

## **Determinación y análisis de las concentraciones de material particulado medido por una red de monitoreo continuo para la Ciudad de Asunción**

Carolina Recalde<sup>1</sup>, Luis Bernal<sup>2</sup>, Fátima Colmán<sup>3</sup>, Ángel Rincón<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, <sup>4</sup> Consultora de Monitoreo  
Ambiental S.A.

<sup>1</sup>Lic. en Ciencias Físicas, San Lorenzo, Paraguay, [nrecalde@ing.una.py](mailto:nrecalde@ing.una.py), <sup>2</sup>Ing. Electrónico, Lambaré,  
Paraguay, [lbernal@ing.una.py](mailto:lbernal@ing.una.py), <sup>3</sup>Estudiante de Ingeniería Geográfica y Ambiental, San Lorenzo,  
Paraguay, [colmanfg@gmail.com](mailto:colmanfg@gmail.com), <sup>4</sup>Dr. Ing. Ambiental, Asunción, Paraguay,  
[angel.rincon.r@gmail.com](mailto:angel.rincon.r@gmail.com)

### **Abstract**

*The most recent measurement study carried out in Paraguay in 2018, established that the population of Asunción is exposed to average concentrations higher than those established by the standard in 24 hours. In this work, the concentrations of fine (PM2.5) and coarse (PM10) particulate matter are determined and analyzed by recording and processing data from the first continuous and automatic monitoring network of eleven stations of particulate matter for Asunción between April 18 2019 and April 18 2020 (one year). The results allow to determine the exceedance of the limit for PM2.5 in 33 days, while for PM10 it is exceeded in 5 days. The Cerrito rural bottom station represents the area with the highest average air quality disturbance in the network. Pollution episodes are observed at nine stations that exceed the standard for PM2.5 and four stations that exceed it for PM10. Cases are identified where all stations exceeded the PM2.5 limit but did not exceed the PM10 limit. The Mcal. López at the Campus UNA traffic station stands out from the others for exceeding the permitted concentration for PM2.5 between January and April 2020. These results could be associated with a meteorological situation with a predominance of a sky totally covered by fog and low temperatures, while in others cases the influence of forest fires in the area is considered significant.*

*Keywords: particulate matter, monitoring network, air quality, air pollution, Openair.*

### **Introducción**

La problemática de la contaminación del aire en la ciudad de Asunción se encuentra asociada a un parque vehicular antiguo y a la baja calidad de algunos combustibles fósiles utilizados en el sector, siendo el diesel el combustible con mayor uso en el 2019 (Viceministerio de Minas y Energía, 2020). La Política Nacional de Eficiencia Energética del Paraguay apunta a desarrollar un plan nacional para el consumo eficiente de energía, el cual contempla mejoras en el combustible utilizado por el parque

automotor y a una mayor rigurosidad en la inspección técnica vehicular (Política Energética, 2016); siendo que las emisiones de partículas y gases contaminantes generadas principalmente por el tráfico vehicular tienen un gran potencial para causar daños a la salud humana y a los ecosistemas. Durante el transcurso del año 2019 se han reportado 6.146 casos de Infecciones Respiratorias Agudas Graves (IRAG) que requirieron hospitalización, donde las personas más afectadas fueron los niños y adultos mayores, en especial los menores de seis meses (Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, 2019).

En este sentido, la medición y el monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (MP) sobre el área geográfica de la ciudad y durante un tiempo representativo, permite la identificación de zonas que presentan una alteración de la calidad del aire urbano. El impacto ambiental determinado podría servir de base para la implementación de políticas de control de emisiones y la subsecuente reducción de costos asociados a los beneficios en la salud y la mejora en la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. En consecuencia, este trabajo presenta los resultados de las mediciones del material particulado grueso (MP10) y fino (MP2.5) medido durante un año a partir de once (11) estaciones de calidad del aire distribuidas por Asunción, Paraguay.

## Objetivos

### Objetivo general

El objetivo general consiste en determinar la concentración del material particulado grueso (MP10) y fino (MP2.5) a través de la medición, registro y tratamiento de los datos procedentes de una red de monitoreo del material particulado para la ciudad de Asunción.

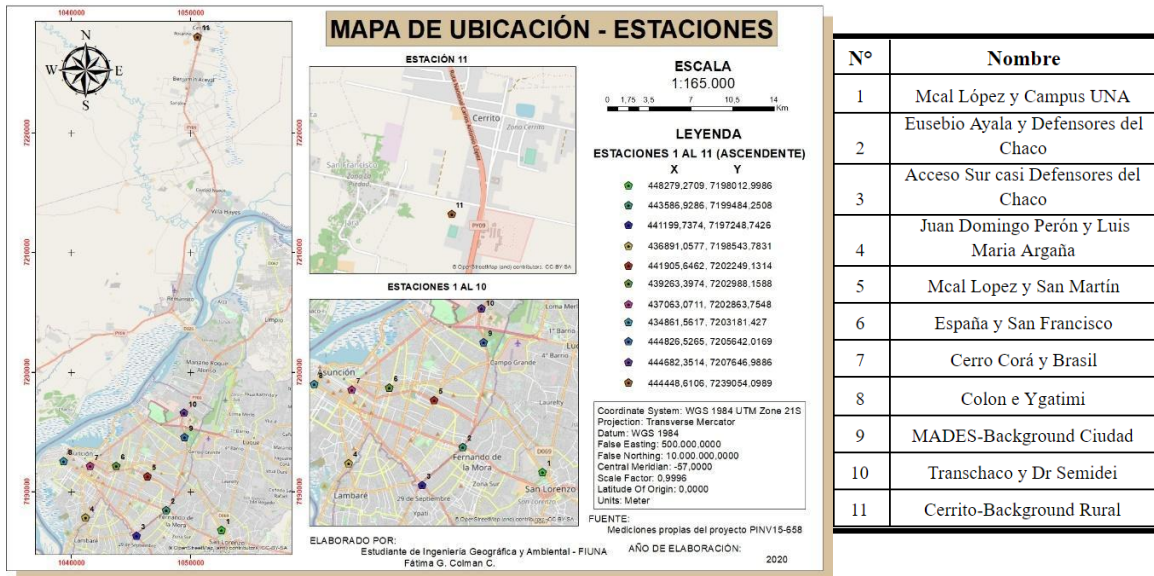
### Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones del material particulado para las estaciones de la red de monitoreo durante un año continuo de medición.
- Estimar las variables meteorológicas como temperatura, humedad y presión atmosférica que puedan ser asociadas al comportamiento de las partículas determinadas.
- Interpolarse espacialmente las concentraciones con la finalidad de identificar las zonas que puedan presentar una alteración de la calidad del aire urbano.

## Metodología

El equipo de investigación del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción ha realizado la implementación de la red de monitoreo del material particulado que consiste en once (11) puntos estratégicos distribuidos dentro y fuera de la ciudad. La **Figura 1** presenta la localización y distribución geográfica de las estaciones, en donde se midieron simultáneamente niveles de material particulado grueso de 10 micrómetros (MP10) y material particulado fino de 2.5 micrómetros (MP2.5) junto con los parámetros meteorológicos de

humedad relativa, temperatura y presión atmosférica. Nueve estaciones de tráfico se encuentran dentro de la ciudad, mientras que dos estaciones de fondo se encuentran alejadas del flujo vehicular y la contaminación asociada. La estación MADES (N° 9) que representa la medición del fondo urbano y la estación de Cerrito (N° 11) que registra el fondo rural.



**Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones de medición pertenecientes a la red de monitoreo de material particulado de la Ciudad de Asunción. Fuente: Proyecto CONACYT PINV15-658.**

El sistema de medición de cada estación contiene un sensor láser de la Marca *Libelium* - Modelo *Smart Environment Pro*, el cual cuenta con un microcontrolador encargado de ejecutar los procesos de programación de la estación. La adquisición de los datos medidos se realiza de forma automática cada 5 minutos para luego ser transmitidos a través de la red celular al servidor de datos cada 30 minutos. El servidor está configurado en UNIX/LINUX Ubuntu (v. 18.04.1 LTS), el cual procesa y almacena los datos en una base de datos MySQL y PHP. Se utiliza el paquete estadístico R-Openair para realizar el tratamiento de los datos, los cuales son procesados para publicar los resultados mediante gráficos y tablas en la página web del proyecto.

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la red de monitoreo de material particulado se analizan tomando como referencia los parámetros permisibles según el promedio anual y diario de partículas establecidos por la Resolución N°259/2015 del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) con base en la Guía de Calidad del Aire de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2005). Durante los doce (12) meses de medición continua se ha superado el límite para MP2.5 en 33 días, mientras que

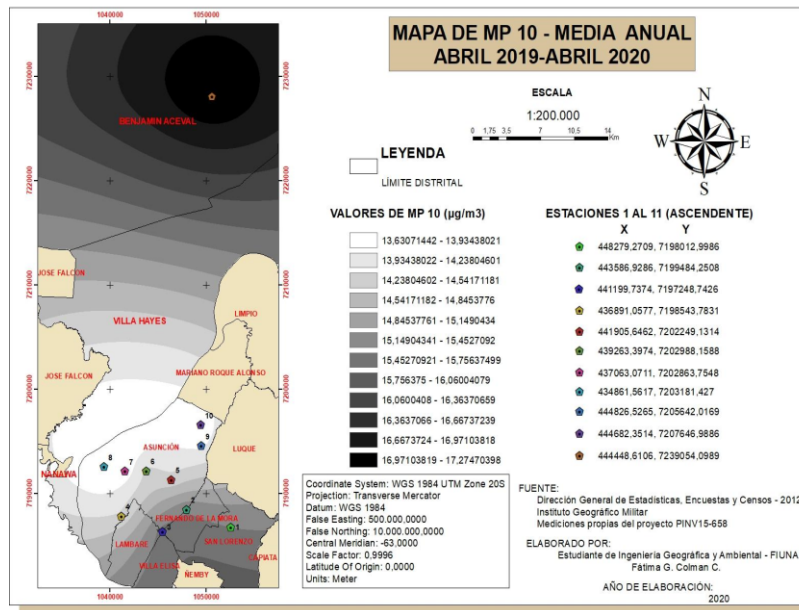
para MP10 la norma fue superada en 5 días. La estación de fondo rural de Cerrito representa la zona con la mayor alteración promedio de la calidad del aire de la red.

En concreto, el episodio de contaminación del 18 de junio de 2019 representa una superación de la norma para nueve de las once estaciones del valor de MP2.5 y para la concentración permisible de MP10, cuatro estaciones han superado la misma. Estos resultados podrían asociarse a la situación meteorológica reportada con predominio de cielo totalmente cubierto por neblina y con un rango de temperaturas bajas con respecto al promedio de entre 16 y 18.5°C. Se destaca el episodio del 8 de noviembre del 2019, en donde todas las estaciones superaron el límite de MP2.5 sin superar el umbral permitido de MP10. Sin embargo, la estación Mcal López y Campus UNA (N° 1) predomina sobre las demás en la superación de la concentración permitida para MP2.5 desde enero a abril del 2020, lo que representa principalmente al tráfico vehicular en el periodo en donde se genera en mayor medida, la quema de biomasa y se producen días con neblina. Las superaciones de dicha estación relacionadas con el elevado tráfico vehicular que entra y sale de la ciudad, se establecen a pesar de que esas mediciones se realizaron en el periodo de vacaciones de verano (enero, febrero) y posteriormente a la cuarentena ocasionada por la pandemia de COVID-19.

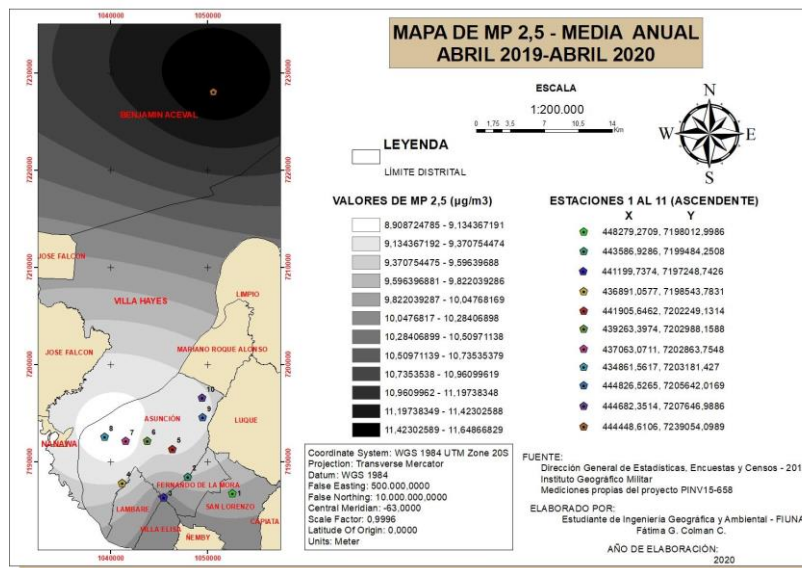
Igualmente, se identifican estaciones en zonas de elevado tráfico vehicular que superan la norma de MP2.5 menos de dos veces en el año (N° 7-Cerro Corá y Brasil, N° 5-Mcal López y San Martín, y N°8-Colón e Ygatimi). Sin embargo, la estación de fondo rural de Cerrito (N° 11) que supera la norma el mayor número de veces, indica que durante el periodo de estudio la principal fuente de contaminación de MP2.5 y MP10 está directamente relacionada con las actividades agrícolas de la región.

La **Figura 2** muestra el resultado de la interpolación espacial realizada al promedio anual de material particulado grueso (Fig. 2a) y fino (Fig. 2b), donde se observan las mayores concentraciones en el norte de la ciudad. Tanto las concentraciones máximas de MP10 (mayores a 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como de MP2.5 (mayores a 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) medidas en la estación de Cerrito, disminuyen gradualmente hacia el sur con valores de MP10 (inferiores a 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de MP2.5 (inferiores a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dicha situación se podría relacionar con el origen de las partículas procedentes de las quemazones de pastizales y actividades agrícolas (Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil, n.d.).

En función de los límites que establece la normativa nacional para el promedio anual de MP2.5 (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en la mayoría de las estaciones ese promedio se encuentra por debajo del límite, con excepción de las estaciones de Acceso Sur casi Defensores del Chaco (N° 3) y Cerrito (N° 11), las cuales llegaron a presentar un promedio que se acerca al valor permisible igual a 13.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con relación al promedio en 24 h de MP10 (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), los valores más altos obtenidos rondan los 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por lo que la norma no es superada en todo el año de estudio.



a)



b)

**Figura 2. Mapas de resultado de la media anual de a) material particulado grueso (MP10) y b) material particulado fino (MP2.5) de la red de monitoreo de material particulado de la Ciudad de Asunción. Fuente: Proyecto CONACYT PINV15-658.**



## Conclusiones

Este proyecto ha implementado por primera vez en Paraguay, un monitoreo continuo, automático y georeferenciado del material particulado fino (MP2.5) y grueso (MP10) en la ciudad de Asunción. Estas mediciones permiten identificar variaciones importantes registradas en los niveles de contaminación en el tiempo y relacionarlas con determinados eventos meteorológicos. Los picos en las concentraciones de partículas se registran generalmente durante días de emisiones atmosféricas generadas por actividades agrícolas como quemazones de pastizales en los alrededores de la ciudad. La comparación de los promedios medidos con los valores permisibles establecidos en la legislación nacional, determina que los niveles de partículas finas se hallan en el límite de la norma. Por lo tanto, el estudio de la variabilidad de las partículas finas requiere una mayor cobertura temporal de la red debido a la posible vinculación como causante de enfermedades respiratorias en la ciudad.

Los resultados demuestran que la calidad del aire en Asunción, si bien es preocupante, aún se pueden tomar acciones a tiempo con el fin de mejorarla. Cada sitio de monitoreo presenta un impacto significativo, algunos desde el sector urbano proveniente del tráfico vehicular y otras desde el sector rural, cuya contaminación es generada por la quema abierta de biomasa, basura y/o pastizales.

## Referencias

1. Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil. (n.d.). INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Logotipo do INPE MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Banco de Dados de queimadas. Disponible en <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>
2. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (2019, septiembre miércoles 16). Enfermedades Respiratorias. Retrieved enero martes, 2021, from <https://www.mspbs.gov.py/portal-19468/enfermedades-respiratorias-consultas-se-mantienen-en-descenso.html>
3. Organización Mundial de la Salud (2005, junio 01). Guía de Calidad del Aire Actualización Mundial 005. World Health Organization. Retrieved febrero 18, 2021.
4. Política Energética de la República del Paraguay (2016, octubre, lunes 10). Viceministerio de Minas y Energía. Retrieved enero martes 5, 2021, from <https://www.ssme.gov.py/>
5. Viceministerio de Minas y Energía (2020, agosto Jueves 27). Balance Energético Nacional de Paraguay 2019. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Viceministerio de Minas y Energía. Retrieved enero 11, 2021.