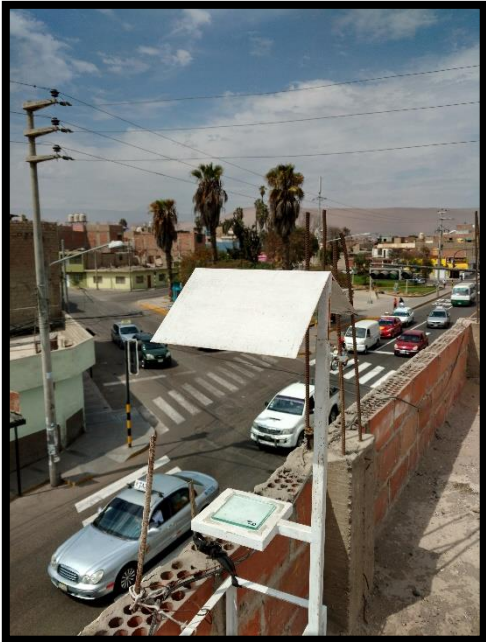
PUNTO 3. C.S Leoncio Prado



PUNTO 4. C.S. Leguía



PUNTO 5. Estación de Bomberos N°24



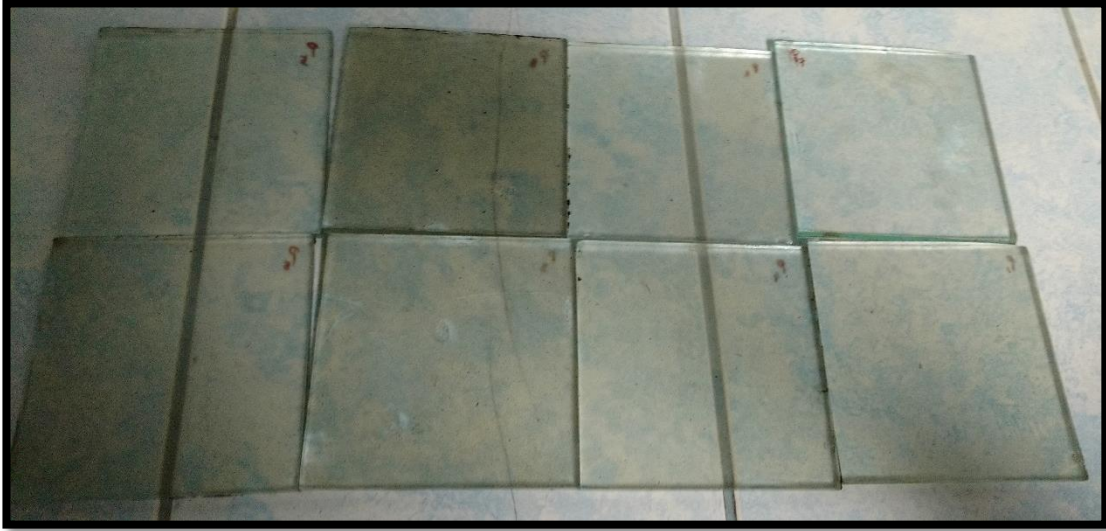
PUNTO 6. C.S. Bolognesi



PUNTO 7. Centro de Post Grado UNJBG



PUNTO 8. SERPOST



Placas con PAS

LABORATORIO:



Preparación de las placas de vidrio con vaselina



Codificación de placas



Pesaje Inicial de placa y placa + vaselina



Pesaje final placa + PAS



Análisis de datos

CAMPO: MONITOREO DE PARTICULAD PM2.5 Y PM10

Estación de monitoreo en el Gran Hotel Tacna (Serpost)



MONITOREO DE PARTICULAS PM2.5 Y PM10

Estación de monitoreo en el Centro de Salud Leoncio Prado



MONITOREO DE PARTICULAS PM2.5 Y PM10

Estación de monitoreo en el Centro de Post Grado UNJBG.



ANEXO 04. Mapa de Resultados.