

## Evaluación de la composición química del material particulado PM<sub>2,5</sub> en la Universidad Nacional Agraria La Molina

### Quemical composition evaluation of particulate matter PM<sub>2,5</sub> at the National Agrarian University La Molina

Sergio Pacsi Valdivia<sup>1\*</sup>; Cesar Manuel Llanos Puga<sup>2</sup>

\*Autor de correspondencia}

#### Resumen

En la presente investigación se determinó la composición química del PM<sub>2,5</sub> en el aire ambiental del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Para ello, se realizó un monitoreo de PM<sub>2,5</sub> entre julio y setiembre del 2016 en cinco puntos de muestreo, utilizando un muestreador activo de bajo volumen modelo PARTISOL. La composición química se determinó en términos de contenido total de metales, analizados mediante Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), a través un Cromatógrafo Iónico. Los resultados obtenidos muestran que el valor promedio de concentración de PM<sub>2,5</sub> fue de 50,33 ug/m<sup>3</sup>, valor superior al Estándar Peruano de calidad del aire (ECA) y las guías de la OMS. El contenido metálico en el PM<sub>2,5</sub> representa el 7,7% del contenido promedio de PM<sub>2,5</sub>. Los metales predominantes en el PM<sub>2,5</sub> del área de estudio son el Sodio (Na), Silicio (Si), Calcio (Ca), Potasio (K), Fósforo (P) y Hierro (Fe), relacionados con actividades antropogénicas, emisiones vehiculares y fuentes naturales.

**Palabras clave:** PM<sub>2,5</sub>; calidad del aire; composición química; metales; Sodio; Silicio.

#### Abstract

In this research was determined the chemical composition of the PM<sub>2,5</sub> in the environmental air of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) campus. For this purpose, PM<sub>2,5</sub> monitoring was carried out during July-September 2016 period, in five sampling points. An active low-volume sampler PARTISOL model was used. The chemical composition was determined in terms of total metal content, analyzed by Inductively coupled plasma- atomic emission spectroscopy (ICP-AES), analyzed by Ion Chromatography. The results achieved show that the mean value of PM<sub>2,5</sub> concentration was 50,33 ug/m<sup>3</sup>, higher than the Peruvian Air Quality Standard (ECA) and WHO guidelines. The metallic content in PM<sub>2,5</sub> represents 7,7% of the average PM<sub>2,5</sub> content. The predominant metals in PM<sub>2,5</sub> of the study area are Sodium (Na), Silicon (Si), Calcium (Ca), Potassium (K), Phosphorus (P) and Iron (Fe), related to anthropogenic activities, vehicles emissions and natural sources.

**Keywords:** PM<sub>2,5</sub>; Air quality; quemical composition; metals; Sodium; Silicon.

#### 1. Introducción

En la ciudad de Lima-Perú, solamente por exposición al material particulado, mueren más de 6.000 personas al año y los gastos por salud debido a tal exposición representan aproximadamente 300 millones de dólares (MINAM, 2011). Las fracciones más finas, como el PM<sub>2,5</sub> (material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras), llaman más la atención de la comunidad científica puesto que estas pueden permanecer en suspensión por tiempos prolongados (Pateraki *et al.*, 2014). Sumado a ello, el PM<sub>2,5</sub> tiene una gran área superficial que facilita el transporte de virus, bacterias y componentes tóxicos que pueden ser inhalados a través del sistema respiratorio humano, penetrar hasta los alveolos y generar enfermedades respiratorias y cardiovasculares agudas y crónicas (Chen *et*

*al.*, 2014).

Según Liu *et al.* (2015), el conocimiento de la composición química del PM<sub>2,5</sub> es fundamental para entender y evaluar completamente los impactos que este genera en el clima, la calidad del aire y la salud humana, por ello los metales contenidos en el PM<sub>2,5</sub> se asocian a efectos negativos a la salud humana generando de alergias respiratorias y potenciales efectos cancerígenos (Zhai *et al.*, 2014; Dominici *et al.*, 2007). En consecuencia, es importante conocer la composición química del material particulado fino, por ello en la presente investigación se analiza el contenido de metales básicos en el material particulado PM<sub>2,5</sub> medidos en el aire ambiental del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

<sup>1</sup>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)  
<sup>2</sup>Consultor independiente, Lima, Perú

## 2. Materiales y métodos

El área de estudio se encuentra en el campus universitario de la UNALM, ubicado en el distrito de La Molina, provincia de Lima- Perú, y está ubicada aproximadamente entre las latitudes 12°04' y 12°05' Sur y las longitudes 76°57' y 76°56' Oeste, con una altitud promedio de 243,7 msnm.

En muestreo del PM<sub>2,5</sub> fue realizado utilizando un muestreador manual activo de bajo volumen marca Partisol Model 2000H Air Sampler, que opera a un flujo de 0.0167 m<sup>3</sup>/min y usa filtros de fibra de cuarzo de 47 mm de diámetro. Los muestreos se realizaron durante los meses de Julio, Agosto y Setiembre del 2016, en una red de cinco puntos de monitoreo cuyas características y ubicación se muestran en la Tabla 1 y Figura 1 respectivamente. La frecuencia de monitoreo fue interdiaria y el tiempo de toma de muestra de 24 horas, según el procedimiento del protocolo de monitoreo de calidad del aire y gestión de datos de la DIGESA (2005) totalizando 35 muestras.

**Tabla 1.** Características de los puntos de Monitoreo

Punto	Lugar	Altura (m)	Descripción de la zona
Punto 1	Azotea del Laboratorio de Ingeniería Ambiental	6.15	Cerca de la Av. La Molina
Punto 2	Azotea de los Centros Federados	5.05	Alto tránsito de estudiantes y cercana al comedor universitario
Punto 3	Azotea del Auditorio A-4	5.90	Alto tránsito de estudiantes y cercana a salones de clase
Punto 4	Azotea de Servicios Generales	3.10	Cerca de la Av. Raúl Ferrero y al parqueo de buses de la UNALM
Punto 5	Azotea de la Estación Meteorológica AVH	3.80	Zona rodeada de campos agrícolas

La concentración del PM<sub>2,5</sub> de cada filtro se calculó según el procedimiento de la DIGESA, 2005 de acuerdo a la siguiente Ecuación:

$$PM_{2,5} = \left( \frac{P_f - P_i}{V} \right) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

- PM<sub>2,5</sub> : Concentración en ug/m<sup>3</sup>
- P<sub>f</sub> : Peso final del filtro (gr.)
- P<sub>i</sub> : Peso inicial del filtro (gr.)
- V : Volumen estandarizado (m<sup>3</sup>)

La determinación de la concentración de metales en el PM<sub>2,5</sub> se realizó en cinco filtros (1 filtro por punto de muestreo) seleccionados siguiendo el criterio del estudio del Grupo de Ingeniería Química (2006) realizado en España, en donde la masa del material particulado y los metales contenidos en él presentan mayor concentración en los mismos días. Por consiguiente, los filtros que presentaron

mayor concentración en cada punto de monitoreo fueron utilizados para determinar la concentración de metales en el PM<sub>2,5</sub>.

El análisis químico y cálculo de la concentración de los metales en los filtros del PM<sub>2,5</sub> fue realizada en un laboratorio acreditado por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad del Perú), utilizando el método de la Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES por sus siglas en inglés), metodología utilizada en los diferentes estudios sobre la determinación de metales en el PM<sub>2,5</sub> (Machado *et al.*, 2008; Almeida *et al.*, 2015; Contini *et al.*, 2014).

Para la evaluación de los resultados, se utilizaron valores de referencia establecidos por entidades internacionales (Tabla 2), porque a la fecha en el Perú no se cuenta con una normativa para los metales presentes en el aire ambiental y la existente solo presenta valores para plomo (DS 003-2017, 2017).

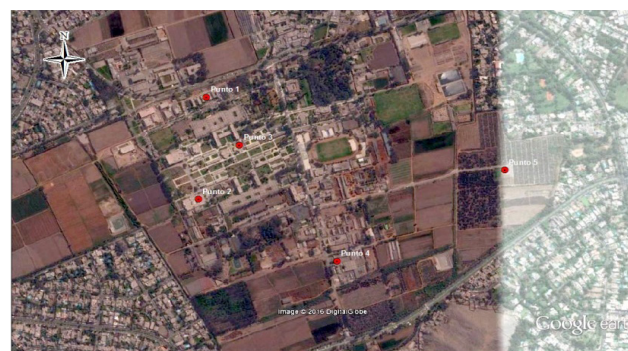
**Tabla 2.** Valores de referencia para metales en el PM<sub>2,5</sub> (ug/m<sup>3</sup>)

Metal	Símbolo	Valores típicos en el aire ambiental <sup>a</sup>		USEPA RC <sup>b</sup>
		Rural	Urbano	
Antimonio	Sb	< 0.001	0.032	-
Arsénico	As	0.002	0.02	0.00057
Berilio	Be	0.0001	0.002	0.001
Cadmio	Cd	0.001	0.008	0.0014
Cromo	Cr	0.002	0.02	-
Cobalto	Co	0.0001	0.0005	0.00027
Cobre	Cu	0.01	0.29	-
Hierro	Fe	0.3	1.6	-
Plomo	Pb	0.02	0.04	0.03
Manganeso	Mn	0.001	0.02	-
Mercurio	Hg	0.0001	0.014	-
Níquel	Ni	0.006	0.02	0.01
Selenio	Se	0.0001	0.015	-
Plata	Ag	0.0005	0.004	-
Vanadio	V	0.0008	0.065	0.1
Zinc	Zn	0.006	0.103	-

Fuente: Geiger y Cooper, 2010

<sup>a</sup> Valor típico en el material particulado del aire ambiental de Estados Unidos.

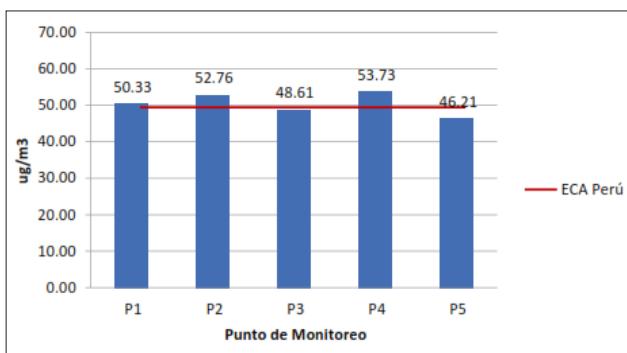
<sup>b</sup> Valor mínimo de riesgo de cáncer (RC) (1 en un millón).



**Figura 1.** Ubicación espacial de los puntos de Monitoreo

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de la concentración promedio de PM<sub>2,5</sub> medidos en el área de estudio durante los meses de Julio, Agosto y Setiembre del 2016, son mostrados en la Figura 2. Se observa que los valores de concentración de PM<sub>2,5</sub> en tres puntos de monitoreo (P1, P2 y P4) superan el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire del Perú (ECA) recientemente definido para PM<sub>2,5</sub> en 50 ug/m<sup>3</sup> (D.S. 003-2017-MINAM). Sin embargo si tomamos en cuenta las guías de calidad del aire de la OMS, en todos los puntos de monitoreo se superan el valor definido en 25 ug/m<sup>3</sup>. Estos resultados son coherentes con los encontrados por otros estudios para Lima, donde se muestra que los valores de material particulado fino PM<sub>2,5</sub> superan las normas vigentes en la zona este de Lima (SENAMHI, 2015; Pacsi, 2016).



**Figura 2.** Concentración promedio de PM<sub>2,5</sub> por punto de monitoreo

En la Tabla 3, se muestra las características de los cinco filtros seleccionados en el área de estudio, para los cuales se determinó la composición de metales correspondientes. La determinación de la composición de los metales en el PM<sub>2,5</sub> fue realizada a través de un laboratorio externo acreditado por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad del Perú) utilizando el método de la Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente. Los resultados del análisis muestran la existencia de 31 metales en los filtros: plata (Ag), aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), bario (Ba), berilio (Be), calcio (Ca), cadmio (Cd), cerio (Ce), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), potasio (K), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), sodio (Na), níquel (Ni), fósforo (P), plomo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se), silicio (Si), estaño (Sn), estroncio (Sr), titanio (Ti), talio (Ta), vanadio (V) y zinc (Zn). Estos metales fueron clasificados en tres Grupos: A, B y C. Aquéllos que fueron detectados en al menos cuatro puntos de monitoreo (Grupo A), aquéllos detectados en uno, dos o tres puntos de monitoreo (Grupo B) y aquéllos que no fueron detectados en ningún punto de monitoreo (Grupo C).

Los metales clasificados en los Grupos A y B se muestran en la Tabla 4 ordenados de manera descendente en base a la mediana de sus concentraciones. Se observa que

los metales predominantes con mayor concentración en el PM<sub>2,5</sub> son el Na, Si, Ca, K, P, Fe y Mg, los cuales se presentan en los cinco puntos de monitoreo. Este resultado es concordante con Jiang et al. (2015), en donde el sodio y silicio predominaron en el monitoreo en la ciudad de Hong Kong – China.

**Tabla 3.** Filtros seleccionados conforme a la mayor concentración de PM<sub>2,5</sub>

Punto	Nº Filtro	PM <sub>2,5</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	Fecha de muestreo	Día de muestreo
P1	P1.03	66.44	08/07/2016	Viernes
P2	P2.07	70.71	30/07/2016	Sábado
P3	P3.06	53.90	11/08/2016	Jueves
P4	P4.04	79.16	21/08/2016	Domingo
P5	P5.03	62.29	02/09/2016	Viernes

**Tabla 4.** Concentración de metales en el PM<sub>2,5</sub>

Metales		Concentración (ug/m <sup>3</sup> )					Mediana (ug/m <sup>3</sup> )
		P1	P2	P3	P4	P5	
<b>Grupo A</b>							
Sodio	Na	2.342	2.042	1.580	1.567	0.955	1.580
Silicio	Si	0.922	0.578	0.489	0.396	0.677	0.578
Calcio	Ca	0.748	0.886	0.502	0.017	0.004	0.502
Potasio	K	0.319	0.483	0.407	0.250	0.218	0.319
Fósforo	P	0.303	0.196	0.299	0.225	0.091	0.225
Hierro	Fe	0.088	0.144	0.191	0.083	0.513	0.144
Magnesio	Mg	0.091	0.158	0.101	0.096	0.219	0.101
Aluminio	Al	0.096	0.155	0.074	N.D.	0.294	0.096
Zinc	Zn	0.070	0.019	0.175	0.024	0.071	0.070
Plomo	Pb	0.015	0.014	0.012	0.014	N.D.	0.014
Manganeso	Mn	0.009	0.007	0.016	N.D.	0.016	0.009
Cobre	Cu	0.014	0.010	0.011	0.006	0.015	0.011
Titanio	Ti	0.002	0.005	0.005	0.004	0.017	0.005
Cromo	Cr	0.005	0.005	0.006	0.003	N.D.	0.005
Bario	Ba	0.008	0.002	0.004	0.004	0.009	0.004
Níquel	Ni	0.004	0.003	0.006	0.010	N.D.	0.004
Vanadio	V	0.002	0.002	0.004	0.014	0.002	0.002
Molibdeno	Mo	0.002	N.D.	0.003	0.002	0.004	0.002
Estroncio	Sr	0.003	0.003	0.002	N.D.	0.001	0.002
<b>Grupo B</b>							
Arsénico	As	0.036	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	---
Estaño	Sn	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	---
Cerio	Ce	0.017	N.D.	0.003	0.001	N.D.	---
Litio	Li	N.D.	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	---

N.D.: No detectado

La Figura 3, muestra el contenido total metálico del PM<sub>2,5</sub> por punto de monitoreo para el grupo A. Se observa que el punto P1 presentó la mayor concentración total de metales (5.04 ug/m<sup>3</sup>) pese a que no fue el que presentó la mayor concentración de PM<sub>2,5</sub>, seguido del punto P2 (4.71 ug/m<sup>3</sup>), del P3 (3.89 ug/m<sup>3</sup>), del P5 (3.11 ug/m<sup>3</sup>) y finalmente del P4 (2.72 ug/m<sup>3</sup>). El valor promedio del contenido metálico del PM<sub>2,5</sub> corresponde a 3.89 ug/m<sup>3</sup>, el cual representa el 7.7% del contenido promedio de PM<sub>2,5</sub>. El 92,3% restante

podría estar compuesto de carbono orgánico y elemental, sulfatos, nitratos y amoníaco (Liu *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2008; Contini *et al.*, 2014). Estos compuestos no fueron evaluados en el presente estudio por aspectos presupuestales.

En la Figura 5 se muestra la concentración de Sodio por punto de monitoreo. Se observa que en el punto 1 se tienen los mayores valores y en el punto 5 los menores valores. Este resultado muestra la existencia de este metal en toda el área de estudio.

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestran los niveles de zinc, níquel y plomo para los cinco puntos de monitoreo y tomando en cuenta su toxicidad se comparan con las normativas de referencia internacional mostradas en la Tabla 2. Se observa para el caso del níquel (Ni) se supera el valor típico rural (VTR) en al menos dos puntos de monitoreo; solamente el Zn superó el valor típico urbano (VTU) en uno de sus puntos de monitoreo; y solamente el Ni igualó al valor de riesgo mínimo de cáncer (RC) en uno de sus puntos de monitoreo. Por lo tanto, las concentraciones de los metales Zn y Ni en el PM<sub>2.5</sub> del aire ambiental del campus de la UNALM presentan valores moderados según la normativa internacional.

En el caso del Plomo (Pb), se observa en la Figura 8 que los valores registrados están por debajo de los límites internacionales permisibles y las concentraciones son muy bajas, por lo cual no existen riesgos con relación a este metal.

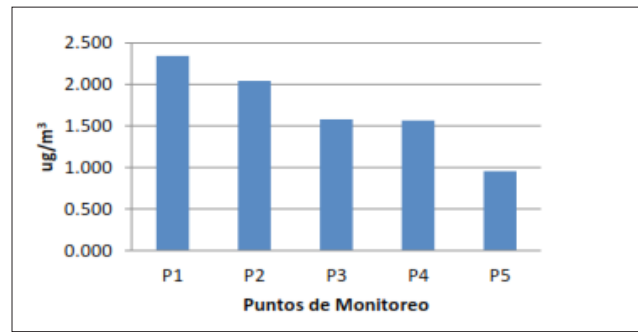


Figura 5. Concentración de Sodio (Na) por punto de monitoreo

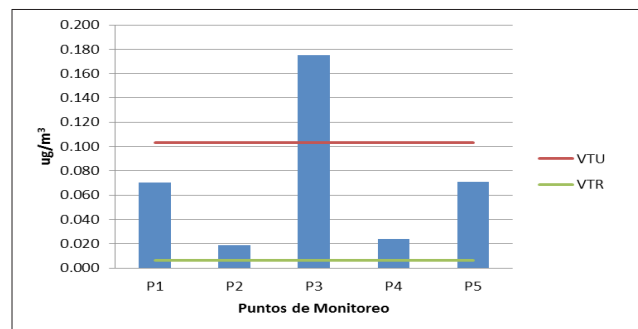


Figura 6. Concentración de zinc (Zn) por punto de monitoreo

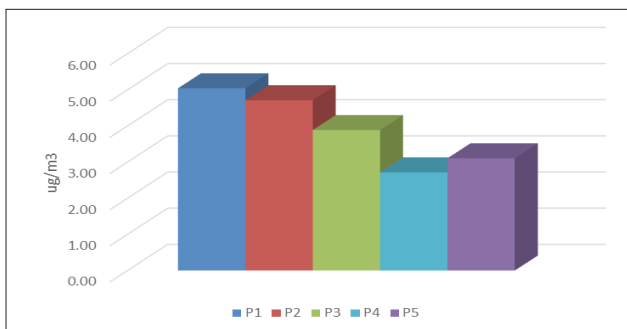


Figura 3. Contenido total metálico del PM<sub>2.5</sub> por punto de monitoreo

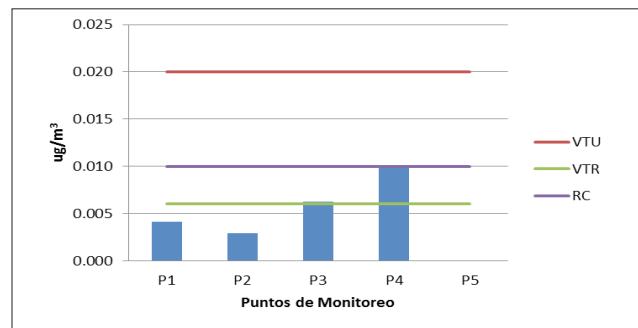


Figura 7. Concentración de níquel (Ni) por punto de monitoreo

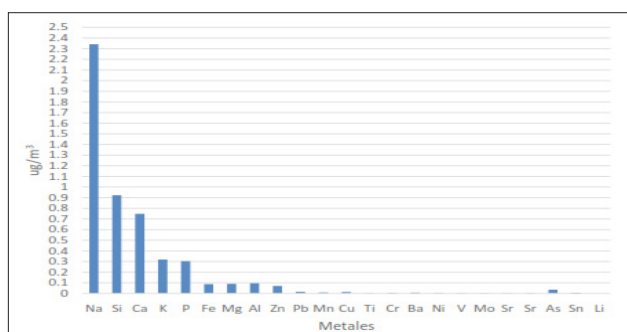


Figura 4. Concentración total de metales en el PM<sub>2.5</sub> en el punto 1

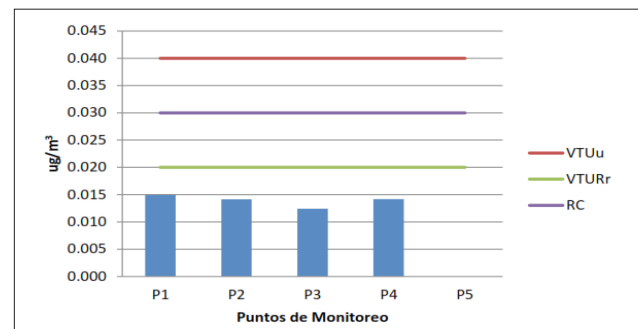
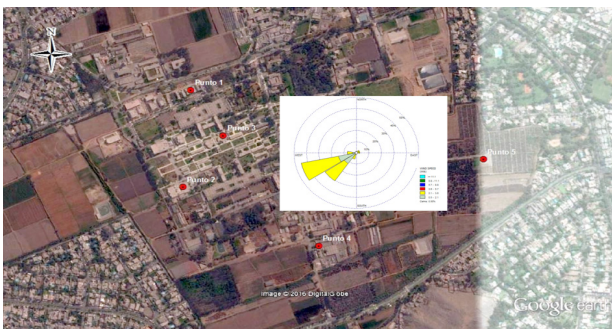


Figura 8. Concentración de plomo (Pb) por punto de monitoreo

En la Figura 9, se muestra en la rosa de vientos de la estación meteorológica de la UNALM, donde se observa la dirección y velocidad del viento promedio para el periodo de estudio. La dirección predominante tiene componente suroeste (SW), lo cual nos indica las probables fuentes de emisión de los contaminantes metálicos determinados.



**Figura 9.** Rosa de vientos correspondiente al periodo de monitoreo

La Figura 10 muestra la identificación de las zonas aledañas al área de estudio que pueden tener relación con las probables fuentes de los metales registrados en las muestras del PM<sub>2.5</sub>. Las zonas de color rojo representa las zonas urbanas y de tránsito vehicular que se asocian a emisiones relacionados a procesos de combustión incompleta, el color amarillo representa las zonas agrícolas o de superficie expuesta que favorecen el levantamiento de polvo por perturbación mecánica, y el color celeste representa el campus universitario (edificios, salones y laboratorios) donde se encuentra la población expuesta a la contaminación del aire.

En la Figura 10, se observa la probable influencia de las áreas con terreno descubierto o campos de cultivo (color amarillo), que podrían incorporar, según Liu *et al.* (2015), algunos elementos característicos del tipo de suelo en el PM<sub>2.5</sub> de la zona como lo son el sodio, el silicio, el calcio, el potasio, el hierro, el magnesio y el aluminio.

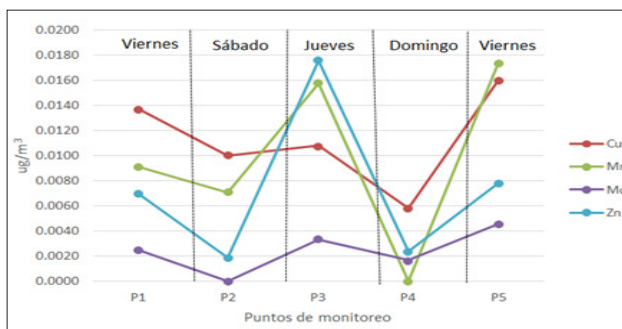
En la Tabla 5 se muestra los resultados más significativos de la correlación de Spearman entre los metales encontrados en el presente estudio. Se observa que la correlación entre los metales Cu, Mn, Mo y Zn es significativa, lo que sugiere que exista la posibilidad de que tales metales provengan de un origen en común. Según Jiang *et al.* (2015), Machado *et al.* (2008) y Contini *et al.* (2014), mencionan en sus investigaciones que el Cu, Mn, Mo y Zn tienen relación a las emisiones vehiculares del entorno de las áreas de estudio.



**Figura 10.** Zonas identificadas en el entorno del campus de la UNALM

**Tabla 5.** Resultados de pruebas de correlación con metales

Relación	Coef. Spearman	Valor p	Valor alfa asignado	Interpretación
Cu - Mn	0.9	0.037	0.05	Relación positiva fuerte al 95% de confiabilidad
Cu - Mo	0.8	0.104	0.15	Relación positiva fuerte al 85% de confiabilidad
Cu - Zn	0.6	0.285	0.30	Relación positiva fuerte al 70% de confiabilidad
Mn - Mo	0.9	0.037	0.05	Relación positiva fuerte al 95% de confiabilidad
Mn - Zn	0.8	0.104	0.15	Relación positiva fuerte al 85% de confiabilidad
Mo - Zn	0.9	0.037	0.05	Relación positiva fuerte al 95% de confiabilidad



**Figura 11.** Concentración de metales relacionada a días de monitoreo

En la Figura 11, se muestra la concentración de los metales Cu, Mn, Mo y Zn, en relación a los días de la semana. Se observa que los días en donde se presentan los picos altos de concentración de metales corresponden a días de semana (jueves y viernes); mientras que los días en donde se presentan los picos bajos de concentración corresponden a días de fin de semana (sábado, domingo). Ello sugiere que las concentraciones de tales metales estarían relacionadas con las diferentes actividades antropogénicas del entorno del área de estudio (Liu *et al.*, 2015).

#### 4. Conclusiones

Las concentraciones promedio diario de  $PM_{2.5}$  en el campus de la UNALM, superan el ECA aire del Perú y las guías de calidad de aire de la OMS. El valor promedio del contenido metálico en el  $PM_{2.5}$  del aire ambiental del campus de la UNALM corresponde a  $3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y representa el 7.7% del contenido promedio de  $PM_{2.5}$ . Las concentraciones de Zn superan el valor típico urbano (VTU) en uno de los puntos de monitoreo; el Fe, Zn, Mn, Cu, Cr, Ni y V superaron su valor típico rural (VTR) en al menos un punto de monitoreo. El metal predominante en el  $PM_{2.5}$  es el sodio (Na), asociado al levantamiento de polvo de los campos de cultivo. El Cu, Mn, Mo y Zn pueden provenir de un origen en común, que puede relacionarse a las emisiones vehiculares del entorno del área de estudio.

#### 5. Literatura citada

- Almeida, S.; Lage, J.; Fernández, B.; García, S.; Reis, M.; Chaves, P. 2015. Chemical characterization of atmospheric particles and source apportionment in the vicinity of a steelmaking industry. *Science of the Total Environment* 521-522: 411-420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.112>
- Chen, P.; Bi, X.; Zhang, J.; Wu, J.; Feng, Y. 2014. Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient  $PM_{2.5}$  in Tianjin, China. *Particuology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2014.04.020>
- Contini, D.; Cesari, D.; Donato, A.; Chirizzi, D.; Belosi, F. 2014. Characterization of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  and their metals content in different typologies of sites in South-Eastern Italy. *Atmosphere* 5: 435-453. doi:10.3390/atmos5020435
- DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental. 2005. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos. Lima, PE. 71 p. Disponible en: [http://www.digesa.sld.pe/norma\\_consulta/protocolo\\_calidad\\_de\\_aire.pdf](http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf)
- Dominici, F.; Peng, R.; Ebisu, K.; Zeger, S.; Samet, J.; Bell, M. 2007. Does the effect of  $PM_{10}$  on mortality depend on PM nickel and vanadium content? *Environ Health Perspect* 115: 1701-1703. doi:10.1289/ehp.10737.
- Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM. Diario oficial el Peruano, Lima, Perú, 7 de junio 2017.
- Geiger, A. y Cooper, J. 2010. Appendix C: Overview of airborne metals regulations, exposure limits, health effects and contemporary research. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnemc01/prelim/otm31appC.pdf>
- Grupo de Ingeniería Química. 2006. Determinación de partículas en suspensión y metales pesados en muestras de aire. Universidad del País Vasco. San Sebastián, España, 27 p.
- Jiang, S.; Kaul, D.; Yang, F.; Sun, L.; Ning, Z. 2015. Source apportionment and water solubility of metals in size segregated particles in urban environments. *Science of the Total Environment* 53: 347-355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.146>
- Liu, B.; Song, N.; Dai, Q.; Mei, R.; Sui, B.; Bi, X.; Feng, Y. 2015. Chemical composition and source apportionment of ambient  $PM_{2.5}$  during the non-heating period in Tain, China. *Atmospheric Research* 170: 23-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.11.002>
- Machado, A.; García, N.; García, C.; Acosta, L.; Córdova, A.; Linares, M.; Giraldoth, D.; Velásquez, H. 2008. Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista Internacional de Contaminación*, 24 (4). Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992008000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000400003)
- MINAM - Ministerio del Ambiente de Perú. 2011. Plan nacional de acción ambiental (PLANAA – Perú 2011-2021). Lima, PE. 80 p. Disponible en: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/plana\\_2011\\_al\\_2021.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/plana_2011_al_2021.pdf)
- Pacsi, S. 2016. Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en Lima Metropolitana. *Anales Científicos*, 77(2): 273-283.
- Pateraki, S.; Asimakopoulos, D.; Bougiatioti, A.; Maggos, TH.; Vasilakos, CH.; Mihalopoulos, N. 2014. Assessment of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  chemical profile in a multiple-impacted Mediterranean urban area: Origin, sources and meteorological dependence. *Science of the Total Environment* 479-480: 210-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.008>
- SENAMHI. 2015. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2015. Lima, PE. 90 p. Disponible en: [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/pdf\\_dgia\\_eval2015.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/pdf_dgia_eval2015.pdf)
- Zhai, Y.; Liu, X.; Chen, H.; Xu, B.; Zhu, L.; Li, C.; Zeng, G. 2014. Source identification and potential ecological risk assessment of heavy metals in  $PM_{2.5}$  from Changsha. *Science of the Total Environment* 493: 109-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.106>