



CONCENTRACIÓN Y DISPERSIÓN DE POLVO SEDIMENTABLE Y MATERIAL PARTICULADO PM₁₀ A CAUSA DEL TRAFICO VEHICULAR EN PERIODO ESTIAJE, EN LA ZONA DEL CERCADO DE LA CIUDAD DE ILAVE

CONCENTRATION AND DISPERSION OF SEDIMENTABLE DUST AND PM₁₀ PARTICULATE MATERIAL CAUSED BY VEHICULAR TRAFFIC IN STRETCH PERIOD, IN THE FENCING AREA OF THE CITY OF ILAVE

Wilmar Mayta-Merma³, César Julio Larico-Mamani^{1,3,4}, Diana Lisbeth Fernandez-Mamani^{3,4}, Jose Luis Cahua-Alvarez^{3,4}, Romario Cabana-Alanoca^{3,4}, Jose Quiñonez-Choquecota²

Historia del Artículo:

Recibido: 07 de enero de 2021

Aceptado: 05 de marzo de 2021

¹ Universidad Nacional del Altiplano.

laricoster@gmail.com ORCID

² Universidad Nacional de Moquegua.

josequch@gmail.com ORCID

³ Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

wmm.isam@gmail.com ORCID

⁴ Consultor H₂O Soluciones en Tratamiento de agua potable, aguas residuales e impacto ambiental.

diana.fz.isa@gmail.com ORCID

jlcahuuaa200520@gmail.com ORCID

romini.ca.isa@gmail.com ORCID

<https://doi.org/10.56636/ceprosimad.v9i1.100>

RESUMEN

Un individuo diariamente inhala 13 kilogramos de aire, cantidad superior en relación con los alimentos ingeridos, y el aire respirado puede contener material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} con características químicas y biológicas capaces de causar enfermedades en los seres humanos, por lo que la salud de una población depende de la calidad de aire respirado. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las concentraciones y dispersión de polvo sedimentable y material particulado PM₁₀ a causa del tráfico vehicular en periodo de estiaje, en la zona del cercado de la ciudad de Ilave. Para ello se identificó estaciones de muestreo con mayor flujo vehicular: E1 y E2 y con menor flujo vehicular E3 y E4, en los que se determinó y modeló el polvo sedimentable y material particulado PM₁₀. El flujo vehicular distribuido en las estaciones fue: E1(37%), E2 (31,4%), E3(11,2%) y E4 (20,4%), el material particulado PM₁₀ promedio suspendido en las estaciones E1: 115ug/m³ E2: 79ug/m³, E3: 35ug/m³ y E4: 53ug/m³ y el polvo sedimentable promedio encontrado en las estaciones E1 : 0,73 mg/cm²/30 días, E2: 0,43 mg/cm²/30 días, E3: 0,29 mg/cm²/30 días y E4: 0,34 mg/cm²/30 días; la dispersión del material particulado y polvo sedimentable ocurre a una velocidad promedio de 4 m/s y con dirección predominante para las estaciones E1 y E4: SSO y E2 y E3: N. Se concluye que el flujo vehicular influye en la suspensión de material particulado PM₁₀ y polvo sedimentable en la zona cercado de la ciudad de Ilave.

PALABRAS CLAVE: Polvo sedimentable atmosférico, calidad del aire, PM₁₀.

ABSTRACT

An individual daily inhales 13 kilograms of air, a higher quantity in relation to the food eaten, and the air breathed may contain particulate matter PM₁₀ and PM_{2,5} with chemical and biological characteristics capable of causing disease in human beings, therefore health of a population depends on the quality of air breathed. The present study aimed to evaluate the concentrations and dispersion of settling dust and PM₁₀ particulate matter caused by vehicular traffic in the dry season, in the fenced area of the city of Ilave. To do this, sampling stations with greater vehicular flow were identified: E1 and E2 and with less vehicular flow E3 and E4, in which the sedimentable dust and PM₁₀ particulate material were determined and modeled. The vehicular flow distributed in the stations was: E1 (37%), E2 (31,4%), E3 (11,2%) and E4 (20,4%), the average PM₁₀ particulate matter suspended in the stations E1: 115ug / m³ E2: 79ug / m³, E3: 35ug / m³ and E4: 53ug / m³ and the average sedimentable dust found in stations E1: 0.73 mg / cm² / 30 days, E2: 0,43 mg / cm² / 30 days, E3: 0,29 mg / cm² / 30 days and E4: 0,34 mg / cm² / 30 days; the dispersion of particulate material and sedimentable dust occurs at an average speed of 4 m / s and with a predominant direction for stations E1 and E4: SSO and E2 and E3: N. It is concluded that the vehicular flow influences the suspension of PM₁₀ particulate material. and sedimentable dust in the fenced area of the city of Ilave.

KEYWORDS: Atmospheric setting dust, air quality, PM₁₀.

INTRODUCCIÓN

Un individuo diariamente consume aproximadamente 13 kilogramos de aire, concentración muy superior a los alimentos ingeridos por día, por esta razón la calidad del aire respirado determina la salud de la población (Domech (2001) citado por Díaz & Páez (2006)).

En el Perú se ha establecido como límite máximo permisible 100ug/m³ de material particulado PM₁₀ (ECA, 2017) , valor superior a 50 ug/m³ establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005), lo que genera alarma y preocupación en relación con la calidad del aire respirado por la población.

Esta evidenciado que la exposición a material particulado afecta la salud de niños y ancianos, en los que se pueden evidenciar el deterioro de la salud, mientras que en los

adultos no manifiestan el desarrollo de la enfermedad. Según el Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong refieren que el material particulado está compuesto por material mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y carbono; y por ello las emisiones de los vehículos diésel son la principal causa de material particulado presente en las zonas urbanas (Viana (2003) citado por Arciniégas (2012)). Además, las enfermedades cardíacas y respiratorias de las poblaciones humanas están asociadas a la exposición a material particulado presente en las ciudades.

La suspensión del material particulado en el aire se debe principalmente a factores naturales y antrópicos, siendo este último el más determinante, en muchos estudios se ha evidenciado que las actividades constructivas de edificios, carreteras y actividad minera suspenden material particulado PM₁₀ en el aire.

En una zona urbana se espera que la concentración de material particulado y polvo sedimentable sea homogénea, la diferencia en concentraciones en diferentes puntos puede deberse al tráfico vehicular.

La ciudad de Ilave se ubica en una zona de alto tránsito, por ser esta una vía próxima a la frontera con Bolivia, y, por ende, presenta alto flujo vehicular, el mismo que genera materia particulada y polvo sedimentable que se encuentra suspendido en el aire, y esta puede generar enfermedades respiratorias y cardiacas en la población expuesta, esto debido a que el material particulado y polvo sedimentable presentan propiedades químicas y físicas que tienen capacidad de reacción.

Tabla 1

Ubicación de los puntos con tráfico vehicular continuo y tráfico ocasional.

Lugar de Ubicación de las Estaciones	Estación en Función al Tráfico Vehicular	Ubicación UTM WGS-84 Zona 19 L		Altitud (m.s.n.m)	Código
		Norte	Este		
Servicentro Señor de Huanca	Tráfico vehicular Continuo	8221759	430815	3852	E1
Grifo Merma	Tráfico vehicular Continuo	8220799	431966	3843	E2
Plaza Santa Bárbara	Tráfico vehicular Ocasional	8221339	431941	3866	E3
Estadio Modelo Ilave	Tráfico vehicular Ocasional	8222007	431749	3862	E4

Nota: Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

Fuente: Elaboración propia, puntos de ubicación de las estaciones de monitoreo.

Determinación de material particulado PM₁₀ y Polvo Sedimentable

El material particulado se determinó por el método gravimétrico en un equipo de flujo de alto volumen equipo Hi – Vol, para ello se pesó el filtro de cuarzo deshumedecido antes y después de ser puesta en el Hi Vol durante las 24 horas.

Por todo lo expuesto en la presente investigación se evalúa la influencia del tráfico vehicular en las concentraciones del material particulado PM₁₀ y polvo sedimentable en la zona cercado de la ciudad de Ilave.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material particulado PM₁₀ y polvo sedimentable presente en una zona cercado debe ser homogéneo; sin embargo, la distribución diferente se debe a otros factores como el tráfico vehicular, por ello se identificó 4 estaciones de estudio, conforme lo detalla la tabla 1.

El polvo sedimentable se determinó por el método de tubos pasivos conforme a las experiencias de (Gallo & paredes, 2019), para ello se colocó una caja Petri con un papel filtro previamente pesados y determinando su área en cada estación de monitoreo, establecidas dentro del área de estudio, finalizado el muestreo los papeles filtro fueron desecados a una temperatura de 50° C por un periodo de 24 horas, para

finalmente el filtro ser pesado en una balanza analítica.

Para la dispersión del material particulado PM₁₀, se utilizó una estación meteorológica para obtener los datos de velocidad y dirección de viento, mismos que fueron modelados con el software WRPLOT y extrapoladas al Google Earth Pro.

RESULTADOS

Composición del parque automotor en la zona del cercado de la ciudad de Ilave.

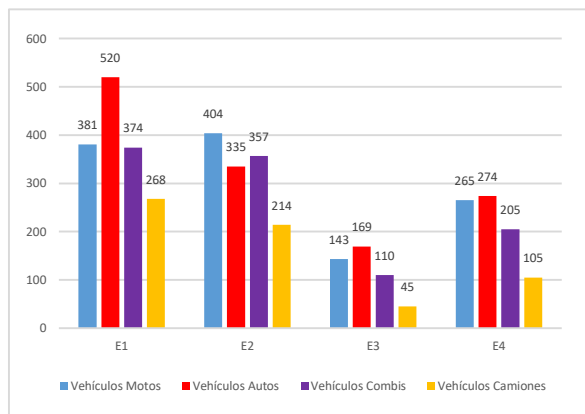
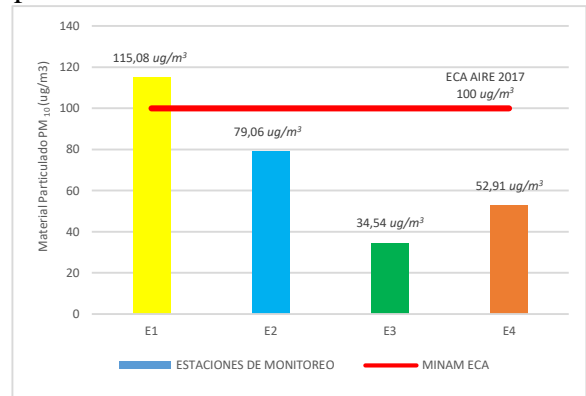


Figura 1
Número de vehículos que transitan en las estaciones de estudio en 24 horas.

Según la figura 1 se aprecia que la estación (E1) presenta mayor transitabilidad de vehículos, siendo estas 381 motos, 520 autos, 374 combis y 268 camiones, la estación (E2) 404 motos, 335 autos, 357 combis, 214 camiones, sin embargo, la (E3) es la que presenta menor transitabilidad de vehículos 143 motos, 169 autos, 110 combis, 45 camiones y la (E4) 265 motos, 274 autos, 205 combis, 105 camiones.

Concentraciones promedio de material particulado PM₁₀ y polvo sedimentable en la zona cercado de la ciudad de Ilave

Figura 2
Concentración promedio de material particulado PM₁₀ en 24 horas.



De acuerdo con la figura 2 se observa que la estación E1 presenta la concentración mayor y superior a lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para aire (D.S. 003-2017 MINAM).

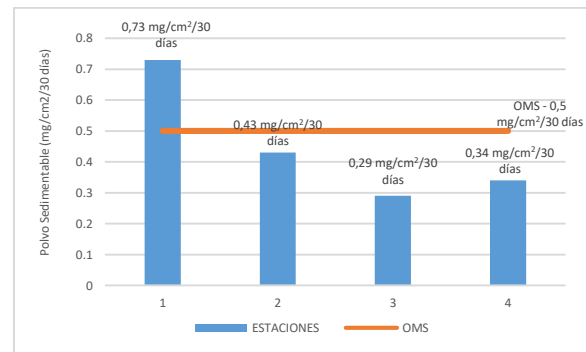


Figura 3
Concentración promedio de polvo sedimentable en 30 días.

En la figura 3 se evidencia que el polvo sedimentable en la E1 supera a la concentración 0,5mg/cm²/30días, establecida por la OMS, mientras que las E2, E3 y E4 presentan concentraciones de 0,4379 mg/cm²/30 días, 0,29 mg/cm²/30 días y 0,34 mg/cm²/30 días.

El material particulado PM₁₀ y polvo sedimentable se dispersan de manera diferente en cada estación, en función a la

velocidad y la dirección a la que predomina el viento, conforme detallan la siguiente tabla.

Tabla 2

Velocidad y predominancia de la dirección del viento en el Cercado de la Ciudad de Ilave.

Estación de monitoreo	Velocidad (m/s)	Dirección
E 1	4,20	SSO
E 2	4,38	N
E 3	5,23	N
E 4	3,99	SSO

Nota: Dirección del viento, Sursuroeste (SSO), Norte (N).

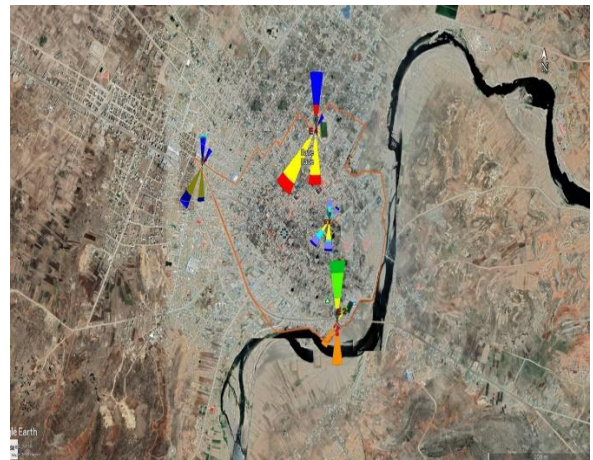


Figura 4

Rosa de Viento en las estaciones de estudio.

Fuente: Google Earth Pro-WRPLLOT.

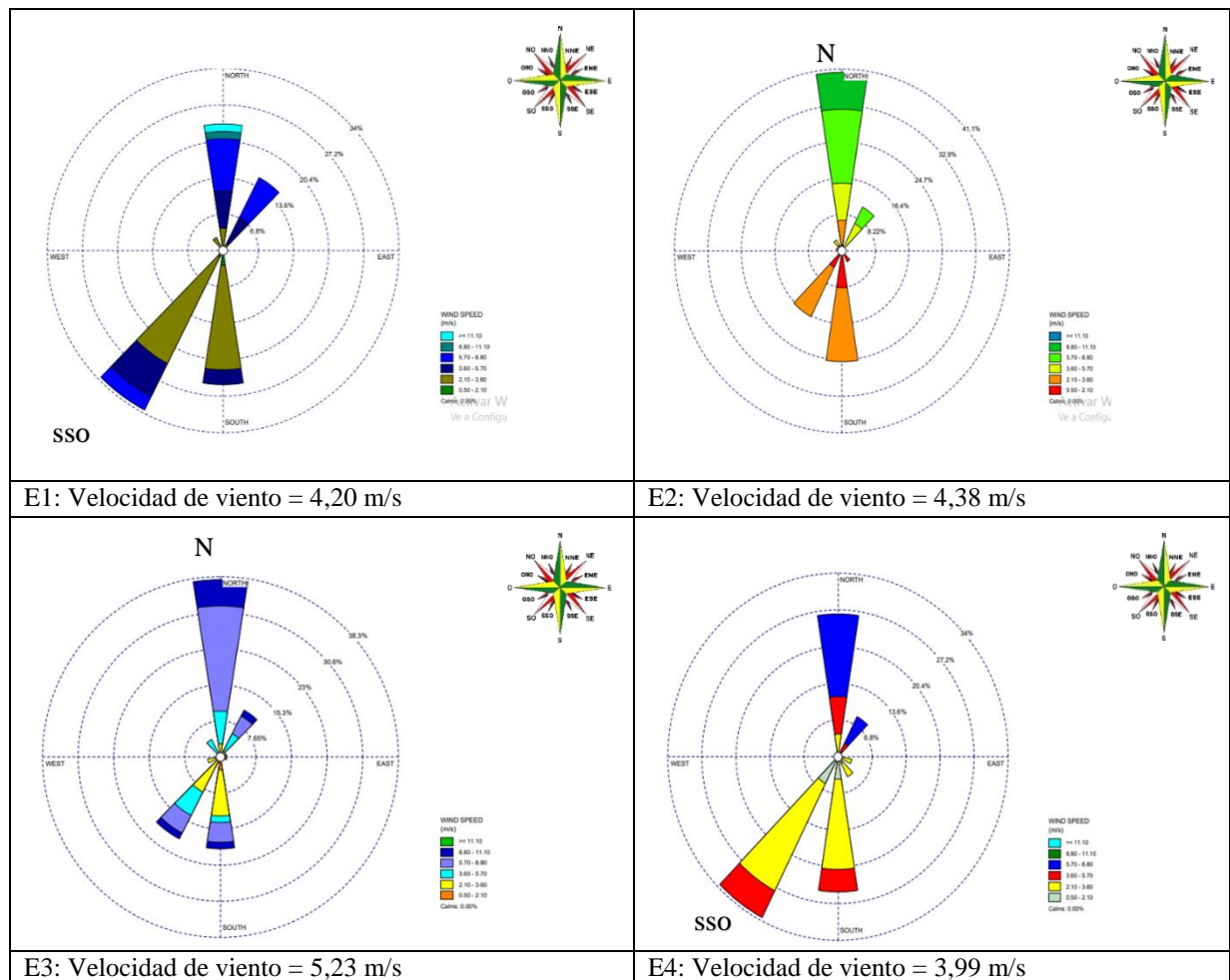


Figura 5

Rosa de Viento en las 4 estaciones de estudio.

Fuente: Google Earth Pro-WRPLLOT.

DISCUSIÓN

De acuerdo a lo evidenciado en la figura 1 se observa que las concentraciones promedio del material particulado en la Estación 1 fue de 115ug/m³ superior al valor de 100 ug/m³ valor máximo establecido en el D.S. 003-MINAM-2017, mientras que las E2, E3 y E4 presentan concentraciones de 79ug/m³, 35ug/m³ y 53ug/m³ respectivamente, esta diferencia es atribuido al flujo vehicular existente en las zonas de estudio, es decir que las altas concentraciones de material particulado PM10 se deben al alto flujo vehicular.

Las concentraciones reportadas en el presente estudio son superiores a las concentraciones de 72,15ug/m³ y 38,96 ug/m³, reportadas por (Robles, 2020), siendo estas concentraciones características para actividades mineras a tajo abierto como sucede en Cerro de Pasco.

Es sabido que el material particulado puede provocar enfermedades en las personas que se exponen a altas concentraciones de material particulado. En la región de Puno las principales enfermedades que padecen las personas son las relacionadas con el sistema respiratorio y digestivo; sin embargo, las enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio pueden también deberse a la calidad del aire, por la presencia de material particulado y polvo sedimentable suspendidos.

La concentración promedio encontrada en la estación E3, correspondiente a la Plaza Santa Bárbara es de 35ug/m³, concentración próxima al valor de 35,9 ug/m³ para material particulado PM10 promedio para la zona urbana de la Comunidad Autónoma del País Vasco (Continente Europeo) reportada por Agirre et al., (2006), donde el motivo del estudio fue observar el impacto de material particulado por una actividad industrial

siderometalúrgica, es decir, en estos países causa gran preocupación y alarma una actividad industrial en una zona urbana; mientras que en el Perú puede ser considerado normal, esto debido al valor establecido de 100 ug/m³ como valor máximo conforme D.S. 003-MINAM-2017.

Mientras que, en países de América Latina, como Colombia en un Centro histórico de la ciudad de Barranquilla la concentración promedio de material particulado PM10 fue de 46,40 ug/m³ reportado por (Barraza & Sanchez, 2019). Para el área Metropolitana de Monterrey – México se obtuvo una concentración de 75 ug/m³ PM10 el cual es reportado por Blanco (2015).

Mientras que, en el Perú, Condori & Orihuela (2013), reporta una concentración de 200 ug/m³ para PM10 para diferentes sitios del distrito de Torata – Moquegua, concentración superior al valor 115ug/m³ encontrado en el presente estudio; sin embargo, se debe indicar que la localidad de Torata se encuentra próximo a la Mina Cuajone en la que se realiza explotación a tajo abierto.

Algunas ciudades del Perú presentan buena calidad del aire, debido a que las concentraciones de material particulado PM10 se encuentran relativamente bastante bajas en relación con la normativa peruana; tal como lo reporta Herrera (2011) quien encontró concentraciones de material particulado PM10 para la época verano 13,37 ug/m³, y para la época invierno 10,14 ug/m³ en la zona urbana segunda Jerusalén – Rioja – San Martin.

Las actividades de construcción también son factores que influyen en la disposición de material particulado PM10, tal como sostiene Motocanche (2019), quien reportó concentraciones de 65,73 a 98,66 ug/m³ en el área de construcción de Hospital Hipólito

Unanue, estas concentraciones son muy próximas a las concentraciones más altas reportadas en el presente estudio, lo cual nos indica que las estaciones de estudio E1 y E2 presentan concentraciones de material particulado PM10 muy parecidas a una zona de construcción, esta condición puede provocar el desarrollo de enfermedades de tracto respiratorio.

Otro de los factores que influyen en la disposición de material particulado PM10 en el aire, es también la construcción de carreteras tal como ha reportado [Mosqueira \(2019\)](#) quien indica para un área de construcción de carretera Chota-Cochabamba (Cajamarca - Perú), la concentración de material particulado PM10 mayor fue de 74,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la menor de 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este rango encontrado es atribuido principalmente al movimiento de tierra, parque automotor, acumulación y chancado de agregados.

La Organización Mundial de la Salud ha establecido como concentración máxima de material particulado PM10 un valor de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para muestras analizadas en 24 horas; sin embargo, en el Perú, Colombia y Ecuador en los estándares de calidad ambiental del aire para material particulado PM10 han establecido el valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto hace que aparentemente cumplimos con la normativa peruana, pero se evidencia que los habitantes están expuestos a concentraciones elevadas de material particulado y en el tiempo de exposición pueden desarrollar enfermedades del sistema respiratorio. Al respecto [Viera, \(2019\)](#) acota que las concentraciones de material particulado PM10 Y PM2,5 en dos puntos centrales de la parroquia Eloy Alfaro de la provincia de Cotopaxi Latacunga – Ecuador, para PM10 es de 6,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 23,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM2,5 es de 4,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 13,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los mismos que no sobrepasan a la concentración

de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ exigidos en los límites máximos permisibles.

Respecto al polvo sedimentable, la Organización Mundial de la Salud establece una concentración de 0,5 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$, en el presente estudio para la zona cercado de la ciudad de Ilave se ha reportado que la Estación 1 presenta una concentración promedio de 0,73 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días es la que supera al valor establecido por la OMS, mientras que las estaciones E2, E3 y E4 presentan concentraciones de 0,4379 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días, 0,29 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días y 0,34 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días respectivamente, esta diferencia se atribuye principalmente al flujo vehicular. [\(Gallo & Paredes, 2019\)](#) reporta una concentración promedio de polvo sedimentable 0,7 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días y 6,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado en la Ciudad de Riobamba – Ecuador y [\(Guevara & Logroño, 2020\)](#) analizó 14 puntos de muestreo de material particulado sedimentable en la comunidad San José de Chanchuan – Ecuador, reportando concentraciones promedio máximas de 8,45 y mínimas de 7,69 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$, estas concentraciones están muy relacionadas a las concentraciones determinadas para material particulado PM10 en la zona cercado de la ciudad de Ilave; sin embargo, en la normativa peruana se debe incluir el parámetro de polvo sedimentable.

La concentración de polvo sedimentable 0,73 $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días máxima encontrada en la estación 1, la misma que es atribuida al flujo vehicular, esta concentración es muy próxima al valor 1,07 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ de polvo sedimentable reportado para el centro de la ciudad de Tacna esto puede ser debido a que la ciudad se ubica en una zona de arenal.

CONCLUSIÓN

El tráfico vehicular en el cercado de la ciudad de Ilave es determinante en la suspensión de

material particulado PM10 y polvo sedimentable.

El material particulado PM10 y polvo sedimentable en el cercado de la ciudad de Ilave se dispersa a una velocidad promedio 4 m/s.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, por brindarnos los datos meteorológicos para el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, R. C., Oha, J., & Ordoñez, L. O. (2013). Contaminación Del Aire Material Particulado PM10 Y PM2,5 En El Distrito De Torata, Moquegua - Peru. Instituto De Bioingeniería Aplicada ABI - UNSA, Laboratorio Ambiental San Agustín De Torata - UOLASA, 25.
- Arciniégas, S. C. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm10. *Revista Luna Azul*, 20.
- Barraza, V. C., & Sanchez, Q. M. (2019). Evaluación De La Concentración De Material Particulado Pm10 En La Región Norte – Centro Histórico De La Ciudad De Barranquilla. *UNIVERSIDAD DE LA COSTA*, 68.
- Blanco, J. S., & Altúzar, V. F. (2015). Evaluación de Partículas Suspendidas PM2,5 en el Área Metropolitana de Monterrey. México: D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Díaz, S. V., & Páez, P. C. (2006). Contaminación Por Material Particulado En Quito Y Caracterización Química De Las

Muestras. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito - CORPAIRE, 15.

- ECA. (2017). ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AIRE - D.S. N° 003-2017-MINAM. Peru: El Peruano.
- Gallo, R. A., & Paredes, V. C. (2019). Determinación Y Caracterización De Las Concentraciones De Material Particulado Sedimentable Del Sector De Ladrilleras De La Matriz Del Cantón Chambo. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE INGENIERÍA*, 76.
- Guevara, Y. E., & Logroño, N. B. (2020). Determinación De La Concentración De Material Particulado Sedimentable Y Volátil En La Comunidad San José De Chanchuan Por Incidencia Industrial. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE INGENIERÍA*, 57.
- Herrera, D. S. (2011). "Distribución Espacial Vertical De Las Partículas En Suspensión Pm10 Del Medio Atmosférico Urbano En Segunda Jerusalén-Rioja-San Martín-Perú". *Universidad Nacional De San Martín-Tarapoto*, 106.
- Inza, A. A., Sánchez, L. M., Menéndez, M. M., Ortega, C. L., & Gil, I. J. (2006). Estudio De Los Niveles De PM10 Y PM2,5 En Un Área Urbana Con Influencia Industrial Siderometalúrgica. *Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco*, 124.
- Luque, S. J. (2018). Evaluación De La Viabilidad Del Aprovechamiento Del Potencial Eólico Para La Generación De Energía Eléctrica En El Distrito De Chiguata – Arequipa, 2018. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE*

- SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, 2018.
- Miranda, C. J., & Merma, A. L. (2017). “Evaluación De La Concentración De Polvo Atmosférico Sedimentable Y Material Particulado (PM_{2,5}, PM₁₀) Para La Gestión De La Calidad Del Aire 2017 En La Ciudad De Tacna”. UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, FACULTAD DE INGENIERÍA, 125.
- Mosqueira, E. H. (2019). Evaluación De Las Partículas PM_{2,5} Y PM₁₀ En La Construcción. Universidad Nacional De Cajamarca, Unidad De Posgrado De La Facultad De Ciencias Agrarias, 103.
- Motocanche, A. D. (2019). “Evaluación De La Influencia De Las Condiciones Meteorológicas En Los Niveles De Material Particulado PM₁₀ Y PM_{2,5} En La Construcción Del Hospital Hipólito Unánue De Tacna”. UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, FACULTAD DE INGENIERÍA, 108.
- OMS, O. M. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Europa: Edición de la Organización Mundial de la Salud.
- Robles, M. E. (2020). “La contaminación del aire por material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco, 2010 y 2016”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad del Perú. Decana de América, 159.
- Viera, M. J. (2019). “Evaluación De La Concentración De Material Particulado PM₁₀ Y PM_{2,5} En La Parroquia Eloy Alfaro De La Provincia De Cotopaxi En El Periodo 2018-2019”. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI,
- FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES, 75.