

Determinación de la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en vías urbanas de la ciudad de Tarapoto, Perú

Determination of the concentration of particulate material less than 10 microns (PM₁₀) in urban roads of the city of Tarapoto, Peru

Nelson Yohel Rodríguez Calampa^{1*}

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en vías urbanas de la ciudad de Tarapoto (Perú), producto de la emisión de gases del parque automotor y otras actividades que generan agentes atmosféricos contaminantes. Para realizar la evaluación se seleccionaron dos estaciones de monitoreo; la ubicación de las estaciones, el muestreo de material particulado y el procesamiento de datos se realizó teniendo en cuenta la metodología establecida en el protocolo nacional de monitoreo de calidad de aire propuesto por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Los resultados obtenidos se compararon con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECAs) y el Índice de Calidad del Aire (INCA). Los resultados registrados en las Estaciones 1 y 2 fueron de 33,99 y 37,88 µg/m³, respectivamente, los cuales demuestran que no se han excedido las concentraciones del contaminante de PM₁₀ establecidas en los ECAs de 150 µg/m³. Finalmente, al comparar con el INCA se establece que la calidad del aire se encuentra dentro del rango establecido como "BUENA".

Palabras clave: Calidad de aire, contaminación, estándares, índice, medio ambiente.

ABSTRACT

The present study evaluated the concentration of particulate matter less than 10 microns (PM₁₀) in urban roads of the city of Tarapoto (Peru), due to the emission of gasses from the car park and other activities that generate atmospheric pollutants. In order to carry out the evaluation, two monitoring stations were selected; the location of these stations, the sampling of particulate material and the data processing were chosen taking into account the methodology established in the national air quality monitoring protocol proposed by the General Directorate of Environmental Health (DIGESA). The results obtained were compared with the National Air Quality Standards (ECAs) and the Air Quality Index (INCA). The results recorded in Stations 1 and 2 were 33.99 and 37.88 µg / m³, respectively, which demonstrate that PM₁₀ contaminant concentrations established in RCTs of 150 µg / m³ have not been exceeded. Finally, when comparing with the INCA, it is established that the air quality is within the range established as "GOOD".

Keywords: Air quality, pollution, standards, index, environment..

¹Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Jr. Los Mártires 340, Urb. Santa Lucía - Morales, Tarapoto, Perú

* Autor de correspondencia: E-mail: nelson.rodriguez@upeu.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Como partículas se entiende cualquier sustancia, excepto agua pura que, bajo condiciones normales pueden estar presentes en estado sólido o líquido en la atmósfera, y tienen tamaño microscópico o submicroscópico, mayor que las dimensiones típicas moleculares (Rodríguez, 2003; Pérez *et al.*, 2010). Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (partículas primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (partículas secundarias) (Hopke, 2003; Larsen, 2004; Miranda y Ortiz, 2008; Echeverri y Maya, 2008). La contaminación del aire es un problema que afrontan muchas ciudades del mundo (Chappie y Lave, 1982; Larsen, 2004). El último reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del año 2014 sobre el Perú, señaló a Lima como la ciudad latinoamericana con el aire más contaminado. Entre las principales causas de este fenómeno se mencionaron los gases emitidos por el parque automotor, los gases y polvos generados por las industrias pesquera, minera, metalúrgica y petrolera, entre otras, así como la quema de desechos y otros hábitos nocivos de la población (OMS, 2007). Por otro lado en la región de San Martín se ha percibido un incremento de los agentes atmosféricos contaminantes, especialmente en las ciudades con mayor magnitud de población como Tarapoto y Moyobamba, siendo las principales fuentes de contaminación del aire la emisión de gases del parque automotor, en mayor proporción de los vehículos menores (motos y mototaxis), seguido por la generación de humos de las zonas comerciales e industriales, debido a la falta de un plan de desarrollo urbano eficiente y un limitado conocimiento en el desarrollo de buenas prácticas ambientales, lo que significa que estos factores influyen en la calidad de aire de la ciudad. (MINAM, 2013; INEI, 2014)

La presencia de partículas en la atmósfera, solas o combinadas con otros contaminantes, constituye un problema ambiental, el cual genera riesgos para la

salud, afectando el sistema respiratorio humano (Nieto, 1993; Echeverri y Maya, 2008; Miranda y Ortiz, 2008); además, aun en concentraciones bajas de partículas respirables ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se pueden incrementar los riesgos de infecciones respiratorias agudas (IRA) y episodios asmáticos (Abbey *et al.*, 1995; Herrera, 2011). La exposición a estas partículas supone graves riesgos para la salud en muchas ciudades de los países desarrollados y en desarrollo. Es posible establecer una relación cuantitativa entre el nivel de contaminación y parámetros como la mortalidad o la morbilidad. La evidencia epidemiológica indica que un aumento en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las partículas PM10 está asociado a un aumento alrededor del 1% en la mortalidad por todas las causas (OMS, 2006).

El efecto de la contaminación del aire sobre el ambiente y el bienestar de la población ha sido una preocupación frecuente de organismos locales e internacionales, y los gobiernos tienen la misión y la facultad de establecer normas y estándares de calidad del aire que aseguran la protección de la salud y el bienestar público, estos indican los niveles ambientales de contaminación que no pueden ser excedidos legalmente en una región en cuestión (PCM, 2001; Pabón *et al.*, 2001; DIGESA, 2005; Pacheco *et al.*, 2005). A nivel de Perú existen normativas como los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA) y el Índice de Calidad del Aire (INCA), que regulan la contaminación atmosférica por PM_{10} . Por otra parte, la Resolución Ministerial N° 339-2012 del Ministerio del Ambiente-MINAM, clasifica a la ciudad de Tarapoto dentro de las dieciocho Zonas de Atención Prioritaria, donde se deberán formular y evaluar planes de acción para el mejoramiento de la calidad del aire (MINAM, 2012).

La presente investigación pretende determinar la concentración de material particulado en suspensión menor a 10 micras (PM_{10}) en el medio atmosférico de la ciudad de Tarapoto (Departamento San Martín), además de comparar con los niveles establecidos en los Estándares nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA) y el Índice de Calidad del Aire (INCA).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

La ciudad de Tarapoto es la capital de la provincia de San Martín; se encuentra ubicada en el valle de los ríos Cumbaza y Shilcayo, a 08° 07' de Latitud, 79° 01' de Longitud y a 350 m.s.n.m. de altitud (Figura 1). Cuenta con una superficie aproximada de 67,81 km². La población estimada para el 2015 en la ciudad de Tarapoto es de 144186 habitantes, y se dedica, principalmente, a la actividad agropecuaria; además, las activi-

dades de transformación y de servicios son de mucha importancia, pues su economía se mueve en base a estos (INEI, 2009; MPS, 2015).

El clima predominante en esta ciudad es “cálido y semi-seco”, y presenta una temperatura media anual de 33 °C, con una precipitación promedio anual de 1213 mm. La humedad relativa varía de acuerdo al ciclo de la lluvia, con una media anual del 77% (INDECI, 2005).

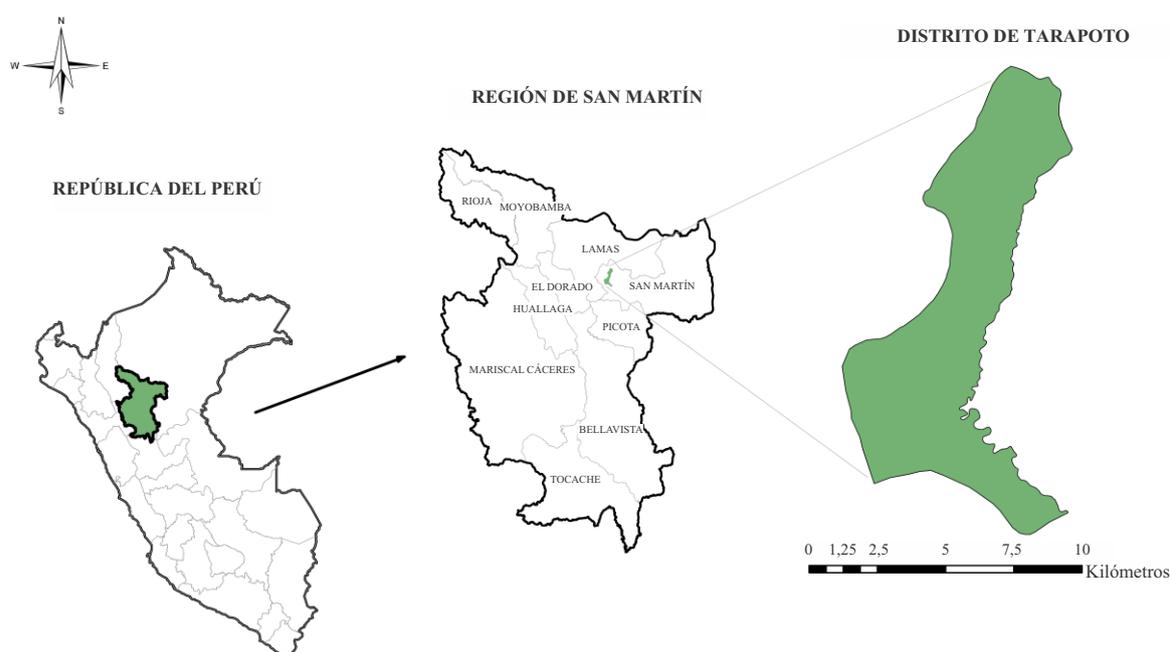


Figura 1. Ubicación de la región San Martín y localización del distrito de Tarapoto.

Selección de las estaciones de muestreo

Para la selección de las estaciones de monitoreo se tuvo en cuenta el protocolo nacional de monitoreo de calidad de aire propuesto por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Se seleccionaron dos puntos representativos en la ciudad, ubicados en el Jr. Alfonso Ugarte N°1591 y en la Av. Circunvalación Cdr. 18 (Figura 2).

Preparación de los filtros

Los filtros utilizados para captar el PM₁₀ fueron de cuarzo con una porosidad de 0,3 µm. La preparación consistió en revisar cada filtro a fin de identificar previamente algún defecto que pueda alterar los resultados. Seguidamente se rotuló de forma continua

cada filtro para evitar confusiones. Para eliminar la humedad ambiental los filtros fueron colocados por 24 horas en una estufa a 30 °C; seguidamente se colocaron en un desecador durante 30 minutos, considerando esto el peso inicial (P_{inicial}).

Instalación de muestreador de alto volumen Hi-Vol
El equipo Hi-Vol se situó en una superficie plana, a una altura de cuatro metros de la superficie terrestre, sobre el techo de una vivienda. Previo a la instalación del filtro se efectuó la limpieza del porta-filtros y los compartimientos de filtración, se colocó el filtro con la superficie rugosa hacia arriba sobre el porta-filtros (Figura 3). Para asegurarse de no contaminar el filtro se utilizaron guantes quirúrgicos y pinzas. Se aseguró

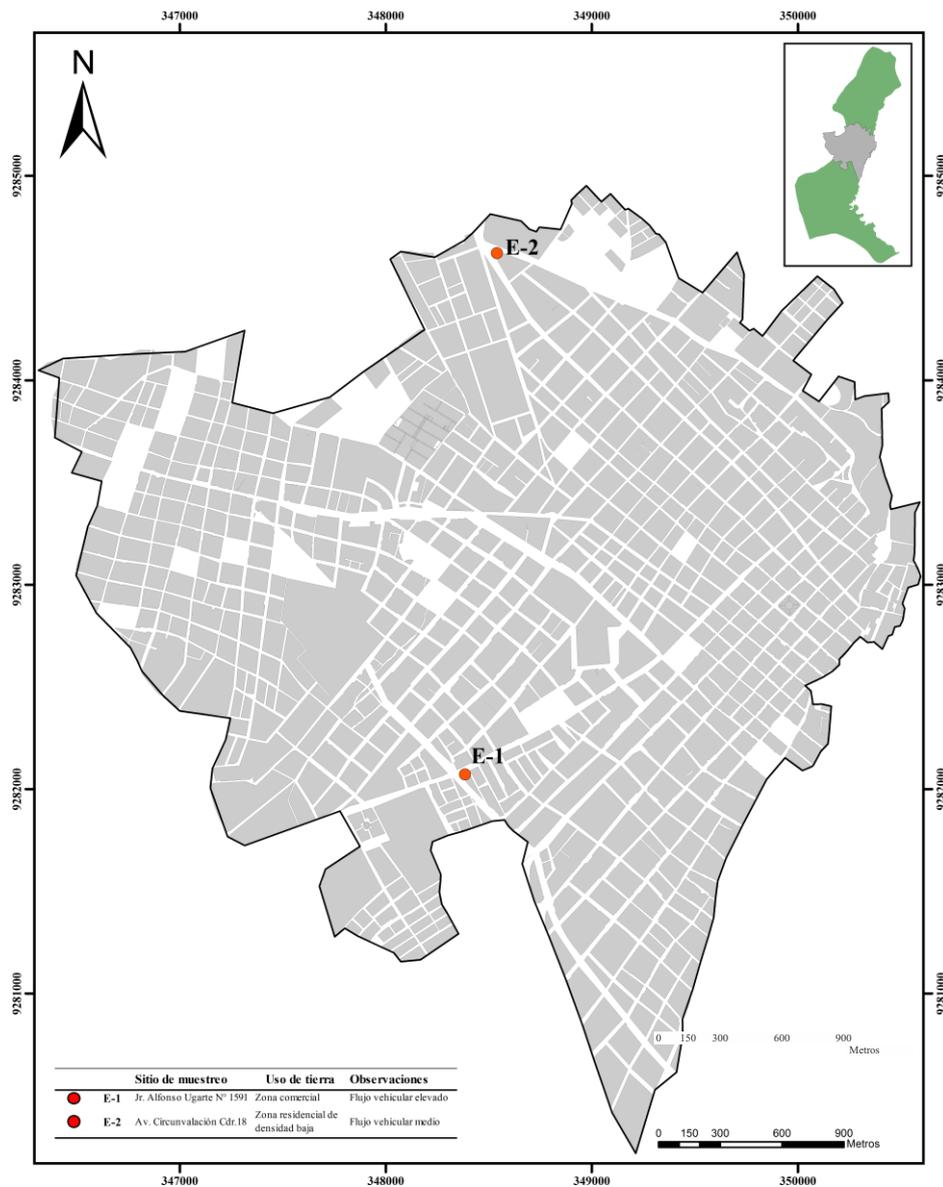


Figura 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Tarapoto

el portafiltras con los tornillos de sujeción para evitar escapes de aire. Finalmente se accionó el equipo, dejándolo funcionar por 24 horas.

Muestreo de partículas en suspensión menores de 10 µm (PM₁₀)

El muestreo material particulado menores de 10 micras se realizó según el protocolo de monitoreo de calidad de aire y gestión de datos propuesto por DIGESA, se utilizó un equipo muestreador de alto volumen (Hi-Vol) (Tabla 1). El método permitió medir la concentración de partículas con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm (PM₁₀) en el aire del

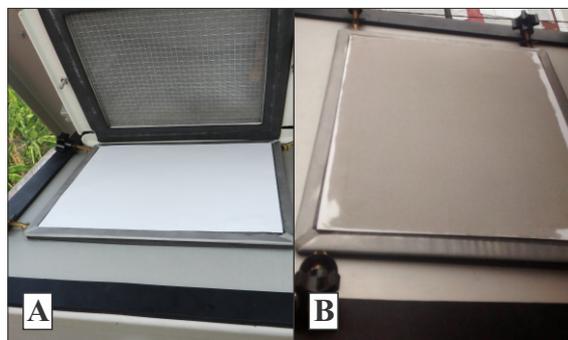


Figura 3. A. Filtro colocado, antes del muestreo; B. Filtro después del muestreo para ser retirado.

ambiente, en un periodo de muestreo de 24 ± 1 horas. (DIGESA, 2005).

Tabla 1. Especificaciones del equipo Hi-Vol

Equipo	Marca	Modelo	Método de Referencia	Método de Análisis
PM 10	Thermo Scientific	G10557 - PM10 -1	ASTM	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Motor	Thermo Scientific	GBM2360 -1		
Indicador de tiempo	Thermo Scientific	G105 -1		
Temporizador digital	Thermo Scientific	G303 -1		

El tiempo de toma de muestra fue en un periodo de 24 horas según lo establecido en el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire y al calendario utilizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA 2001; EPA, 2002; EPA, 2003). Adicionalmente se realizó la eva-

luación de factores meteorológicos (temperatura ambiental, humedad, dirección y velocidad del viento), estos datos se evaluaron en el punto de la estación de monitoreo. En la tabla 2 se especifican los equipos empleados para la evaluación de los parámetros meteorológicos.

Tabla 2. Especificaciones de equipos meteorológicos

Equipo	Parámetro	Marca	Modelo	Unidad	Rango	Exactitud
Hidrómetro	Temperatura	Boeco	AR867	°C	-20 -60	± 1
	Humedad relativa	Germany		%RH	20 -80	± 3,5
Anemómetro	Velocidad	Tenmars	TM -403	m/s	0,4 -25	± 2 + 0,2
Brújula		Bruton	5006 -LM			
GPS	Metros	Garmin	Etrx 10	Metros		± 3

Cuantificación del material particulado en suspensión menores de 10 µm Pm₁₀

Después de colectadas las muestras, los filtros se analizaron en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión. Los filtros fueron pesados (P_{final}) después de equilibrar la humedad, para determinar la ganancia de peso (masa) neto debido a las partículas colectadas.

Para calcular la concentración de PM₁₀ se usó el Método gravimétrico, propuesto por el Decreto Supremo N°074-2001-PCM. Así, se pesaron las partículas concentradas en el filtro de partículas y por diferencia de pesos del filtro antes (P_{inicial}) y después (P_{final}) del monitoreo se obtuvo una relación entre la masa y el volumen.

La concentración de las partículas (PM₁₀) se determinó a través de una ecuación matemática expresada en microgramos por metro cúbico (µg/m³):

$$PM_{10} = \frac{(P_{final} - P_{inicial})}{Q_{real} \times t_{muestreo}}$$

donde

p_i=Peso inicial del filtro (µg).

p_f=Peso final del filtro (µg).

Q_{real}=Caudal del flujo de aire (m³/min). El equipo PM₁₀ cuenta con un flujo constante de 1,13 m³/min.

t_{muestreo}=Tiempo de muestreo (min).

III. RESULTADOS

Para el análisis de los resultados, en la presente investigación se tuvieron en cuenta las concentraciones de PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, además de variables meteorológicas como temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento.

Tabla 3. Resultados de los parámetros meteorológicos evaluados

Ubicación	Fecha		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Presión (mm Hg)	Dirección del Viento	Precipitación
	Inicio	Final					
Estación 1	13/09/16	14/09/16	34,8	41	728,9	Noroeste	0
Estación 2	15/09/16	16/09/16	34	29	715,3	Noroeste	0

Concentración de PM_{10}

Para la determinación de la concentración de PM_{10} se empleó la fórmula presentada en el capítulo anterior. La fórmula ha sido completada con los valores obtenidos de peso inicial (P_{inicial}) y peso final (P_{final}) por los filtros; el tiempo considerado en ambas estaciones de monitoreo fue de 24 horas (1440 minutos), y se consideró un flujo constante de $1,43 \text{ m}^3/\text{min}$ para el equipo (Tabla 4).

Tabla 4. Niveles de concentración de PM_{10} en las estaciones de monitoreo

Ubicación	Fecha		Concentración de partículas PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Inicio	Final	
Estación 1	13/09/16	14/09/16	33,99
Estación 2	15/09/16	16/09/16	37,88

Los niveles de las partículas inhalables PM_{10} en el análisis de cada punto de monitoreo revelan que ambos sitios exhiben un comportamiento homogéneo (niveles de concentración similares) (Figura 4).

IV. DISCUSIÓN

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, durante los días de monitoreo se observaron temperaturas superiores a las normales en promedios de $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (SENAMHI, 2016), y como se muestra en la tabla 3 los días de monitoreo no registraron ocurrencias de precipitaciones. Muñoz y Carbalho (2009) afirma que al incrementar la humedad y disminuir la temperatura se favorecen las precipitaciones, se ayuda a dispersar el material particulado disminuyendo así el

Condiciones meteorológicas durante el período de muestreo

En la tabla 3 se presentan los datos meteorológicos recopilados durante los días de medición en los dos emplazamientos de muestreo.

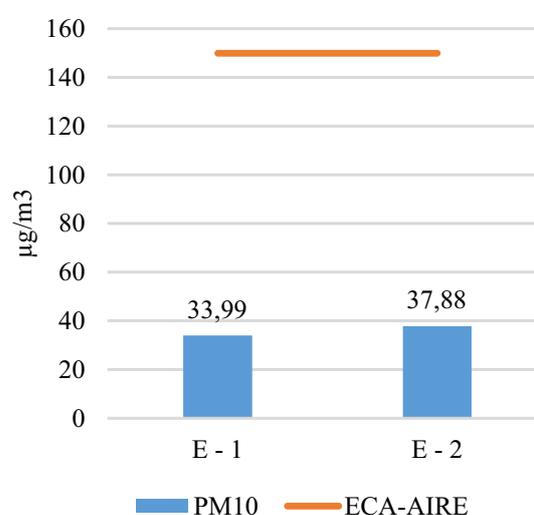


Figura 4. Niveles de concentración de PM_{10} .

tiempo de exposición a partículas en la población. Esto es debido a que la precipitación permite que las partículas se depositen con facilidad sobre la superficie en lugar de permanecer suspendidas en el aire. A medida que aumenta la humedad relativa, la velocidad del viento y la lluvia, disminuye la concentración de la contaminación interior y exterior, mientras que al aumentar la temperatura se espera que aumente la contaminación. (Montoya *et al.*, 2013)

Los niveles de concentración de las partículas en la atmósfera están relacionados con las actividades de las fuentes antrópicas y las naturales, así como la variabilidad meteorológica (Hopke, 2003; Miranda y Ortiz, 2008; Echeverri y Maya, 2008). Las concentraciones de PM_{10} obtenidas en el presente estudio para los jirones Alfonso Ugarte y Circunvalación fue de $33,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $37,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, resultados

influidos principalmente por el flujo vehicular presente, ya que estas vías son de principal acceso al centro de la ciudad Tarapoto.

Al comparar los resultados de concentración de PM_{10} que se reportaron con el Índice de Calidad del Aire (INCA) (MINAM, 2016), se establece que la calidad del aire registrada los días de monitoreo se encuentre dentro del rango 0-75 establecido, el fondo de color verde indica una calidad de aire "BUENA", lo cual muestra que la calidad del aire presente en las estaciones de monitoreo es buena y no representa un riesgo para la salud.

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM señala que la protección de la calidad del aire es obligación de todos; sin embargo, según los datos del Ministerio del Ambiente, (MINAM, 2015) se calcula que el 85,2% de la población nunca o casi nunca ha oído hablar del término calidad del aire, y apenas el 44,1% considera como problema ambiental a la contaminación del aire.

V. CONCLUSIONES

La concentración de material particulado en suspensión menor a 10 micras (PM_{10}) en vías urbanas del distrito Tarapoto obtenidas en dos estaciones de monitoreo distintas, no excedieron los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA) de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas establecidos en el D.S. N° 074-2001-PCM.

Los valores de concentración de PM_{10} que se reportaron al comparar con el Índice de Calidad del Aire (INCA), establecen que la calidad del aire registrada en los días de monitoreo se encuentra dentro del rango 0-50 establecido, lo que indica una calidad de aire "BUENA".

Con la presente investigación se ha generado material bibliográfico que servirá como referencia para investigaciones futuras respecto a la evaluación de la concentración de material particulado menor a 10 micras en la ciudad de Tarapoto.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbey D., E. Ostro, F. Petersen y J. Burchette. "Chronic respiratory symptoms associated

with estimated long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2,5 microns in aerodynamic diameter ($PM_{2.5}$) and other air pollutants". *Journal of Exposure Analysis and Environment Epidemiology*, 5(1995): 137-159.

Chappie, M. y Lave L. "The Health Effects of Air Pollution". *Journal of Urban Economics*, 12(1982): 346-376.

DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental). "Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos". Lima (Perú), 2005.

Echeverri L. A. y J. Maya. "Relación entre las Partículas Finas ($PM_{2.5}$) y respirables (PM_{10}) en la ciudad de Medellín". *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 12(2008): 23-42.

EPA (Environmental Protection Agency). "Sampling Schedule Calendar". Washington (USA), 2001. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>

EPA (Environmental Protection Agency). "Sampling Schedule Calendar". Washington (USA), 2002. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>

EPA (Environmental Protection Agency). "Sampling Schedule Calendar". Washington (USA), 2003. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>

Herrera, S. "Distribución Espacial Vertical de las Partículas en Suspensión PM_{10} del Medio Atmosférico Urbano en Segunda Jerusalén-Rioja-San Martín-Perú" Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. Tarapoto (Perú), 2011.

Hopke, P. "Advances in Monitoring Methods for Airborne Particles." *Clean Air and Environmental Quality*, 37(2003): 26-31.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). "Mapa de peligros en las ciudades de Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo". Informe Final. Lima (Perú), 2005.

- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). “Estimaciones y proyecciones de población por sexo, según departamento, provincia y distrito, 2000-2015, 18”. Lima (Perú), 2009. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/libro.pdf>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). “Información de Municipalidades de Elementos que Originan Contaminación Ambiental, Según Departamentos, 2012-2014”. Lima (Perú), 2014. Recuperado de: www.inei.gob.pe
- Larsen B., “Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmentl Health Risk Assensment”. Ministry of Environment, Housing and Land Development Republic of Colombia. Bogotá (Colombia), 2004.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). “Determinar la Calificación de Dieciocho (18) Nuevas Zonas de Atención Prioritaria”. Resolución Ministerial N° 339-2012-MINAM. Lima (Perú), 2012. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_339-2012-minam.pdf
- MINAM (Ministerio del Ambiente). “Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la Zona de Atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de San Martín-Tarapoto”. Resolución Ministerial N° 307-2015-MINAM. Tarapoto (Perú), 2013.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). “Programa Promotores Voluntarios Ambientales Juveniles de ReeducaAire”. Lima (Perú), 2015.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). “Índice de Calidad del Aire”. Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM. Lima (Perú), 2016. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-181-2016-MINAM.pdf>
- Miranda R. K. y A. Ortiz. “Evaluación de la Concentración de Material Particulado Suspendido PM10 y Su Relación Con la Morbilidad Asociados a Era’s en Niños Menores a Catorce Años por Enfermedad Respiratoria Aguda en el Municipio de Tolviejo (Sucre)”. Universidad de la Salle, Bogotá (Colombia), 2008.
- Montoya R., S. Zapata y O. Correa. “Contaminación ambiental por PM10 dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia”. *Revista de Salud Pública*, 15 (2013) 113-115.
- MPS (Municipalidad Provincial de San Martín). “Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos Provincia de San Martín. Tarapoto”. Tarapoto (Perú), 2015.
- Muñoz, F. y M. Carbalho. “Effect of exposure time to PM10 on emergency admissions for acute bronchitis”. *Cadernos de Saúde Pública*, 25(2009): 529-539.
- Nieto, O., “Efectos en la Salud de la Contaminación por Material Particulado”. Curso de Contaminación del Aire por Material Particulado. AINS. Medellín (Colombia), 1993.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). “Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial, Oct de 2006”. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/print.html>
- Pabón, J., J. Zea, G. León, G. Hurtado, C. González y J. Montealegre. “El Medio Ambiente en Colombia: La atmósfera, el tiempo y el clima”. Editorial IDEAM. Bogotá (Colombia), 2001.
- Pacheco, M., E. Sanhueza, L. Donoso y J. Romero. “Química atmosférica en La Gran Sabana II: Distribución de tamaño y composición de los aerosoles solubles en agua”. *Interciencia*, 30(2005): 611-617.
- Pérez V. H., M. Lunagómez y L. Acosta. “Análisis de Partículas Suspendidas Totales (PTS) y Partículas Fracción Respirable (PM10), en Cudua-cán, Tabasco” *Universidad y Ciencia*,

26(2010): 151-162.

Rodríguez, V. "Niveles, Composición y Origen del Material Particulado Atmosférico en los Sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias" Barcelona (España), 2003.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). "Boletín Hidrometeorológico - San Martín." San Martín (Perú), 2016. Recuperado de: <http://www.senamhi.gob.pe/lo>