

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A PM10 EN EL GRAN MENDOZA

RUGGERI, MARIA F.^{1,2*}; ALLENDE, DAVID G.²; BOLAÑO-ORTIZ, TOMÁS R.^{1,2};
PASCUAL FLORES, ROMINA M.^{1,2} Y PULIAFITO, SALVADOR E.^{1,2}

1: Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA)
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza.
Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza (M5502AJE)
E-mail: m.florencia.ruggeri@gmail.com

2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

Resumen. *La estimación de la exposición de la población a los niveles atmosféricos de material particulado (PM) es muy importante para la evaluación de los efectos adversos para la salud. En este trabajo, se determinaron concentraciones atmosféricas de material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μm (PM10) en ambientes al aire libre en el área del Gran Mendoza (GM), mediante la utilización de un medidor activo de bajo caudal y un espectrómetro laser de aerosoles. Para el estudio de la exposición humana a este contaminante, la metodología se basó en la combinación de campos de concentraciones de PM10 obtenidos por interpolación de los valores medidos y datos georreferenciados de población. Posteriormente, a partir del entrecruzamiento de estos niveles de información, y teniendo en cuenta que las normativas internacionales fijan un valor guía de concentración de PM10 de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se calcularon distintos indicadores que reflejan el nivel de exposición de la población. En primer lugar, se calculó la cantidad de habitantes expuestos a concentraciones mayores a las recomendadas por la normativa. Además, se estimaron otras medidas de exposición, específicamente el "excedente" (E_i), calculado como la concentración por encima del valor umbral, y la "carga de población" (L_i), calculada como el producto entre el excedente y la cantidad de habitantes en cada punto del dominio. Estos indicadores dan información sobre la superación media del valor umbral y sobre las regiones pobladas con concentraciones por encima de estos valores, respectivamente. Los resultados muestran que un 87% de la población del área de estudio está expuesta a niveles superiores a los recomendados, que son sobrepasados en promedio en 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.*

Palabras clave: Material particulado, PM10, exposición humana, Gran Mendoza.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica producida por material particulado (MP) en las zonas urbanas puede deberse a emisiones directas de las fuentes (partículas primarias) como por ejemplo combustión (transporte, generación de energía, calefacción doméstica, entre otras); resuspensión de partículas asentadas; procesos erosivos, o a partículas formadas en la atmósfera (partículas secundarias) mediante la transformación de precursores gaseosos de partículas (NO_x , SO_x , NH_3 , COV) emitidos por una variedad de fuentes. Las emisiones

atmosféricas pueden ser locales, situadas en las cercanías de la zona urbana, o bien las partículas pueden haber sido transportadas en la atmósfera desde áreas periféricas o incluso por grandes distancias [1].

El MP ambiente ejerce un impacto significativo sobre los ciclos biogeoquímicos climáticos, la química atmosférica y también afecta negativamente a la salud pública. Las partículas inhaladas pueden causar efectos adversos en la salud, como disminuciones de la función pulmonar, síntomas respiratorios, ataques cardíacos, arritmias, disfunción neurológica, disfunción del sistema reproductivo y cáncer [2].

No hay un valor umbral para la exposición de MP debajo del cual no se esperan efectos adversos para la salud. Con el fin de proteger a la salud humana, los gobiernos y organismos establecen normas de calidad del aire (NCA) y valores objetivo para las concentraciones medias anuales y diarias. Por ejemplo, la Unión Europea (UE) ha fijado valores límite medios anuales de PM10 de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; y diarios de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que no debería superarse más de 35 veces en un año [1]. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado valores de referencia para la calidad del aire más estrictos, en vistas de proteger la salud humana. Los valores fijados para PM10 son de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para concentración media anual y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante un período de 24 horas, que no debería superarse más de 3 veces al año [3]. En lo que se refiere a legislación nacional y provincial, la Ley Nacional 20.284 (1973) de Contaminación atmosférica y la Ley Provincial 5100 (1989) establecen un promedio mensual de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas en suspensión. Este valor hace referencia a material suspendido total (TSP), sin distinción de tamaño. Estudios posteriores a la promulgación de dichas leyes han demostrado que los tamaños más pequeños de material particulado son lo que ejercen un real efecto sobre la salud y por esto las normativas internacionales han fijado estándares de PM10 y últimamente de PM2.5. En este sentido, se entiende que la legislación vigente está desactualizada y se tomarán en cuenta los valores propuestos por la OMS en función de la preservación de la salud.

Considerando estas recomendaciones de distintos organismo, es que alrededor del mundo se han realizado numerosos trabajos de exposición, entendiéndose a ésta como el contacto entre una persona y un contaminante a cierta concentración, por un periodo de tiempo determinado [4]. Aleksandropoulou [1] evaluó la exposición de la población al MP en dos ciudades de Grecia (Atenas y Tesalónica) combinando datos medidos con el uso de modelos de dispersión y Sistemas de Información Geográficos (SIG), y determinó que más del 69% de los habitantes de la región están expuestos a niveles de PM10 mayores a los recomendados por las normas de la UE. Según un reporte de la Agencia Ambiental Europea [5], aproximadamente el 16% de la población en Europa está expuesta a concentraciones de PM10 que sobrepasan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que más del 50% está expuesta a niveles que exceden la estricta normativa de la OMS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de promedio anual. En América Latina, los casos de estudio son escasos. Como ejemplo, Franck y otros [6] relevaron que más del 95% de la población urbana de Santiago de Chile está expuesta a una concentración promedio de $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, muy por encima de los valores objetivo.

En cuanto al panorama en Argentina, actualmente no hay estudios de exposición poblacional a MP, si bien se cuenta con datos de mediciones que sugieren que los niveles superarían las

concentraciones recomendadas [7]–[9].

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo presentar un estudio preliminar de exposición a material particulado PM10 en el área del Gran Mendoza, un asentamiento urbano de tamaño medio, a través de la combinación de datos poblaciones, mediciones de PM10 y software de Sistemas de Información Geográficos (SIG).

2. ÁREA DE ESTUDIO

El centro urbano del Gran Mendoza está ubicado en la Provincia de Mendoza, al oeste de la República Argentina, al pie de la Cordillera de Los Andes. El área metropolitana se extiende de forma casi regular hacia el Nordeste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste.

La ciudad se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas (120-400 mm anuales), principalmente en meses de verano. La cercanía de la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad de viento media anual es alrededor de 2.6 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E. El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días /año) [7].

La calidad de aire en esta zona urbana se encuentra influenciada por varias fuentes de contaminantes, destacándose la influencia de dos centros industriales, el intenso tráfico vehicular, emisiones fugitivas y fuentes residenciales, sumando un importante aporte de resuspensión debido a la cercanía a zonas áridas y a los bajos niveles de humedad ambiente.

El área en que se centra este estudio abarca 1266 km² (30.5 km x 41.5 km) sobre la zona más poblada del Gran Mendoza, con aproximadamente 880.000 habitantes (Figura 1).

3. METODOLOGÍA

La metodología para la evaluación de la exposición de la población se basa en la combinación de mapas de población con mapas de concentraciones de PM10. Por lo tanto, la incertidumbre de los resultados se basa principalmente en la exactitud de los campos de concentración de PM10 espaciotemporales, que se derivaron de datos medidos que se interpolaron. Aunque el enfoque de interpolación de datos probablemente no puede captar la variación espacial dentro del área urbana, se basa en procedimientos comunes y es apropiado para calcular estimaciones de la exposición de la población [1].

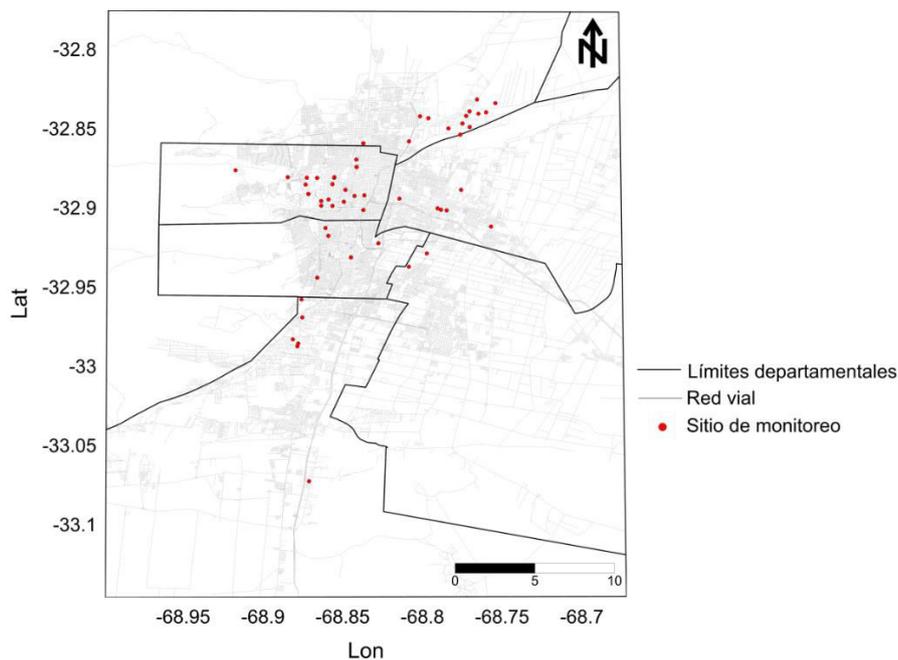


Figura 1. Área de estudio centrada en el Gran Mendoza

3.1. Medición de PM10

Para este estudio, el monitoreo de PM10 se realizó en 60 puntos del área de estudio (Figura 1, Tabla 1), utilizando dos equipos distintos: un espectrómetro laser y un medidor activo gravimétrico de bajo caudal. Las mediciones se llevaron a cabo más de una vez en cada sitio, tratando de abarcar distintas estaciones del año, condiciones meteorológicas y situaciones en general, buscando que la información recabada sea lo más representativa posible de cada zona.

El primer equipo (Figura 2 a) utilizado fue un espectrómetro laser de aerosoles GRIMM 107, que proporciona curvas granulométricas entre $0.25 \mu\text{m}$ y $32 \mu\text{m}$ [10]. En este instrumento, el aire es aspirado por una bomba de muy bajo caudal y es llevado directamente dentro de la celda de medición, donde las partículas son detectadas por dispersión de luz. El pulso de dispersión de luz se cuantifica y la intensidad de esta señal se clasifica en un determinado tamaño de partícula. Los datos obtenidos con el espectrómetro (resolución temporal de un dato por minuto) se guardaron continuamente en una tarjeta de datos extraíble, para ser descargados al final de la medición y realizar su procesamiento y análisis.

Por otro lado, se utilizó un medidor activo de bajo caudal (16.7 L/min) (Figura 2 b). El mismo se vale de un filtro de poliestersulfona (PES), al cual se le estabiliza el contenido de humedad con sílice granulada y posteriormente se pesa. Una vez realizada la gravimetría, el filtro es colocado dentro del equipo, y mediante una bomba, el aire es obligado a pasar a través del mismo. Luego de aproximadamente 48 horas, el filtro es retirado, se estabiliza nuevamente la humedad y se vuelve a pesar. Calculando la

diferencia de peso y dividiendo por el caudal de aire aspirado en el período se determina la concentración de PM10.

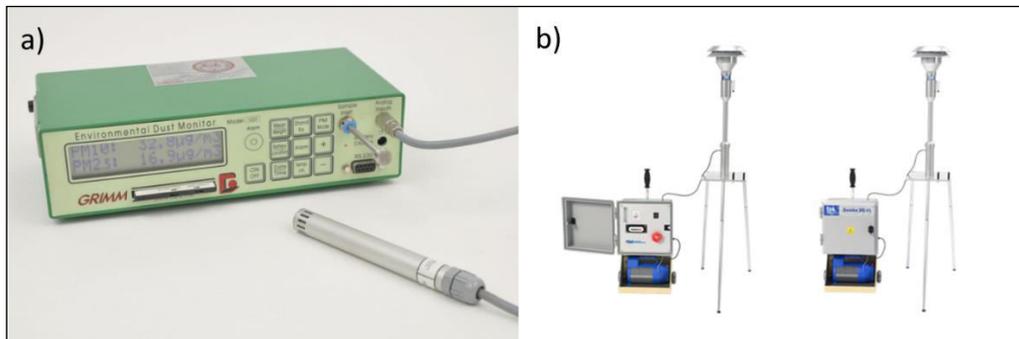


Figura 2. Equipos utilizados para la medición de concentraciones atmosféricas de PM10. a) Espectrómetro laser GRIMM 107. b) Medidor activo de bajo caudal.

3.2. Interpolación

Los datos obtenidos en la medición se interpolaron para obtener un campo continuo de concentración de PM10 y poder realizar el análisis de exposición. Para ello se utilizó un software GIS y se aplicó la técnica de interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW por sus siglas en inglés Inverse Distance Weighting). La misma determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra [11].

3.3. Información demográfica

La información poblacional se obtuvo de los mapas de radios y fracciones censales publicados recientemente y elaborados a partir del Censo Nacional realizado en el año 2010 [12]. Un radio censal es la unidad geográfica mínima usada por los censistas compuesta por un promedio de 300 hogares, pero con una población y extensión variable. Las fracciones pueden incluir varios radios censales, representando localidades (rurales o urbanas) con poblaciones menores a 3000 personas, y con un número de viviendas que oscila entre 300 y 1000 hogares.

3.4. Implementación de un SIG para el análisis de exposición. Niveles de información.

Una vez que se crearon los mapas de concentración de PM10 y densidad de población (Figura 4 a y b), fue necesario extraer la información, para ambos, en los mismos sitios para poder compararlos entre sí y realizar futuros cálculos. Para esto se implementó una grilla de 250 m de resolución, a partir de la cual se generó un grupo de puntos igualmente espaciados

(centroide de cada grilla), que fueron los lugares geográficos en los cuales se extrajeron las variables de interés de los mapas.

3.5. Cálculo de indicadores de exposición.

Una vez que se trabajó la información según lo expuesto en el punto anterior, se calcularon algunos indicadores para el área de interés. La población expuesta a concentraciones superiores al valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ propuesto por la OMS se calculó combinando directamente el mapa de concentración de PM10 (Figura 4 a) con el mapa de la distribución geográfica de la población (Figura 4 b). Además, se calcularon otras medidas de exposición, específicamente el "Excedente", E_i , y la "Carga de población", L_i , utilizando las siguientes ecuaciones [13]:

$$E_i = \text{Max}[(C_i - C_R)] \quad (1)$$

$$L_i = E_i \times P_i \quad (2)$$

Donde C_i es la concentración de PM10 calculada por interpolación en cada celda de la grilla, C_R es el valor de concentración de PM10 referencia (en este caso $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y P_i es la población que vive en cada celda de la grilla.

El "Excedente" (Figura 4 d) es un valor de concentración que puede interpretarse como la superación del valor umbral y apunta a áreas con una calidad del aire potencialmente baja. No hace ninguna distinción entre episodios largos de pequeñas superaciones y períodos cortos con grandes excedencias. Por otra parte, la "Carga de población" (Figura 4 c) da información sobre las regiones pobladas con concentraciones por encima de los valores umbral. Del mismo modo, no existe distinción entre zonas con poca densidad de población y altos valores de PM10 y zonas densamente pobladas con bajas concentraciones [13].

4. RESULTADOS

4.1. Medición de PM10

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos de PM10 para cada uno de los 60 sitios de muestreo. Los datos mostrados son promedios de varias mediciones realizadas según se mencionó anteriormente y se consideran valores medios diarios. Puede observarse que en la mayoría de los puntos los niveles de PM10 superan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y sólo un 12% de los valores está por debajo de esta referencia.

| ID | Lon | Lat | PM10 (ug/m3) | ID | Lon | Lat | PM10 (ug/m3) | ID | Lon | Lat | PM10 (ug/m3) |
|----|----------|----------|--------------|----|----------|----------|--------------|----|----------|----------|--------------|
| 1 | -68.7972 | -32.8467 | 27.14 | 21 | -68.7713 | -32.8424 | 65.93 | 41 | -68.8092 | -32.8614 | 74.18 |
| 2 | -68.7913 | -32.9037 | 67.80 | 22 | -68.7610 | -32.8430 | 80.05 | 42 | -68.8023 | -32.8455 | 70.91 |
| 3 | -68.7579 | -32.9152 | 34.10 | 23 | -68.7658 | -32.8439 | 98.75 | 43 | -68.8723 | -32.8946 | 104.47 |
| 4 | -68.8725 | -32.8946 | 30.80 | 24 | -68.7712 | -32.8523 | 59.60 | 44 | -68.8644 | -32.8990 | 91.26 |
| 5 | -68.8373 | -32.8955 | 38.20 | 25 | -68.7772 | -32.8572 | 181.08 | 45 | -68.8643 | -32.9019 | 83.03 |
| 6 | -68.8456 | -32.9346 | 44.30 | 26 | -68.8723 | -32.8946 | 120.83 | 46 | -68.8573 | -32.9021 | 93.28 |
| 7 | -68.8792 | -32.9907 | 55.10 | 27 | -68.8644 | -32.8990 | 183.26 | 47 | -68.8501 | -32.8995 | 72.33 |
| 8 | -68.8720 | -33.0759 | 28.90 | 28 | -68.8598 | -32.8981 | 74.95 | 48 | -68.8380 | -32.9046 | 56.94 |
| 9 | -68.9180 | -32.8796 | 60.07 | 29 | -68.8434 | -32.8958 | 79.80 | 49 | -68.8285 | -32.9256 | 60.74 |
| 10 | -68.8853 | -32.8839 | 65.16 | 30 | -68.8153 | -32.8975 | 56.20 | 50 | -68.7982 | -32.9321 | 54.05 |
| 11 | -68.8734 | -32.8843 | 60.49 | 31 | -68.7893 | -32.9046 | 64.23 | 51 | -68.8094 | -32.9405 | 103.91 |
| 12 | -68.8669 | -32.8844 | 80.93 | 32 | -68.7857 | -32.9050 | 83.33 | 52 | -68.8723 | -32.8946 | 69.73 |
| 13 | -68.8562 | -32.8843 | 76.02 | 33 | -68.7766 | -32.8919 | 52.15 | 53 | -68.8644 | -32.8990 | 39.99 |
| 14 | -68.8573 | -32.8883 | 65.24 | 34 | -68.8723 | -32.8946 | 50.27 | 54 | -68.8616 | -32.9161 | 64.59 |
| 15 | -68.8491 | -32.8919 | 61.96 | 35 | -68.8741 | -32.8887 | 93.32 | 55 | -68.8598 | -32.9210 | 109.22 |
| 16 | -68.7845 | -32.8531 | 57.86 | 36 | -68.8669 | -32.8844 | 77.01 | 56 | -68.8668 | -32.9474 | 87.55 |
| 17 | -68.7757 | -32.8501 | 64.39 | 37 | -68.8561 | -32.8839 | 75.60 | 57 | -68.8767 | -32.9612 | 77.41 |
| 18 | -68.7734 | -32.8453 | 101.93 | 38 | -68.8423 | -32.8728 | 88.14 | 58 | -68.8762 | -32.9725 | 81.53 |
| 19 | -68.7666 | -32.8349 | 201.92 | 39 | -68.8421 | -32.8775 | 71.49 | 59 | -68.8821 | -32.9863 | 60.70 |
| 20 | -68.7552 | -32.8373 | 127.27 | 40 | -68.8380 | -32.8625 | 80.83 | 60 | -68.8787 | -32.9889 | 99.24 |

Tabla 1. Concentraciones de PM10 medidas en el área de estudio.

4.2. Exposición de la población a PM10 en el Gran Mendoza

Siguiendo la metodología detallada, se evaluó la exposición de la población dentro del área relevada al PM10. Se estimó que, de las 883.000 personas que habitan en la zona, 775.000 están expuestas a concentraciones de este tamaño de material particulado mayor al recomendado, lo que significa un porcentaje del 87%, siendo el valor promedio de PM10 66.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

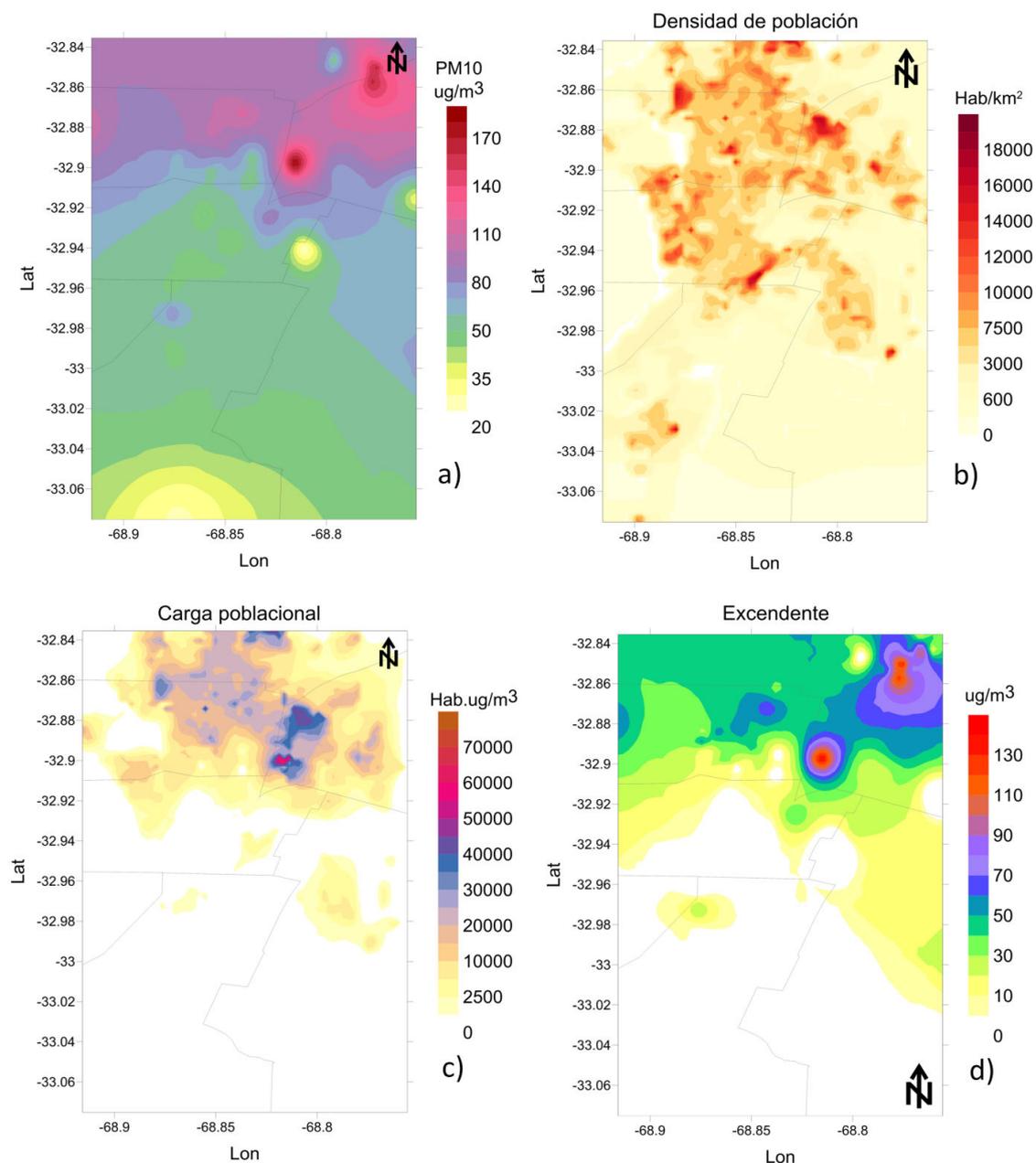


Figura 4. Análisis de exposición a PM10 de la población del Gran Mendoza. a) Mapa de concentraciones de PM10 en la zona, obtenido por interpolación de valores medidos. b) Densidad de población, según datos de INDEC (2010). c) Mapa de Carga poblacional, calculado según la ecuación (2). d) Mapa de Excedente, calculado según la ecuación (1).

Por otro lado, se calcularon el “Excedente” y la “carga de población”, según las ecuaciones (1) y (2). Los resultados para toda el área se presentan en la Figura 4. Para el excedente, se determinó que en la zona del Gran Mendoza el valor de referencia se supera, en promedio en $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo representa una evaluación preliminar de la exposición de la población del Gran Mendoza al material particulado de 10 μm o menos (PM10). Las mediciones realizadas muestran altos niveles de este contaminante, que superan en la gran mayoría de los casos a los valores recomendados por la OMS en vistas de la preservación de la salud, estimándose que afecta al 87% de los habitantes. Por otro lado, los mapas elaborados (Figura 4) reflejan una coincidencia entre las zonas más densamente pobladas y las zonas más contaminadas, lo que resulta en áreas de alta carga poblacional, es decir de mayor vulnerabilidad frente a esta problemática.

Se espera en un futuro reducir la incertidumbre de las estimaciones mediante la implementación de un modelo de dispersión atmosférico en combinación con las mediciones realizadas, para obtener campos de concentraciones más realistas.

REFERENCIAS

- [1] V. Aleksandropoulou and M. Lazaridis, “Trends in population exposure to particulate matter in urban areas of Greece during the last decade,” *Sci. Total Environ.*, vol. 581–582, pp. 399–412, 2017.
- [2] C. A. Pope, “Review: Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards,” *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 32, no. 1, pp. 4–14, Jan. 2000.
- [3] World Health Organization, “Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment,” 2006.
- [4] W. R. Ott, “Concepts of human exposure to air pollution,” *Environ. Int.*, vol. 7, pp. 179–196, 1982.
- [5] European Environment Agency, “Air quality in Europe — 2016 report,” 2016.
- [6] U. Franck, A. M. Leitte, and P. Suppan, “Multiple exposures to airborne pollutants and hospital admissions due to diseases of the circulatory system in Santiago de Chile,” *Sci. Total Environ.*, vol. 468–469, pp. 746–756, 2014.
- [7] D. Allende, R. Pascual Flores, M. F. Ruggeri, G. Roca, and S. E. Puliafito, “Medición y caracterización de las fuentes de PM10, PM2.5 y PM1 en las áreas urbanas y suburbanas del Gran Mendoza y Gran San Juan,” in *Contaminación Atmosférica E Hídrica En Argentina-Tomo III: Contribuciones de La V Reunión Anual PROIMCA Y III Reunión Anual PRODECA*, 1° ed., D. G. Allende, S. E. Puliafito, and

- C. Panigatti, Eds. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, 2015, pp. 157–172.
- [8] B. S. Sosa, A. Porta, J. E. Colman Lerner, R. Banda Noriega, and L. Massolo, “Human health risk due to variations in PM 10 -PM 2.5 and associated PAHs levels,” *Atmos. Environ.*, vol. 160, 2017.
- [9] M. L. López, S. Ceppi, G. G. Palancar, L. E. Olcese, G. Tirao, and B. M. Toselli, “Elemental concentration and source identification of PM10 and PM2.5 by SR-XRF in Cordoba City, Argentina,” *Atmos. Environ.*, vol. 45, no. 31, pp. 5450–5457, 2011.
- [10] H. Grimm and D. J. Eatough, “Aerosol Measurement: The Use of Optical Light Scattering for the Determination of Particulate Size Distribution, and Particulate Mass, Including the Semi-Volatile Fraction,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 59, no. 1, pp. 101–107, Jan. 2009.
- [11] Environmental Systems Research Institute, “ArcGIS,” *Cómo funciona IDW*, 2016. [Online]. Available: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>. [Accessed: 25-Apr-2017].
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), “Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Argentina 2010,” 2010.
- [13] E. Walker, L. H. Slørdal, C. Guerreiro, F. Gram, and K. E. Grønskei, “Air pollution exposure monitoring and estimation. Part II: Model evaluation and population exposure,” *J. Environ. Monit.*, vol. 1, no. 4, pp. 321–326, 1999.