

## Evaluación espaciotemporal del material particulado $PM_{2,5}$ y su relación con las variables meteorológicas en la Universidad Nacional Agraria La Molina

### Spatiotemporal evaluation of particulate matter $PM_{2,5}$ and its relationship with the meteorological variables at the Universidad Nacional Agraria La Molina

Sergio A. Pacsi Valdivia<sup>1\*</sup> y Federico Augusto Murriel Gonzales

\*Autor de correspondencia

#### Resumen

En la presente investigación se determinó la concentración de  $PM_{2,5}$ , su variación temporal y espacial en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) durante el período julio–noviembre del año 2016 y la relación de este contaminante con las variables meteorológicas. El equipo utilizado fue un muestreador de bajo volumen marca Partisol modelo 2000-H, el cual colectó muestras en cinco puntos de monitoreo. Los resultados muestran que la concentración  $PM_{2,5}$  oscila en el rango 36,89 – 49,92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el promedio para el período de evaluación en el campus de la UNALM fue de 45,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , superando el Estándar de Calidad Ambiental del Aire del Perú en 15 días del período de monitoreo y en casi todo los días el valor Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para  $PM_{2,5}$ . Por otra parte, se encontró que las concentraciones de  $PM_{2,5}$  en el área de estudio, tuvieron los valores más altos durante el invierno austral con relación a la primavera, asociados a una correlación negativa con la temperatura del aire, velocidad del viento y radiación solar y correlación positiva con la humedad relativa.

**Palabras clave:** Calidad del aire;  $PM_{2,5}$ ; muestreador de bajo volumen; variación temporal; variación espacial; correlación con las variables meteorológicas; Estándar Nacional de Calidad Ambiental.

#### Abstract

In this research was determined the  $PM_{2,5}$  concentration, its temporal and spatial variation in the National Agrarian University La Molina (UNALM) campus during July–November 2016 period and the relationship of this contaminant with the meteorological variables. The equipment used was a Low-volume sampler brand Partisol 2000-H model, which collected samples in five monitoring points. The results achieved shown that the  $PM_{2,5}$  concentration oscillates in the range 36,89 – 49,92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and the average for the evaluation period at the UNALM campus was 45,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , exceeding the Peruvian Air Quality Standard (ECA) in 15 days of the monitoring period and in almost days the World Health Organization (WHO) Guide for  $PM_{2,5}$ . On the other hand, it was found that  $PM_{2,5}$  concentrations, in the study area, had the highest values during the austral winter in relation to spring, associated with a negative correlation with air temperature, wind speed and solar radiation and positively correlated with the relative humidity.

**Keywords:** Air quality,  $PM_{2,5}$ ; Low-volume sampler; Temporal variation; Spatial variation; Correlation with meteorological variables; National Environmental Quality Standard.

#### 1. Introducción

La contaminación del aire es un problema global que se manifiesta principalmente en las grandes ciudades (OMS, 2006). De la gran variedad de contaminantes atmosféricos, el material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ) ha ido adquiriendo importancia paulatinamente con respecto a dos puntos de vista principales, el daño a la salud humana y su contribución al cambio climático (SEMARNAT, 2011).

Debido al tamaño del  $PM_{2,5}$  y su capacidad para ingresar directamente al sistema respiratorio y depositarse en los alveolos pulmonares, este ha sido asociado con causas de morbilidad y mortalidad (Brunekreef *et al.*, 1995; CAFE Programme, 2004; OMS, 2006; Pope *et al.*, citado por Massoud *et al.*, 2011). Asimismo, diversos estudios

concluyen que la exposición a elevadas concentraciones de  $PM_{2,5}$  puede causar enfermedades pulmonares de obstrucción crónica, reducción de la capacidad funcional del pulmón, incremento de la probabilidad de adquirir cáncer de pulmón y reducción en la expectativa de vida debido a mortalidad cardiopulmonar (Pope III *et al.*, citado por Yepés *et al.* 2010).

Para evaluar el efecto de los contaminantes atmosféricos en el ambiente, en diferentes lugares del mundo se han realizado investigaciones sobre la variación temporal y espacial de los gases y el material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  (Shujun Yan *et al.*, 2016; Wang Dai & Liu Yi, 2016; Lei Jiang & Ling Bai, 2017; Kuang Xiao *et al.*, 2018). En estos estudios se muestra la relación entre el incremento de

<sup>1</sup> Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 – La Molina, Lima, Perú. Email: [spv@lamolina.edu.pe](mailto:spv@lamolina.edu.pe)

la población y el parque automotor con el deterioro de la calidad del aire, en particular con el material particulado  $PM_{2,5}$  (Wang Dai & Liu Yi, 2016). En las ciudades chinas se muestra que el contaminante más preocupante es el  $PM_{2,5}$  y sus concentraciones varían según las estaciones del año, por ello indican la importancia de evaluar la relación que tienen los contaminantes atmosféricos con las variables meteorológicas (Shujun Yan *et al.*, 2016).

Entre las capitales latinoamericanas, Lima es una de las ciudades con el peor cuadro de contaminación atmosférica (Salazar y Townsend, 2009). En los últimos años, las concentraciones de material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ) han superado estándares internacionales de protección ambiental, lo cual ha motivado a las instituciones públicas a desarrollar políticas de gestión ambiental para contrarrestar y controlar los impactos causados por esta situación, con la finalidad de proteger a la salud pública de los efectos adversos (García y Tantaleán, 2008).

Los estudios del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), muestran que las zonas con los mayores niveles de contaminación del aire son el Norte y el Este de Lima Metropolitana (SENAMHI, 2016), que tienen su relación con las fuentes de emisión, la topografía y la dirección del viento. (García y Tantaleán, 2008; Salazar y Townsend, 2009). Las estaciones de monitoreo de calidad del aire del SENAMHI en la zona Este de Lima están ubicadas en los distritos de Santa Anita, Ate Vitarte, San Juan de Lurigancho y Huachipa. Para estas zonas se conoce las características de los contaminantes atmosféricos, sin embargo no se conoce cuál es el estado de la calidad del aire en La Molina, un distrito muy importante de esta parte de Lima Metropolitana denominado distrito ecológico y con una alta densidad de árboles. En este distrito se ubica el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Por ello, el objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración del material particulado  $PM_{2,5}$  en el aire ambiental del campus de la UNALM, evaluar su variación temporal y espacial y determinar su relación con las variables meteorológicas, los Estándares Nacionales de Calidad del Aire y las Guías de la OMS durante el período julio a noviembre del año 2016.

## 2. Materiales y métodos

### Descripción del lugar de investigación

El campus de la UNALM se encuentra ubicado en el distrito de La Molina, en la zona Este de Lima metropolitana. La Molina, es un distrito residencial, con poca actividad comercial e industrial, pero con elevado tránsito vehicular; sin embargo, es uno de los distritos que tiene una gran superficie cubierta por áreas verdes, llegando a tener una proporción de 32,91 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, lo cual supera al valor mínimo referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud para una buena calidad de vida, el cual es de 9 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante (MINAM, 2018).

A pesar de que la UNALM tienen una gran extensión de áreas verdes y mucha cobertura arbórea, la calidad del aire en el campus universitario puede verse afectado por fuentes de emisión localizados alrededor de la universidad.

La principal fuente de contaminantes atmosféricos tales como el  $PM_{2,5}$  y sus precursores es el parque automotor que circula en las avenidas La Molina, Raúl Ferrero y Alameda del Corregidor, las cuales se caracterizan por presentar un flujo vehicular permanente y abundante en horas punta. Existen en el entorno del área de estudio zonas residenciales y comerciales, fuentes naturales asociadas a cerros sin vegetación y zonas agrícolas asociados a los campos de experimentación de la UNALM.

La UNALM cuenta con aproximadamente 6424 estudiantes, de los cuales 5176 son estudiantes de pregrado y 1248 son estudiantes de posgrado (UNALM, 2014), personas que diariamente utilizan sus instalaciones y se exponen al nivel de calidad del aire de la zona.

### Equipo de muestreo

Para el muestreo de  $PM_{2,5}$  se utilizó un equipo muestreador de bajo volumen marca Partisol modelo 2000-H, que trabaja con un flujo de 16,7 litros/min y utiliza filtros de fibra de cuarzo de 47 mm de diámetro. El muestreador fue previamente calibrado por un laboratorio acreditado en la ciudad de Lima y el proceso de monitoreo se realizó según lo establecido por el protocolo de monitoreo de calidad del aire y gestión de datos de la DIGESA (DIGESA, 2005). El análisis gravimétrico de las muestras se realizó en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UNALM.

### Muestreo y evaluación de la concentración de $PM_{2,5}$

Los muestreos del  $PM_{2,5}$  se llevaron a cabo en cinco puntos de monitoreo distribuidos en el campus de la UNALM (Figura 1 y Tabla 1).

Los puntos de monitoreo se ubicaron en las azoteas de las siguientes edificios: Laboratorio de Ingeniería ambiental (Estación P1), Centros Federados (Estación P2), Auditorio A-4 (Estación P3), Oficinas de Servicios Generales (Estación P4) y el Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt (Estación P5). Las características de la red de monitoreo se muestran en la Tabla 1. Los criterios de selección de los puntos de monitoreo son la facilidad de acceso, seguridad contra vandalismo, disponibilidad de energía eléctrica, ausencia de obstáculos y ser representativos (DIGESA, 2005).

El período de monitoreo para las mediciones de las concentraciones de  $PM_{2,5}$  se realizó entre el 04 de julio y 19 de noviembre del 2016. La toma de muestras fue interdiaria durante el período de monitoreo. El tiempo de toma de muestra fue de  $24 \pm 1$  hora (DIGESA, 2005). El equipo muestreador se desplazó de un punto de monitoreo a otro cada dos semanas. En total se registraron 70 datos diarios de concentración de  $PM_{2,5}$ .

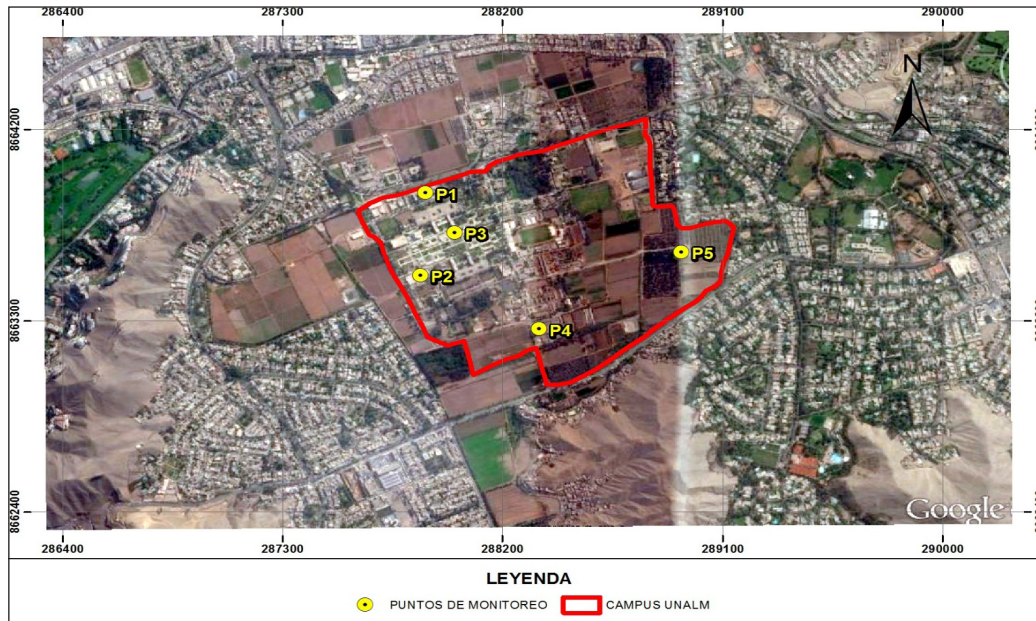


Figura 1. Ubicación de los cinco puntos de monitoreo en el campus de la UNALM.

Tabla 1. Características de la red de monitoreo usada en el presente estudio

Estación	Lugar	Altura (m)	Descripción
Punto 1	Azotea del Laboratorio de Ingeniería Ambiental	6,15	Al lado de la Av. La Molina y con alto tránsito vehicular continuo.
Punto 2	Azotea de los Centros Federados	5,05	Cerca al comedor universitario y áreas agrícolas.
Punto 3	Azotea del Auditorio A-4	5,90	Centro del campus universitario y cercano a los salones de clase.
Punto 4	Azotea de oficina de Servicios Generales	3,10	Al lado de la Av. Raúl Ferrero, alto tránsito vehicular y lugar de estacionamiento de buses universitarios.
Punto 5	Azotea de la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt - UNALM	3,80	Zona rodeada de campos agrícolas. Alejado de fuentes vehiculares.

Durante el período de monitoreo se midieron simultáneamente en el área de estudio las variables meteorológicas temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y la radiación solar en el Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt de la UNALM.

El cálculo de la concentración de PM<sub>2,5</sub> se realizó utilizando la siguiente expresión:

$$C_{PM_{2,5}} = [(PF_f - PF_i) / V_{std}] \times 10^6$$

Dónde:

- C<sub>PM<sub>2,5</sub></sub>: Concentración diaria de PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)
- PF<sub>f</sub>: Peso de filtro con muestra (g)
- V<sub>std</sub>: Volumen estándar de aire muestreado (m<sup>3</sup>)
- PF<sub>i</sub>: Peso de filtro sin muestra (g)

La base de datos obtenida fue procesada y evaluada a través del análisis exploratorio de datos y análisis de correlación simple; además se realizaron gráficos de series temporales y mapas de isolíneas para determinar la variación espacial de la concentración de PM<sub>2,5</sub> en el área de estudio.

### 3. Resultados y discusión

#### Evaluación de los datos de concentración de PM<sub>2,5</sub>

En la Figura 2 se muestra la gráfica de caja de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en el área de estudio. Se observa que las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> obtenidas tienden a oscilar entre valores que van de 36,89 a 49,92 µg/m<sup>3</sup>, con un valor máximo de 79,16 µg/m<sup>3</sup> y un valor mínimo de 24,67 µg/m<sup>3</sup>, los cuales fueron obtenidos en el período de monitoreo. La mediana corresponde a una concentración de 45,25 µg/m<sup>3</sup>.

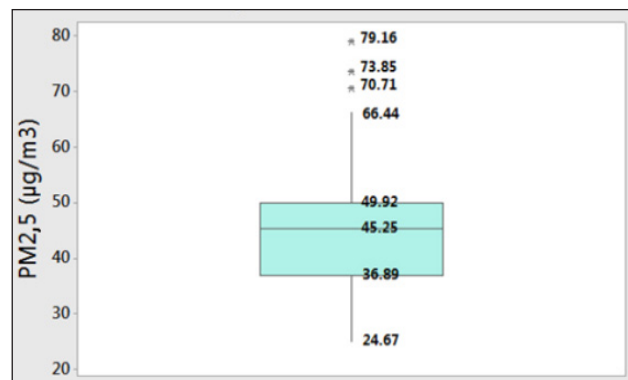


Figura 2. Distribución de los valores de concentración de PM<sub>2,5</sub> obtenidos durante el período de monitoreo en el área de estudio



Estos resultados concuerdan con los datos publicados por el SENAMHI en los boletines mensuales sobre la vigilancia de la calidad del aire en Lima Metropolitana correspondientes a los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre del año 2016 (SENAMHI 2016a, SENAMHI 2016b, SENAMHI 2016c, SENAMHI 2016d, SENAMHI 2016e). Según el SENAMHI durante los meses de nuestro período de monitoreo la zona de Lima Este (Santa Anita y Ate Vitarte) presentó valores de concentración de  $PM_{2,5}$  que van de 27,0 a 59,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo este rango muy similar al que se encontró en la presente investigación.

Variación temporal de la concentración de  $PM_{2,5}$

La Figura 3 muestra la variación temporal de las concentraciones diarias de  $PM_{2,5}$  obtenidas en el área de estudio durante el período de monitoreo. Se puede observar que durante todos los días del período de monitoreo se superó el valor Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para  $PM_{2,5}$  definido en 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2006) y en más del 41 % de los días de monitoreo se duplicó este valor límite. Ello implica que existe un impacto negativo en la salud de la población del área de estudio según estudios internacionales (OMS, 2006). Desde el punto de vista legal en 15 días del período de monitoreo (21 % del total de días) se superan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire del Perú (ECA aire) actualizados en el año 2017 en 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (MINAM, 2017). Estos resultados muestran que el material particulado fino es un problema crítico en la zona Este de Lima metropolitana y estaría relacionado a las emisiones del parque automotor, su antigüedad, la calidad del combustible utilizado, las fuentes de emisión y las condiciones meteorológicas de la zona de estudio (Pacsi, 2016).

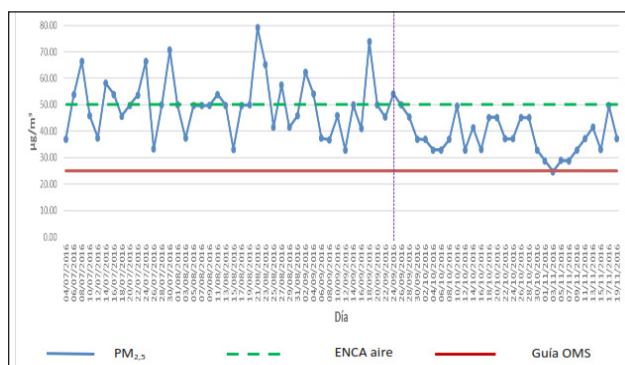


Figura 3. Variación diaria de la concentración de  $PM_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el aire ambiental de la UNALM en relación a la guía de la OMS y ECA de aire nacional

Se observa en la Figura 3, que en el período entre julio y setiembre (invierno austral) los valores de concentración de  $PM_{2,5}$  superan el ECA aire en 15 días, mientras que en el período entre octubre y noviembre (primavera) todos los valores están por debajo del ECA aire. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios realizados en ciudades de la China (Shujun Yan *et al.*, 2016; Kuang

Xiao *et al.*, 2018). Esta característica estaría asociada a las condiciones de mayor humedad ambiental en el invierno en relación a la primavera.

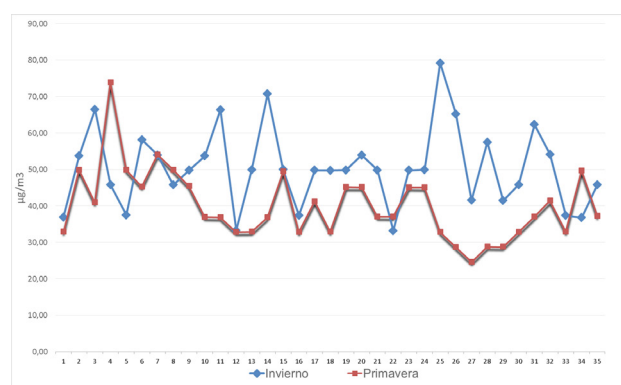


Figura 4. Variación temporal de la concentración de  $PM_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el aire ambiental de la UNALM durante el invierno y primavera austral del 2016.

En la Figura 4 se observa la variación temporal de la concentración del  $PM_{2,5}$  en el invierno y primavera austral. Durante el período de estudio se evidencia que los valores de concentración de  $PM_{2,5}$  son mayores en invierno en relación a la primavera del hemisferio sur. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios realizados en ciudades de la China (Shujun Yan *et al.*, 2016; Kuang Xiao *et al.*, 2018) y se pueden asociar a las características de las fuentes de emisión (parque automotor y fuentes estacionarias) en el área de estudio y las condiciones meteorológicas de la zona asociados a condiciones de estabilidad atmosférica y altos niveles de humedad relativa en el invierno (Pacsi, 2016).

En los estudios de He *et al.* (2001) y Ye *et al.* (2002) se evalúan las características y comportamiento estacional del  $PM_{2,5}$  en las ciudades de Shanghai y Beijing (China), ambos en el período 1999-2000, los cuales determinaron que la diferencia significativa entre las concentraciones de  $PM_{2,5}$  de invierno y las de primavera se debía a que en la temporada de invierno, respecto a la de primavera, se quemaba más carbón y biomasa en las viviendas con la finalidad de obtener calefacción y poder cocinar, por lo cual concluyeron que la quema de carbón y biomasa para fines domésticos fue un factor muy influyente en la variación estacional de las concentraciones de material particulado fino.

Interrelación entre la concentración de  $PM_{2,5}$  y las variables meteorológicas

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba de correlación de Spearman entre los datos de concentración de  $PM_{2,5}$  y la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar en el área de estudio. En dicha tabla se observa que los valores de "p" obtenidos son menores al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0,01$ ), lo cual indica que existe evidencia

estadística suficiente para afirmar que los coeficientes de correlación (r) son significativos.

Tabla 2. Análisis de correlación de Spearman (r) y valor p entre las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar

Variable Meteorológica	r	Valor p
Temperatura	-0.401	0.001
Humedad Relativa	0.474	0.000
Velocidad del Viento	-0.573	0.000
Radiación Solar	-0.339	0.004

Se observa en la [Tabla 2](#), que existe una correlación negativa entre el PM<sub>2,5</sub> y la radiación solar, temperatura del aire y velocidad del viento, lo que indica una relación inversa entre las variables en evaluación. Por consiguiente en los periodos de invierno, la radiación solar, la temperatura del aire y la velocidad del viento disminuyen en relación a la primavera, generando una condición estable de la atmósfera que a su vez se asocia a una menor turbulencia en la atmósfera y menor dispersión de los contaminantes atmosféricos ([Sánchez-Ccoyllo y Ordóñez-Aquino, 2016](#)), que tendría como consecuencia que el material particulado fino no se disperse y provoque el incremento de la concentración del PM<sub>2,5</sub> en el área de estudio.

También se observa en la [Tabla 2](#) y en la [Figura 5](#), una correlación directa entre la concentración del PM<sub>2,5</sub> y la humedad relativa. En el invierno de Lima metropolitana los niveles de la humedad relativa se incrementan significativamente hasta valores promedios del 95% ([Sánchez-Ccoyllo y Ordóñez-Aquino, 2016](#)), por consiguiente en este periodo las partículas finas del aire ambiental incrementan la absorción de vapor de agua, lo que tiene como consecuencia el incremento de la masa del PM<sub>2,5</sub> y por consiguiente el aumento de la concentración del PM<sub>2,5</sub> en el área de estudio ([Pacsi, 2016](#)). Estos resultados

son concordantes con los encontrados por [Shujun Yan et al. \(2016\)](#) quienes evalúan las características espaciales y temporales de la calidad del aire y contaminantes en Beijing y concluyen que la concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> son relativamente mayores en primavera e invierno y hallaron una correlación positiva con la humedad relativa y correlación negativa con la velocidad del viento y la presión atmosférica. Similares resultados fueron reportados por [Kuang Xiao et al. \(2018\)](#).

En la [Figura 6](#) se muestra la rosa de vientos para la primavera e invierno del año 2016 en el área de estudio. Se observa que la dirección predominante es del sur-suroeste en ambos periodos. La velocidad del viento es mayor en el periodo de primavera (0,5 a 5,7 m/s) en relación al invierno (0,5 a 3,6 m/s), lo cual se relaciona a las condiciones de estabilidad atmosférica en el periodo de invierno, que se relaciona a su vez con la menor dispersión de contaminantes atmosféricos ([Pacsi, 2016](#)).

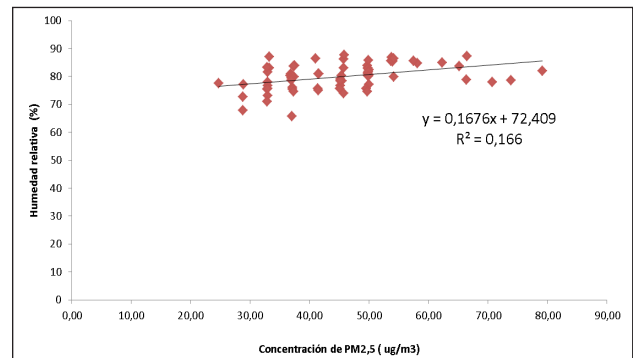


Figura 5. Relación entre la concentración de PM<sub>2,5</sub> y la humedad relativa (%) en la UNALM

#### Variación espacial de la concentración de PM<sub>2,5</sub>

La [Figura 7](#) muestra la distribución espacial de la concentración de PM<sub>2,5</sub> en el campus de la UNALM durante el periodo de estudio. Se observa un núcleo de máxima concentración cerca al Punto 1, que se encuentra al lado

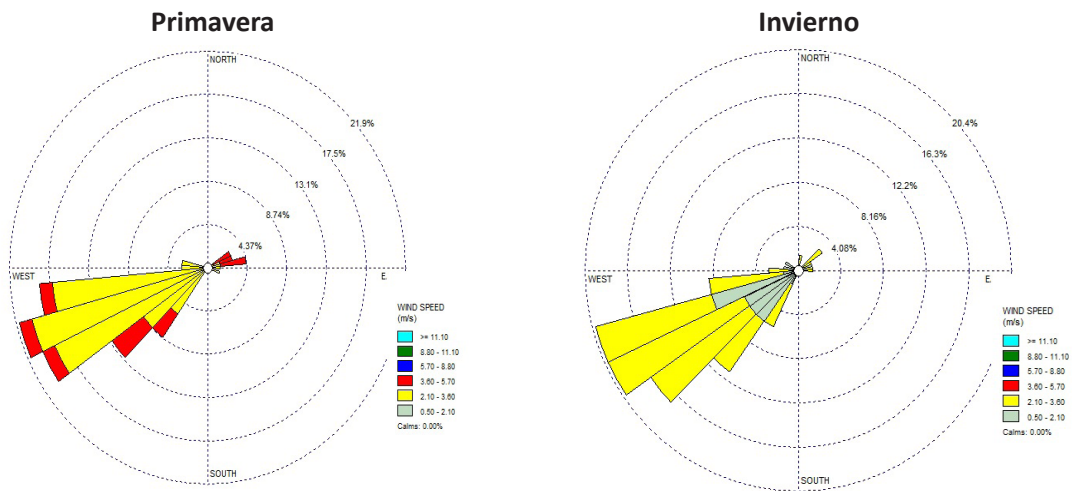


Figura 6. Rosa de vientos para la estación Alexander Von Humboldt de la UNALM, para la primavera e invierno del año 2016



de una avenida de alto tránsito vehicular. Por otro lado se observa un núcleo de menores concentraciones al noreste del campus (P5). Esta variación se asocia la influencia del viento que se muestra en la **Figura 8**, siendo las fuentes predominantes de esta distribución el parque automotor y las fuentes de área y fuentes naturales ubicadas al sur y suroeste del área de estudio. En general, los valores promedios de concentración del  $PM_{2.5}$  superan la Guía de la OMS en todo el área de estudio y solo en algunos puntos los valores del ECA de aire vigente.

#### 4. Conclusiones

La concentración promedio de  $PM_{2.5}$  en el aire ambiental del campus de la UNALM, se encuentran en el rango de 36,89 a 49,92  $\mu g/m^3$ , registrándose valores máximos de hasta 79,11  $\mu g/m^3$ . Estos valores superan el ECA de aire para  $PM_{2.5}$  (definido en 50  $\mu g/m^3$ ) en el 21 % de los días muestreados y en el 98,5% el valor guía de la OMS (definido en 25  $\mu g/m^3$ ). Los valores promedios de concentración de  $PM_{2.5}$  en el invierno austral son mayores que los registrados en la primavera y tienen una correlación

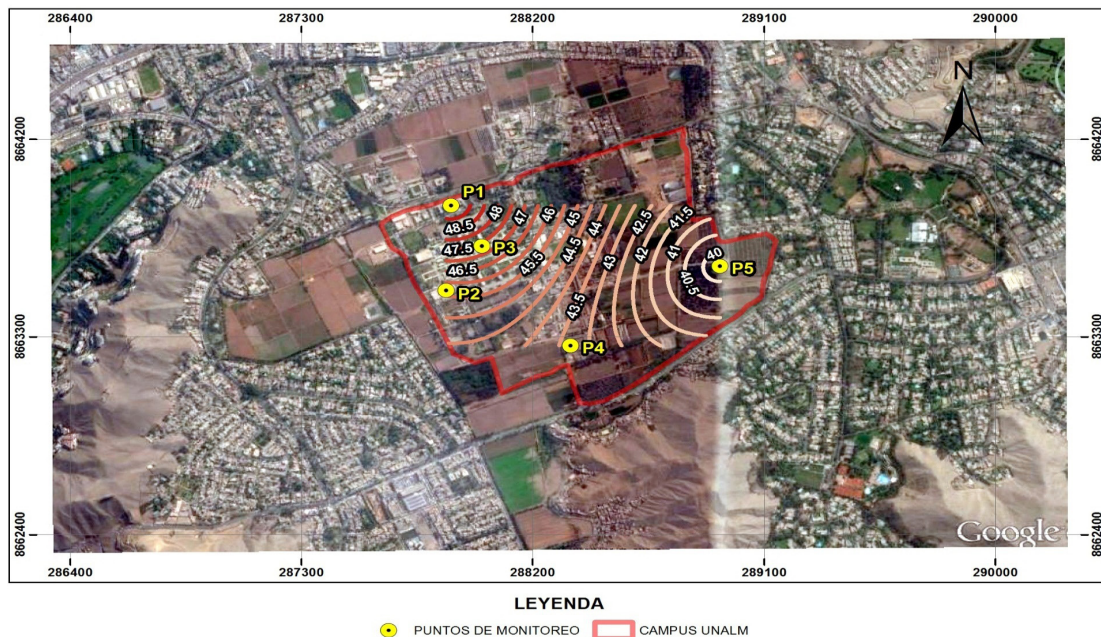


Figura 7. Variación espacial de la concentración de  $PM_{2.5}$  en el campus de la UNALM durante el período de monitoreo

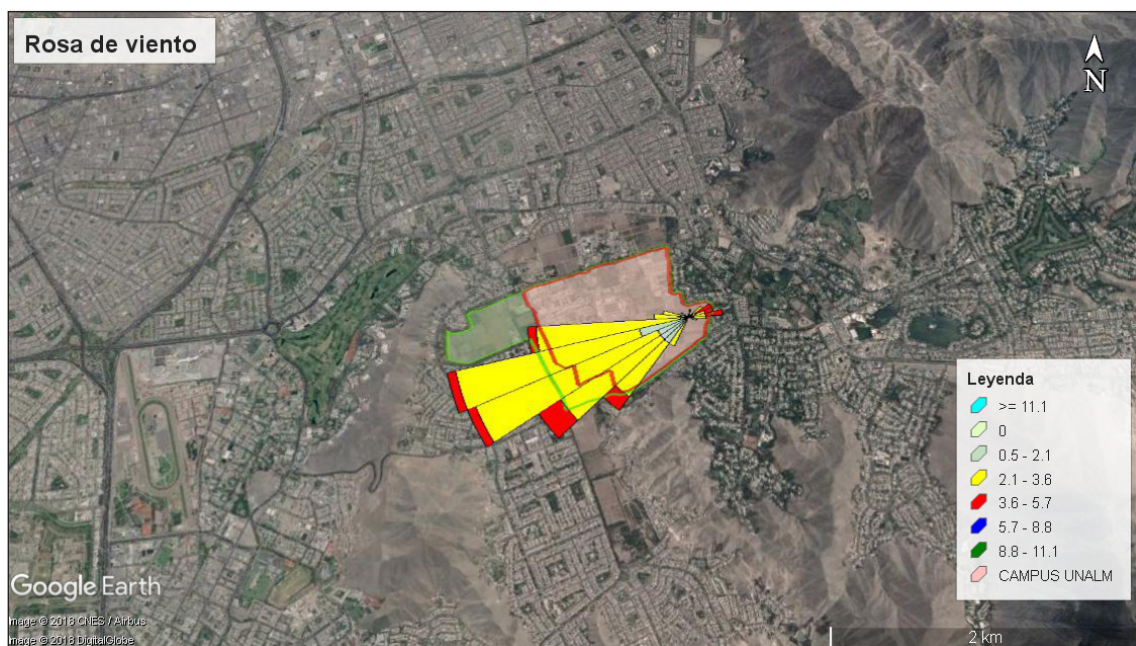


Figura 8. Influencia de la dirección predominante del viento y las fuentes de emisión en el área de estudio

positiva con la humedad relativa y negativa con la radiación solar, temperatura del aire y velocidad del viento.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## 6. Literatura citada

- Brunekreef, B.; Dockery, D. and Krzyzanowski, M. 1995. Epidemiologic studies on short-term effects of low levels of major ambient air pollution components. *Environ Health Perspect*, 103: 3-13.
- CAFE Programme [The Clear Air For Europe Programme, DK]. 2004. Second position paper on particulate matter. Copenhagen, DK. 231 p.
- DIGESA [Dirección General de Salud Ambiental]. 2005. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Lima, PE. 71 p.
- García, J. y Tantaleán, J. 2008. Evaluación del grado de contaminación del aire en el Centro Histórico de Lima. *Anales Científicos*, 69(4): 1-11
- He, K.; Yang, F.; Ma, Y.; Zhang, Q.; Yao, X.; Chan, C.; Cadle, S.; Chan, T. and Mulawa, P. 2001. The characteristics of PM<sub>2,5</sub> in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 35: 4959-4970
- Kuang Xiao, Yuku Wang, Guang Wu, Bin Fu and Yuanyuan Zhu. 2018. Spatiotemporal Characteristics of Air Pollutants (PM10, PM25, SO2, NO2, O3, and CO) in the Inland Basin City of Chengdu, Southwest China. *Atmosphere* 9, 74.
- Lei Jiang & Ling Bai .2018. Spatio-temporal characteristics of urban air pollutions and their causal relationships: Evidence from Beijing and its neighboring cities. *Scientific Reports*, 8:1279.
- Massoud, R.; Shihadeh, A.L.; Roumié, M.; Youness, M.; Gerard, J.; Saliba, N.; Zaarour, R.; Abboud, M.; Farah, W.; Saliba, N.A. 2011. Intraurban variability of PM10 and PM<sub>2,5</sub> in an Eastern Mediterranean city. *Atmospheric Research*, 101: 893-901
- MINAN. 2016. Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. Julio 2016.
- MINAN. 2017. Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Junio 2017.
- MINAM. 2018. Índice de áreas verdes públicas en Lima Metropolitana (Metros cuadrados por habitante): Municipalidad Metropolitana de Lima. Lima-Perú. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1617>.
- OMS [Organización Mundial de la Salud]. 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Ginebra, CH. p. 21
- Pacsi, S. 2016. Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM<sub>2,5</sub> en Lima metropolitana. *Anales científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina*. 77(2): 273-283
- Salazar, R.y Townsend, A. 2009. Se te subieron los humos. *Semana Económica setiembre 2009*: 4-6
- Sánchez-Ccoyllo, O. R. y Ordóñez-Aquino, C. G. 2016. Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana en el 2015. Lima: SENAMHI.
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX]. 2011. Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM<sub>2,5</sub>. Ed. AM Sánchez. México. 101 p.
- SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología E Hidrología]. 2016a. Vigilancia de la calidad del aire Agosto 2016. *Boletín mensual*. 16(7): 1-18
- SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología E Hidrología]. 2016b. Vigilancia de la calidad del aire Julio 2016. *Boletín mensual*, 16(7): 1-18
- SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología E Hidrología]. 2016c. Vigilancia de la calidad del aire Noviembre 2016. *Boletín mensual*, 16(7): 1-18
- SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología E Hidrología]. 2016d. Vigilancia de la calidad del aire Octubre 2016. *Boletín mensual*, 16(7): 1-18
- SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología E Hidrología]. 2016e. Vigilancia de la calidad del aire Setiembre 2016. *Boletín mensual*, 16(7): 1-18.
- Shujun Yan, Hui Cao, Ying Chen, Chengzhen Wu, Tao Hong and Hailan Fan. 2016. Spatial and temporal characteristics of air quality and air pollutants in 2013 in Beijing. *Environ Sci Pollut Res*, 23:13996–14007.
- WANG Dai, LIU Yi. 2016. Spatiotemporal differences and driving forces of air quality in Chinese cities. *Journal of Resources and Ecology*, 7(2):77–84.
- Ye, B.; Ji, X.; Yang, H.; Yao, X.; Chan, C.; Cadle, S.; Chan, T. and Mulawa, P. 2002. Concentration and chemical composition. of PM<sub>2,5</sub> in Shanghai for a 1-year period. *Atmospheric Environment*, 37: 499-510
- Yepés, L.; Pérez, L.J.; Tabón, J.L.; Takahashi, H.T.; Benítez, D.; Higueta, H.D. y Grajales, V.H. 2010. Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas urbanas del valle de Aburrá: caracterización y análisis de la contribución de fuentes de material particulado PM<sub>2,5</sub> en tres (3) zonas del valle de Aburrá. *Medellín*. 26-37p.
- UNALM. 2014. Compendio de normativas vigentes de la UNALM. Universidad Nacional Agraria La Molina.