

## Partículas en Suspensión PM10 en el sector de talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno

### PM10 Particles in Suspension in the metal mechanic workshop sector of the city of Puno

Achata Cortez, César Augusto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IEP Nuestra Señora de la Merced, Esquina Jr. Cahuide con Jr Lampa s/n, Puno, Perú. [cesarachata45@gmail.com](mailto:cesarachata45@gmail.com)

#### RESUMEN

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) el material particulado (PM10) son partículas sólidas o líquidas (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen), dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro aerodinámico es menor que 10  $\mu\text{m}$ . Los PM10 están formados por compuestos inorgánicos como silicatos, aluminatos, metales pesados y material orgánico asociado a partículas de carbono. La investigación titulada Partículas en Suspensión PM10 en el sector de los talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno, tiene como propósito determinar el nivel de concentración de PM10 en el sector de los talleres de metal mecánica ubicados en la Av. Simón Bolívar, barrio Laykakota. También se describe la influencia de los factores meteorológicos en la medición obtenida para su comparación con los ECA aire según DS 003-2017 MINAM. Uno de los problemas de nuestra localidad es conocer los niveles de concentración de partículas PM10 debido a las mediciones esporádicas y cómo estas se relacionan con la salud de los habitantes de la zona de estudio. La investigación de carácter descriptivo permitió realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control para realizar futuros monitoreos. Empleando el muestreador de alto volumen y el método gravimétrico activo se determinó la concentración del aire en el filtro dando como resultado 60,33  $\text{ug}/\text{m}^3$  durante 24 horas de monitoreo, estableciendo que están por debajo del ECA aire 2017, los factores ambientales varían en el tiempo e influyen en la determinación de la concentración de PM10 en la ciudad de Puno.

#### Palabras clave:

Estándar de Calidad del Aire, Material particulado PM<sub>10</sub>, Método gravimétrico activo, Muestreador de Alto volumen, Partículas en suspensión.

#### ABSTRACT

According to the United States Environmental Protection Agency (EPA), particulate matter (PM10) are solid or liquid particles (dust, ash, soot, metallic particles, cement or pollen), dispersed in the atmosphere, whose aerodynamic diameter is less than 10  $\mu\text{m}$ . PM10 is made up of inorganic compounds such as silicates, aluminates, heavy metals and organic material associated with carbon particles. The research work entitled: PM10 Particles in Suspension in the metalworking workshop sector of the city of Puno, aims to determine the concentration level of PM10 in the metalworking workshop sector located on Av. Simón Bolívar, Laykakota neighborhood. The influence of meteorological factors on the measurement obtained is also described for comparison with air ECAs according to DS 003-2017 MINAM. One of the problems in our town is to know the concentration levels of PM10 particles due to sporadic measurements and how these are related to the health of the inhabitants of the study area. Descriptive research made it possible to measure the concentration of this pollutant, evaluate its behavior in space and time, associating it with meteorological phenomena, chemical composition and origin, which allow guiding control strategies and monitoring by the interested environmental authorities (Arciniégas, 2011). Using the high volume sampler and the active gravimetric method, the air concentration in the filter was determined, resulting in 60.33  $\text{ug} / \text{m}^3$  during 24 hours of monitoring, establishing that they are below the 2017 ECA air, environmental factors vary in time and influence the determination of the concentration of PM10 in the city of Puno.

#### Keywords:

Air Quality Standard, PM1 particulate matter Active gravimetric method, High volume sampler, Suspended particles.



## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye un problema ambiental, por cuanto la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental abiótico denominado aire y el deterioro de éste afecta la supervivencia y calidad de vida del hombre. En la actualidad, el resultado del desarrollo tecnológico e industrial permiten la presencia de polvos y gérmenes microbianos esto ha originado diversas formas de contaminación alterando el equilibrio físico y mental del ser humano. Uno de los contaminantes que resulta de interés por sus afecciones al sistema respiratorio es el material particulado en sus diferentes tamaños aerodinámicos principalmente TSP, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, para los cuales existen normas de calidad del aire tanto en la legislación nacional como internacional, por su gran generación en procesos de combustión en fuentes fijas y móviles. (Miranda & Romero, 2008).

El material particulado atmosférico se define como cualquier sustancia a excepción del agua pura, presentes en la atmosfera en estado líquido o solido bajo condiciones normales y cuyo tamaño se considera está comprendido entre los 0.002µm y los 100 µm de diámetro (Arenas, 2014).

El material orgánico es la especie mayoritaria en las PM<sub>10</sub> de la temporada de invierno en la zona urbana con 54.52%, producto entre la quema y residuos orgánicos, en cambio para la zona rural en la misma temporada la especie mayoritaria fue el material geológico con 53.67%, debido mayormente a la erosión causado por el viento. Mientras que para la temporada de verano el PM<sub>10</sub> en ambas zonas de estudio (zona urbana y zona rural) la especie mayoritaria fue derivada del material geológico con 75.48% y 53.34% respectivamente, producido por el polvo de la región; así mismo derivado de los resultados del análisis estadístico queda de manifiesto que no hay transporte de contaminantes entre las zonas estudiadas y que la contaminación encontrada en ellas proviene de fuentes locales y no regionales. (Canales, Quintero, Castro, & García, 2014).

Pérez & Vidal (2010) Las fuentes de partículas suspendidas son diversas y abarcan desde las naturales, como polvo volcánico y tolvánicas, hasta las de origen antropogénico, que incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores diésel.

Airnow en el 2014 plantea los Índices de Calidad del Aire (AQI) es un índice para la presentación de informes de calidad de aire te dice cuan limpio o contaminado es su aire, y qué efectos en la salud pueden surgir dentro de unas pocas horas o días, después de respirar aire contaminado. Para cada uno de estos contaminantes, la EPA ha establecido estándares nacionales de calidad del aire para proteger la salud pública. (Pérez & Cárdenas, 2015).

El estudio en detalle de las emisiones difusas de PM<sub>10</sub> en entornos industriales, así como las metodologías propuestas, resultan ser muy novedosas y de enorme interés por su aplicabilidad para mitigar el impacto ambiental que generan (Sanfélix, V, 2017)

Es necesario realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen (Arciniégas, 2012).

Según la Guía para el control y prevención de la contaminación industrial taller metalmeccánico 2001, el problema más importante respecto a las generaciones de emisiones atmosféricas es la generación de olores, ocasionados por la descomposición bacteriana en los fluidos de trabajo y la respiración por parte de los trabajadores de material particulado y algunos compuestos orgánicos. Además, existe la posibilidad de emisión de material particulado, PM<sub>10</sub>, y el potencial de





emisiones de metales pesados, dependiendo del tipo de metal de la pieza con que se trabaje (Comisión Nacional del Ambiente, 2001).

Existen clasificaciones de estándares de protección del medio ambiente, entre estos tenemos a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAN) y los Estándares ambientales planteados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

En el Perú también se ha establecido el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N° 003 – 2017 – PCM), con el objetivo de proteger la salud humana y la calidad ambiental del aire. Entre otras disposiciones estipula que: Además de la evaluación del material particulado PM10, deberá realizarse el monitoreo periódico del material particulado con diámetro igual o menor que 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2.5) con el objeto de establecer su correlación con el PM10. Deberán realizarse estudios semestrales de “especiación” del PM10 para determinar su composición química, enfocando el estudio en partículas de carbono, nitratos, sulfatos y metales pesados. Los estándares primarios de calidad ambiental del aire para PM10 son: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un período de exposición de 1 año calculado como la media aritmética anual y 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un período de exposición de 24 horas el cual no debe excederse más de 3 veces al año, ambos determinados mediante métodos de separación inercial, filtración y gravimetría (Ministerio del Ambiente, 2017).

#### Estándares de Calidad Ambiental para Aire (Minan, 2017)

Parámetros	Período	Valor [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Benceno (C6H6)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	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 (PM2,5)	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 (PM10)	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 (O3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM10	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Los Estándares de Calidad de Aire para PM<sub>10</sub> EPA, consideran que el material particulado aerotransportado está compuesto de partículas sólidas y líquidas, suspendidas y dispersas en el aire. Debido a que son de diferente tamaño y forma, se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico. De acuerdo a su diámetro, se agrupan en finas y gruesas. Las partículas finas son las de diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5  $\mu\text{m}$ , PM<sub>2,5</sub>. Otro grupo de partículas está constituido por aquellas cuyo diámetro aerodinámico se centra alrededor de las 10 micras, PM<sub>10</sub>. Dentro de la clasificación de las partículas tenemos el material de partículas suspendidas, que se refiere a todas las partículas rodeadas por aire, en un determinado volumen de aire no perturbado. Las Partículas Totales en Suspensión (TSP, por sus siglas en inglés). En el rango de partículas finas se encuentran los aerosoles primarios del carbón, y aerosoles secundarios resultado de



transformaciones químicas seguidas por procesos de condensación. Las partículas gruesas (PM<sub>10</sub>) resultan principalmente de procesos mecánicos como la resuspensión, abrasión o fricción, son predominantemente de origen natural o geológico. Pueden ser por ejemplo esporas, polen, suelos, partículas de hojas, polvos generados por el tráfico o producto del desgaste de las plantas y partículas de emisiones industriales. El análisis completo del material particulado que contiene una muestra atmosférica consiste de tres etapas: La cuantificación de la masa, la caracterización de la distribución por tamaño de partículas y el análisis físico y químico de las fracciones particuladas. Una técnica muy difundida para la medición de polvo en suspensión, con una variedad de equipamiento homologados por la EPA es la cuantificación gravimétrica. Este método proporciona la muestra de material particulado depositada sobre un filtro que pasa a las distintas instancias de determinaciones en laboratorio (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017).

Estándares de calidad para PM<sub>10</sub> del Aire (EPA, 2017)

Media aritmética anual	$\mu 15\text{gm}^3$
Promedio de 24 horas	$\mu 65\text{gm}^3$

Para estimar la exposición humana a la contaminación atmosférica en áreas urbanas, se mide la concentración en un punto de muestreo fijo en la zona de estudio y este valor es adoptado para la población total que vive en dicha zona. Para que esta información sea confiable se requiere la utilización de monitores operados de acuerdo con los métodos de referencia o estándar. Estos métodos han sido desarrollados como auxiliares en el control de calidad y se definen como aquellos que han sido sujetos a una prueba colaborativa, cuya confiabilidad ha sido establecida con una base estadística y que han sido aceptados como referencia por la comunidad científica. (Campos, 2015).

El muestreador consta básicamente de una bomba de vacío, marco de sujeción del filtro, empaques, un adaptador del marco, un registrador del flujo (o un dispositivo de medición del flujo en general) y un controlador de tiempo. Todo esto se halla cubierto con una coraza de protección (VARA, 2016).

En este método de muestreo el aire es obligado a pasar por un filtro de baja resistencia, con un alto flujo. La entrada al ducto y el medio de colección miden aproximadamente 25-30 cm. En todos estos equipos es muy importante la calibración del dispositivo para medir el flujo y el acondicionamiento del filtro antes y después de la colección de partículas. El procedimiento de acondicionamiento consiste en equilibrarlo a condiciones estables de temperatura y humedad relativa antes de pesarlos. La concentración de partículas se calcula por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y el total del flujo de aire. Entre los HVS tenemos dos métodos ampliamente difundidos: el Muestreador de Partículas Totales en suspensión (High Volume -Total Sampler Particle, HV-TSP) y el Muestreador de Partículas en suspensión menores a 10 micrones de diámetro aerodinámico (High Volume - PM<sub>10</sub> Sampler, HV-PM<sub>10</sub>) (Mosqueda, 2015).

Asumiendo estos conocimientos, se puede decir que la problemática tiene gran incidencia en la transformación y degradación de los recursos naturales y específicamente en el deterioro del recurso aire. Además, es de conocimiento que los niveles de medición en concentraciones de partículas en suspensión en la ciudad de Puno no son monitoreados constantemente. Tal motivo conlleva a estudiar la determinación de partículas en suspensión PM<sub>10</sub> en el aire de la ciudad de Puno para luego compararlo con el ECA del aire en el presente año. Entonces se plantean las preguntas ¿Cuál es el nivel de concentración de partículas en suspensión PM<sub>10</sub> mediante la aplicación método activo gravimétrico en la ciudad de Puno?, ¿Cuál será el nivel de concentración de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> obtenida?, ¿Cuál será el nivel de concentración de PM<sub>10</sub>



obtenidas el aire del sector de talleres de metal mecánica en comparación del ECA 2017?, ¿Cómo influyen los factores meteorológicos (temperatura, precipitación, viento: dirección y velocidad) en las concentraciones de material particulado PM10 en la ciudad de Puno durante el mes de junio?. Se afirmaría que el nivel de concentración de partículas en suspensión PM 10 aplicando el método activo gravimétrico es eficiente y confiable en el sector de los talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno. El nivel de concentración de las partículas en suspensión PM10 supera los niveles permitidos de inmisión, otra probable respuestas es la concentración de PM 10 en el sector de talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno supera el ECA del aire en el año 2017, finalmente planteamos que los factores meteorológicos (temperatura, precipitación, viento: dirección y velocidad) no influye significativamente en la obtención de muestra para la determinación de las concentraciones de material particulado PM10. La investigación Partículas en Suspensión PM 10 en el sector de talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno, tiene como propósito determinar el nivel de concentración de PM 10 en el sector de los talleres de metal mecánica ubicados en la Av. Simón Bolívar cuadra 13 a la 16, barrio Laykakota de la ciudad de Puno, utilizando el método gravimétrico activo, así como determinar la influencia de los factores meteorológicos de nuestra localidad sobre la medición, para luego compararlo con los Estándares de Calidad del Aire ECA del aire según normativa peruana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron: 1) Muestreador de alto volumen PM10 con las características, fabricante: Thermo Scientific, Medición a realizar: Partículas suspendidas inferiores a 10µm, Exactitud: 5 µg/m<sup>3</sup> concentración < 80 µg/m<sup>3</sup> y 7% concentración > 80 µg/m<sup>3</sup>, Modelo: BM2000H, Peso 16 kg, Motor 6 Hp. Características técnicas Timer Digital: Función: Inicia y finaliza el muestreo según programación, Mantenimiento: Verificar correcto funcionamiento, Especificaciones: Programador de siete días, Contador de Horas: Función Contabiliza tiempo de muestreo en horas y fracción, Mantenimiento: Verificar correcto funcionamiento Especificaciones: No reseteable, Motor con ventury marca Graseby modelo BM2000H SERIAL 8176 120 VAC 60 Hz 15<sup>a</sup>, Función: Toma de muestra, Mantenimiento: Según fabricante. 2) Una cámara fotográfica, marca: Sony, Línea: Cyber-shot, Modelo: DSC-W350, Tipo: Standard, características técnicas: Resolución de 14.1 Megapixels, Resolución Máxima: 4320 x 3240 Pixels Zoom Digital: 8 x, Zoom Óptico: 4 x LCD: 2,7 pulgadas, Flash: Automático, Desligado, Reductor de Ojos Rojos, Sí, Sincronización Lenta, Memoria Interna: 45 Mbytes, Tarjeta de Memoria Compatible: Memory Stick Duo Pro, SDHC, Tarjeta SD, Fuente de Energía: Batería Recargable, Lithium-ion EN-EL1, Conexiones: USB 2.0, Anchura 90 mm, Altura 51 mm, Profundidad 17 mm, Peso 117 g. 3) Extensión múltiple de luz eléctrica. 4) GPS Diferencial: Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad): 6.1 x 15.5 x 3.3 cm, Peso: 13 g con baterías, Resistencia al agua: IPX7, Batería 2 baterías AA (no incluidas), Tipo de pantalla: TFT de 256 colores, Tamaño de la pantalla (Ancho/Alto) 3.8 x 5.6 cm. Resolución de pantalla (Ancho/Alto), 160 x 240 píxeles, Autonomía de la pila/batería: 18 horas (uso normal), Receptor de alta sensibilidad, Interfaz del equipo: Serie y USB. 5) Casco de seguridad: Con ratchet (ajuste de perilla). Alta densidad y diseño ultraliviano, Material: Polietileno, Ruptura dieléctrica: 30000 V, color: Blanco. 6) Cuaderno de apuntes. 7) Grabadora portatil. 8) guantes de nitrilo: Compuesto 100% nitrilo especialmente formulado, Forro de algodón, espesor: 22mil, longitud: 18", color: Verde.

La recolección de información y datos se realizó en el sector o cluster de talleres de metal mecánica en ambiente abierto ubicados en la Av. Simón Bolívar cuadra 13. La entrada de aire al equipo de muestreo Hi Vol se ubica a una altura 6 m sobre el nivel de la pista. Los talleres de metal mecánica aproximadamente tienen un área de 300 m<sup>2</sup> cada uno contando alrededor de 49 talleres de metal mecánica en el mencionado sector. Se ubicó el punto de muestreo en el 3er piso de la casa de don David Sosa en la Av. Simón Bolívar 1333. El equipo para la toma de muestra de aire se instaló en ubicaciones muy expuestas, a distancia vertical de 6 metros a nivel de la pista.





Donde se ubicó con el uso del GPS las coordenadas del punto de muestreo: Sur: 03 90 97 5, Norte: 82 47 93 6; Altitud de Puno: 3817 msnm, Altitud de muestreo: 3829 msnm. Velocidad del viento: 11 km/h dirección sur. Humedad: 19%. Para la determinación de las partículas suspendidas el tiempo de muestreo se realizó durante 24 horas sin interrupciones.

Los procedimientos para el muestreo fueron: 1) Contrato directo con el representante de la empresa ECOSOUTH. 2) Coordinación para la instalación del equipo HI VOL en el punto de muestreo (fecha, hora, lugar). 3) Coordinación con el dueño de la casa para instalación del Hi Vol. 4) Desensamblado del equipo de muestreo. 5) Instalación garantizada con fluido eléctrico del Hi Vol en el 3er piso. 6) Explicación del uso y manejo del Hi Vol. 7) Registro de información inicial: rótulo y codificación del filtro, ubicación del punto de muestreo, lectura inicial del flujo (directa o de la altura de presión, del equipo automático, fecha y hora inicial de funcionamiento). 8) Colocación del filtro, previamente pesado y con el lado áspero hacia fuera, en el cabezal del equipo. 9) Encendido del equipo de muestreo y revisión de su funcionamiento normal dándose la hora de inicio 11: 45 am. (durante 24 h.). 10) Toma de datos meteorológicos: temperatura ambiental y presión atmosférica o altitud. 11) Ubicación de coordenadas con GPS navegador. 12) Lectura y registro de información final, luego de 24 horas de funcionamiento del equipo. 13) Apagado del equipo de muestreo, luego de 24 horas de funcionamiento del equipo. 14) Recuperación del filtro usado: revisión del filtro para detectar signos de fugas de aire o daños físicos que pudieran haber ocurrido durante el muestreo, retiro cuidadoso del filtro, colocación dentro de una bolsa protectora especial rotulada y envío al laboratorio. 15) Realización de los análisis correspondientes en un laboratorio y registro de las determinaciones: peso final del filtro u otras. 16) Cálculos de los parámetros de las partículas PM10.

La estación de muestreo para hacer el cambio de filtro del equipo, la metodología es el siguiente: a) Hacer la lectura final del contador de tiempo para verificar el tiempo programado. b) Tomar la presión final del equipo utilizando el manómetro. c) Registrar la lectura final en el contador de tiempo, abrir la carcasa del equipo y fijarla con un gancho en la parte de atrás, quitar cuatro tornillos de sujeción de porta filtro, se retira el filtro usado y doblarlo en 2 partes con la superficie impactada hacia adentro, de manera que no se toque ésta área y se identifique fácilmente el número del filtro, el filtro debe ser guardada en un sobre para su traslado al laboratorio (Huanca, 2016).

Técnicas de análisis consistió en: 1) Concentración de partículas en suspensión PM10. Se pesó el filtro nuevo (antes del muestreo) y usado (luego del muestreo); por diferencia de pesos se obtuvo el peso de partículas filtradas. El volumen estándar de aire filtrado se obtuvo por lectura directa del equipo automático. El parámetro PM10 se obtuvo por división del peso de partículas filtradas entre el volumen estándar. 2) Peso del material particulado en suspensión. El peso se determinó mediante gravimetría usando una balanza analítica con los datos del peso del material particulado en suspensión y las características y parámetros de funcionamiento del equipo registrados se calculó: peso inicial y peso final. 3) La concentración de partículas suspendidas PM10. Con los datos obtenidos en el muestreo de aire con el equipo automático, con el peso del material particulado en suspensión y las características y los parámetros de funcionamiento del equipo, donde se calculó los parámetros PM10 (MEM, 1994), aplicando la siguiente fórmula:

$$C(\mu\text{g} / \text{m}^3) = \frac{(W_f - W_i)}{V(\text{std.m}^3)} \times 10^6$$

Donde:

Wi= peso inicial del filtro en gr.

Wf= peso final del filtro en gr.

V(std.m3)= volumen estándar en m3.





Además, se obtuvieron los siguientes parámetros mediante las técnicas mencionadas.

La Temperatura ambiental. Este parámetro se obtiene de dos maneras. Una forma ha sido por medición directa colocando en el medio el termómetro ambiental y la otra según información del SENAHMI Puno.

Temperatura promedio de Puno 10 °C  
 Temperatura promedio de muestreo 9 °C

Diferencia de peso= 4,37131 - 4,28044  
 Diferencia = 0,09087 ug/m<sup>3</sup>

Para hallar el volumen se aplica la formula

$$V(\text{std}) = Q_{\text{ref}} \times t$$

Pero se desconoce Q<sub>ref</sub>, entonces se aplica la siguiente ecuación según Método de Referencia

Donde las condiciones climáticas en la ciudad de Puno según SENAMHI son:

T promedio = 9°C = 282.65 K  
 T muestreo = 10°C = 283.15 K  
 P promedio = 862 hPa = 646.56 mmHg  
 P muestreo = 647.9 mmHg

Por lo tanto, se halla:

$$Q_{\text{ref}} = Q_a \left( \frac{P_{\text{av}}}{T_{\text{av}}} \right) * \left( \frac{T_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}} \right)$$

$$Q_{\text{ref}} = 1,043 (647.9/283.15) (284.15/646.6)$$

$$Q_{\text{ref}} = 1.046 \text{ m}^3/\text{min}$$

Luego aplicamos

$$V_{\text{ref}} = Q_{\text{ref}} \times t$$

$$V_{\text{ref}} = 1.046 \text{ m}^3/\text{min} (1440 \text{ min})$$

$$V_{\text{ref}} = 1506.24 \text{ m}^3$$

Aplicamos la ecuación inicial para determinar la concentración de PM10

$$C(\mu\text{g} / \text{m}^3) = \frac{(W_f - W_i)}{V(\text{std} \text{ m}^3)} \times 10^6$$

$$C = 4,37131 \text{ ug/m}^3 - 4,28044 \text{ ug/m}^3 / 1506.24 \text{ m}^3 \times 10^6$$

$$C = 60.33 \text{ ug/m}^3$$

La distribución de la concentración de partículas PM10 en la población de Segunda Jerusalén, realizados en el año 2009, en las épocas de invierno y verano, cuya concentración máxima es de 19.20 (mg/m<sup>3</sup>) y 25.59 (mg/m<sup>3</sup>) y la concentración mínima de 3.48 (mg/m<sup>3</sup>) y 4.44 (mg/m<sup>3</sup>)





respectivamente, la misma que presentan valores menores en la época de invierno. Los niveles o concentración del material particulado PM10 en suspensión en el medio atmosférico (aire) de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín, Perú, se encuentran por debajo del Estándar Nacional de Calidad Ambiental para PM10. Las concentraciones promedio de PM10, son de  $10.14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  y  $13.37 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , para las épocas de invierno verano, en cambio los estándares son  $150$  y  $50 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (media aritmética anual) respectivamente. Referente a los datos encontrados se observa una diferencia en las unidades de medida ya los resultados mostrados se dan en  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  siendo no equivalente a los valores de ECA del aire (Herrera, 2011)

En el monitoreo realizado en la ciudad e Ilo en el 2008 a cargo del municipio de Ilo, se obtuvo  $69,44 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (DIGESA, 2008)

Según resultados determinados en la gestión de Monitoreo de la Calidad del Aire, gases y material particulado en Lima realizado en julio del 2016 en Villa María del Triunfo con el monitoreo de la estación de Ate los PM10 alcanzaron un valor de  $180,38 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  estando por encima del ECA aire establecido ( $150 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). (Minan, 2016)

Las concentraciones de material particulado de  $10 \text{ }\mu\text{m}$  en la ciudad urbana de Juliaca tiene una media de  $44.2 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , de lo cual la zona oeste tiene un promedio de  $25.9 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , zona centro  $56.7 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  y zona sur este  $49.9 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . en donde la estación de monitoreo Óvalo Salida Cusco presenta un valor alto de  $103 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , seguido por la Salida Huancané registrando un valor de  $66.8 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , por lo tanto, los habitantes de estas dos zonas se encuentran en un riesgo debido a la alta contaminación de PM10 (Hanco, A 2017)

Los resultados de los monitoreos con métodos activos para el parámetro PM10 muestran que si bien es cierto, los valores promedio diario de cada año no sobrepasan el ECA diario (Minan, 2014)

Entonces se puede indicar que los resultados obtenidos en la ciudad de Puno, sector de talleres de metal mecánica llegaron a concentrarse hasta  $60,33 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  durante las 24 h de muestreo, lo que indica que está por debajo del ECA aire actual. Pero esto puede indicar que existe un aumento de concentración de PM10 en esta zona.

## CONCLUSIONES

La concentración de las partículas en suspensión PM10 obtenida en el punto de muestreo es de  $60.33 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Los factores meteorológicos como la temperatura, velocidad y dirección del viento, la humedad y la presión atmosférica influyen en la determinación absoluta de la concentración de material particulado PM10 debido a que estos varían de manera poco significativa en el muestreador de alto volumen.

La concentración de PM10 obtenida en el aire del sector de talleres de metal mecánica de la ciudad de Puno está por debajo de los valores establecidos en el ECA del aire 2017 ( $100 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017. Estándares de Protección Ambiental
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Caldas, Colombia.





- Arenas, A. A. (2014). Evaluación de la concentración de partículas PM 10 en zona urbana del municipio de Ocaña. *Revista Ingenio*.
- Campos & Trujillo, H. (2015). Evaluación del desempeño del método de alto volumen para la medición de partículas menores a 10 micras. *Revista internacional de contaminación ambiental* ISSN 0188-4999.
- Canales, M., Quintero, M., Castro, T., & García, R. (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en Zonas Rurales y Urbanas de Mexicali. Baja California México.
- Comisión Nacional del Ambiente. (2001). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Santiago de Chile.
- Dirección General de Salud Ambiental (2008). Informe de monitoreo del aire. Ilo
- Hanco, A. (2017). Concentración de material particulado menores a 10 micrómetros y gestión ambiental con áreas verdes en la ciudad de Juliaca. Perú.
- Herrera, S (2011). Distribución espacial vertical de las partículas en suspensión PM10 del medio atmosférico urbano en Segunda Jerusalén-Rioja-San Martín-Perú.
- Huanca, P (2016). Concentración de material particulado menores a 2.5 micrómetros para la gestión de áreas verdes en la ciudad de Juliaca. Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2014). Informe Nacional de la Calidad del aire 2013-2014. Lima. Perú
- Ministerio del Ambiente. (2016). Evolución de la calidad del aire. Lima. Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 003 – 2017 – PCM. Lima. Perú.
- Miranda, K., & Romero, L. (2008). Evaluación de la concentración de material particulado suspendido PM10 y su relación con la morbilidad asociados ERAs en niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio de Toluvié. *Revista de Investigación Universitaria*.
- Mosqueda, E. (2015). Calidad del aire y los efectos en la salud por PM10, en un tramo de la Av Tupac Amaru, distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo y Alli. Ucayali.
- Pérez & Vidal, M. L.–R.–P. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10). Scielo- Scientific.
- Pérez, J & Cárdenas, R. (2015). Evaluación de la calidad de aire por partículas menores a 10 microgramos y nivel de riesgo basado en el índice de calidad de aire en la Universidad Peruana Unión – FT. *Revista de Investigación universitaria*.
- Sanfélix, v. (2017). Metodologías para la cuantificación de las emisiones difusas de material particulado en entornos industriales. Castellón.
- Vara, M. (2016). Contaminación atmosférica con Material Particulado en la ciudad del Cusco. Perú.

