

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA



HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”

**“Evaluación de los niveles intramuros de material particulado y su asociación con rinitis alérgica”**

**Tesista de Subespecialidad en Alergia e Inmunología Clínica:**

Dr. Evaristo Noe Lemus Reyner

**Director de tesis:**

Dra. Alejandra Macías Weinmann

**Codirector de tesis:**

Dra. Med. Cindy Elizabeth de Lira Quezada

**Tutor:** Dra. Med. Cindy Elizabeth de Lira Quezada

**Coautores:**

Dra. med. Sandra Nora González Díaz

Jefe y Profesor de Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica

Jesús Marcelo Alanís Alvarez

Valeria Muñoz Silva

Pasante del servicio social de medicina

Srita. Sandra Araceli Campos Ortiz

Investigación del Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica

**APROBACIÓN DE TESIS:**



---

Dra. Alejandra Macías Weinmann

**Director de la tesis**



---

Dra. med. Cindy Elizabeth De Lira Quezada

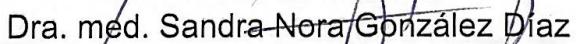
**Coordinador de Enseñanza**



---

Dr. C. Carlos Macouzet Sánchez

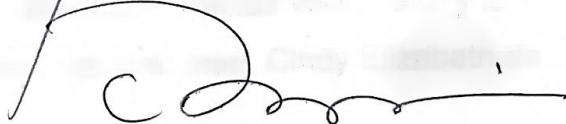
**Coordinador de Investigación**



---

Dra. med. Sandra Nora González Díaz

**Jefe del Servicio de Alergia e Inmunología Clínica**



---

Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez

**Subdirector de Estudios de Posgrado**



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE MEDICINA Y HOSPITAL UNIVERSITARIO

**DRA. ALEJANDRA MACIAS WEINMANN**

Investigador Principal

Servicio de Alergias e Inmunología Clínica

Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González"

Presente.-

Estimada Dr. Macias:

En respuesta a su solicitud con número de ingreso PI25-00093 con fecha del **11 de marzo de 2025** recibida en las oficinas de la Secretaría de Investigación Clínica de la Subdirección de Investigación, se extiende la siguiente notificación con fundamento en el artículo 41 BIS de la Ley General de Salud; los artículos 14 inciso VII, 99 inciso I, 102, 109 y 112 del Decreto que modifica el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud publicado el día 2 de abril del 2014; además de lo establecido en los puntos 4.4, 6.2, 6.3.2.8, 8 y 9 de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos; así como por el Reglamento Interno de Investigación de nuestra Institución.

Se le informa que el Comité a mi cargo ha determinado que su proyecto de investigación clínica abajo mencionado cumple con los aspectos éticos necesarios para garantizar el bienestar y los derechos de los sujetos de investigación que la sociedad mexicana demanda, por lo cual ha sido **APROBADO**.

Titulado: **"Evaluación de los niveles intramuros de material particulado y su asociación con rinitis alérgica"**

De igual forma el(s) siguiente(s) documento(s):

NOMBRE DEL DOCUMENTO	VERSIÓN	FECHA
Protocolo en extenso	V 2.0	Mayo 2025
Infografía instalación PurpleAir	V 2.0	Mayo 2025
Cuestionario Respiratory Clinical Assessment Tool (RCAT)	V 2.0	Mayo 2025

Por lo tanto, usted ha sido **autorizado** para realizar dicho estudio en el **Servicio de Alergias e Inmunología Clínica** del Hospital Universitario como Investigador Responsable. Su proyecto aprobado ha sido registrado con la clave AL25-00004. La vigencia de aprobación de este proyecto es al día **14 de mayo de 2026**.

Participando además el Dr. Evaristo Noe Lemus Reyner como **tesista**, Dra. med. Cindy Elizabeth de Lira Quezada, Dra. med. Sandra Nora González Díaz, Srita. Sandra Araceli Campos Ortiz y los estudiantes Jesús Marcelo Alanís Alvarez y Valeria Muñoz Silva como **Co-Investigadores**.

Toda vez que el protocolo original, así como la carta de consentimiento informado o cualquier documento involucrado en el proyecto sufran modificaciones, éstas deberán someterse para su re-aprobación.

**Comité de Ética en Investigación**  
Av. Francisco I. Madero y Av. Gonzalitos s/n, Col. Mitrás Centro, C.P. 64460, Monterrey, N.L. México  
Teléfonos: 81 8329 4050, Ext. 2870 a 2874. Correo Electrónico: [investigacionclinica@meduanl.com](mailto:investigacionclinica@meduanl.com)



Septiembre 15, 2022



**UANL**

**“Evaluación de los niveles intramuros de material particulado y su  
asociación con rinitis alérgica”**

Este trabajo fue realizado en Centro Regional de Alergias e Inmunología  
Clínica del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” del  
Departamento de Alergias, en la Facultad de  
Medicina de la Universidad  
Autónoma de Nuevo León, bajo la Dirección de la  
Dra. Alejandra Macías Weinmann y la  
Codirección de la Dra. med. Cindy Elizabeth de Lira Quezada

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a la Facultad de Medicina y al Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica, por brindarme el espacio académico y las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto. Agradezco también al Comité de Investigación, así como a la institución y al proyecto que proporcionaron los recursos y el apoyo indispensable para la realización de esta tesis.

A mi Directora de Tesis, Dra. Alejandra Macías Weinmann, y a mi Codirectora, Dra. Med. Cindy Elizabeth de Lira Quezada, por su orientación, su tiempo y su compromiso con mi formación profesional.

A mis compañeros y al equipo clínico y académico del CRAIC, por su apoyo, colaboración y enseñanza constante durante este proceso.

A mis maestros, por compartir su conocimiento, su experiencia y por contribuir de manera tan significativa a mi crecimiento profesional.

A todas las personas e instituciones que participaron en alguna parte de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

## DEDICATORIA

A mis padres, Evaristo y Bertha, por ser mi sostén constante, por su amor incondicional y por enseñarme el valor de soñar, recordándome que con esfuerzo y disciplina los sueños pueden alcanzarse. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudé.

A mis hermanos, Ruben y Natalia, por su cariño, su apoyo y por recordarme siempre que la familia es el origen y el destino.

A mi tía Dora, cuya preocupación genuina y constante cuidado —desde la ropa hasta la comida— hicieron más ligero este camino. Gracias por estar presente en cada detalle.

A mi novia Are, por escucharme, acompañarme y sostenerme con paciencia y amor en cada etapa de este proceso. Gracias por ser mi refugio, mi impulso y una luz constante en mis días.

A mis compañeros, por el apoyo, el compañerismo y las horas compartidas que hicieron posible avanzar en este proyecto.

A mis maestros, por sus enseñanzas, su orientación y por ser guía fundamental en mi formación.

A todos ustedes, que forman parte de este logro, les dedico estas páginas y este esfuerzo que también es suyo.

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
ARN	Ácido ribonucleico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CRAIC	Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica
DE	Desviación estándar
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
Fc $\epsilon$ R	Receptor de alta afinidad para IgE
GM-CSF	Factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos
HEPA	Filtro de aire de alta eficiencia para partículas
IgE	Inmunoglobulina E
IL	Interleucina
ISAAC	International Study of Asthma and Allergies in Childhood
NF- $\kappa$ B	Factor nuclear kappa-B
NLRP3	Receptor NLRP3 (NOD-like receptor family, pyrin domain containing 3)
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NOX2	Isoforma 2 de la enzima NADPH oxidasa
NOM	Norma Oficial Mexicana
O <sub>3</sub>	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PA II	Sensor PurpleAir modelo II
PMS5003	Sensor óptico del dispositivo PurpleAir
PM	Material particulado
PM <sub>2.5</sub>	Partículas menores a 2.5 micrómetros
PM <sub>10</sub>	Partículas menores a 10 micrómetros
RA	Rinitis alérgica
RCAT	Rhinitis Control Assessment Test
ROS	Especies reactivas de oxígeno
SIMA	Sistema Integral de Monitoreo Ambiental

slgE	IgE alérgeno-específica
SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Th	Linfocito T cooperador
TLR4	Receptor tipo Toll 4
TSLP	Linfopoyetina estromal tímica
ZMM	Zona Metropolitana de Monterrey

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución geográfica .....	22
<b>Figura 2.</b> Características basales de los pacientes incluidos en el estudio (N=22). .....	22
<b>Figura 3.</b> Valores basales de RCAT.....	23
<b>Figura 4.</b> Valores finales de RCAT.....	24
<b>Figura 5.</b> Rango de concentraciones de PM <sub>2.5</sub> para cada paciente. La X representa el promedio individual.....	25
<b>Figura 6.</b> Concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para las zonas de San Bernabé, Obispado y Santa Catarina. Los asteriscos indican valores atípicos.....	25
<b>Figura 7.</b> Rango de concentraciones intramuros de PM <sub>10</sub> por paciente. La X representa el promedio individual.....	27
<b>Figura 8.</b> Rango de humedad relativa intramuros por paciente. (La línea roja representa el límite superior recomendado para condiciones ambientales interiores).....	28
<b>Figura 9.</b> Temperatura intramuros. La X representa la temperatura promedio individual.....	29
<b>Figura 10.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>2.5</sub> . Rangos diarios y valores promedio individuales por participante, la línea roja indica el límite recomendado por la OMS. ....	30
<b>Figura 11.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>2.5</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para San Bernabé, Obispado y Santa Catarina.....	31
<b>Figura 12.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>10</sub> . La figura muestra los rangos diarios y los valores promedio individuales. ....	32
<b>Figura 13.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>10</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para San Bernabé, Obispado y Santa Catarina.....	32
<b>Figura 14.</b> Humedad relativa extramuros. Muestra los rangos diarios y los valores promedio registrados para cada participante. ....	33

<b>Figura 15.</b> Temperatura extramuros. La figura muestra los rangos diarios y los valores promedio individuales para cada participante. ....	34
<b>Figura 16.</b> Relación de PM intramuros con la presencia de tabaquismo. Concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según la presencia de tabaquismo. Se muestran las distribuciones individuales para ambos grupos.....	35
<b>Figura 17.</b> Relación de PM intramuros con la presencia de mascotas. Concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> (izquierda) y PM <sub>10</sub> (derecha) según la presencia de mascotas en el hogar. Se muestran las distribuciones para ambos grupos.....	35
<b>Figura 18.</b> Relación entre la apertura de ventanas del hogar y las concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> .....	36
<b>Figura 19.</b> Concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según la cercanía a avenidas. Se muestran los rangos y valores promedio para viviendas ubicadas a menos o más de dos cuadras de una avenida principal. ....	37
<b>Figura 20.</b> PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según la cercanía a fábricas. La figura muestra las distribuciones para viviendas ubicadas a menos o más de 241 metros. ....	38
Figura 21. Relación entre humedad relativa intramuros y concentraciones de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> . Se muestran los valores individuales y su distribución para ambas variables. ....	39
<b>Figura 22.</b> Relación entre temperatura intramuros y concentraciones de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> . Se representan los valores individuales para ambas variables. ....	39
<b>Figura 23.</b> Relación entre concentraciones intramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> y los puntajes del RCAT basal y final. Se muestran los valores individuales para ambas mediciones. ....	40
<b>Figura 24.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según cercanía a avenidas. Se muestran los rangos y valores promedio entre viviendas a menos y más de dos cuadras. ....	41
<b>Figura 25.</b> Concentraciones extramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> según cercanía a fábricas. Se muestran los rangos y valores promedio para viviendas ubicadas a menos o más de 241 metros. ....	42

<b>Figura 26.</b> Relación entre concentraciones extramuros de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> y los puntajes del RCAT basal y final. Se muestran los valores individuales para ambas mediciones. ....	43
<b>Figura 27.</b> Relación entre humedad relativa extramuros y PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> . ....	44
<b>Figura 28.</b> Relación entre temperatura extramuros y PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub> . ....	45
<b>Figura 29.</b> Relación entre PM extramuros, temperatura y humedad. Distribución de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en función de la temperatura y la humedad relativa extramuros. ....	46

## INDICE

<b>APROBACIÓN DE TESIS:</b> .....	<b> ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIV</b>
I. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
II. <b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
III. <b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>7</b>
IV. <b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
V. <b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
VI. <b>RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
VII. <b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>47</b>
VIII. <b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>55</b>
IX. <b>REFERENCIAS</b> .....	<b>59</b>
X. <b>ANEXOS</b> .....	<b>63</b>
XI. <b>RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO</b> .....	<b>67</b>

## **RESUMEN**

La rinitis alérgica (RA) es una de las enfermedades respiratorias más prevalentes y su control puede verse modulado por factores ambientales intra y extramuros. En la Zona Metropolitana de Monterrey, la exposición a material particulado ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ) representa un factor de riesgo relevante; sin embargo, la evidencia local respecto a niveles intradomiciliarios y su impacto clínico es limitada.

El objetivo de este estudio fue evaluar las concentraciones intramuros de material particulado mediante el dispositivo PurpleAir® y analizar su asociación con los síntomas de RA valorados con el cuestionario RCAT. Se realizó un estudio observacional y longitudinal en 22 pacientes con diagnóstico confirmado de RA, residentes de San Bernabé, Obispado y Santa Catarina. Durante siete días se registraron de manera continua  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , temperatura y humedad intramuros, además de datos extramuros obtenidos de sensores PurpleAir®.

Los niveles de  $PM_{2.5}$  intramuros mostraron una media de  $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cercana al límite recomendado por la OMS, con valores más elevados en algunos domicilios, de manera especial en Obispado. El  $PM_{10}$  se mantuvo bajo y estable. La humedad relativa se asoció de forma positiva con  $PM_{10}$ , mientras que la temperatura no mostró relación con ninguna fracción del PM. No se identificaron asociaciones significativas entre los niveles intra o extramuros de PM y los puntajes del RCAT.

Los hallazgos indican que, aun dentro del hogar, los pacientes pueden estar expuestos a concentraciones relevantes de  $PM_{2.5}$ , capaces de generar daño epitelial subclínico. Estos resultados enfatizan la necesidad de fortalecer estrategias de control ambiental y de realizar investigaciones futuras que integren exposición personal, biomarcadores y seguimiento a largo plazo.

## ABSTRACT

Allergic rhinitis (AR) is one of the most prevalent respiratory diseases, and its clinical control can be influenced by both indoor and outdoor environmental factors. In the Metropolitan Area of Monterrey, exposure to particulate matter ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ) represents a relevant risk factor; however, local evidence regarding indoor levels and their clinical impact remains limited.

The objective of this study was to evaluate indoor concentrations of particulate matter using the PurpleAir® monitoring device and to analyze their association with AR symptoms assessed through the Rhinitis Control Assessment Test (RCAT). An observational, longitudinal study was conducted in 22 patients with confirmed AR residing in the areas of San Bernabé, Obispado, and Santa Catarina. Continuous measurements of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , temperature, and relative humidity were recorded for seven days inside each home, along with corresponding outdoor data obtained from PurpleAir® sensors.

Indoor  $PM_{2.5}$  levels showed a mean of  $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , close to the limit recommended by the World Health Organization, with higher values observed in some households, particularly in Obispado. Indoor  $PM_{10}$  concentrations remained low and stable. Relative humidity demonstrated a positive association with  $PM_{10}$ , whereas temperature showed no relationship with either PM fraction. No significant associations were found between indoor or outdoor PM levels and RCAT scores.

These findings indicate that even within the home environment, patients may be exposed to meaningful concentrations of  $PM_{2.5}$  capable of contributing to subclinical epithelial damage. The results highlight the importance of reinforcing environmental control strategies and conducting future research incorporating personal exposure monitoring, biomarkers, and long-term follow-up

## I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se presentó un incremento en la prevalencia de las enfermedades alérgicas. De acuerdo con el Reporte Mundial de Alergia de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la rinitis alérgica (RA) es una de las afecciones crónicas más comunes en niños y adultos (1). El aumento de la globalización durante el último siglo influyó en este incremento y, además, es la piedra angular para estudios epidemiológicos como el Estudio Internacional de Asma y Alergias en la niñez (International Study Of Asthma and Allergies in childhood – ISAAC), Rinitis Alérgica y su Impacto en el Asma (Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma ARIA) (2).

La rinitis alérgica (RA) se define como el proceso inflamatorio de la mucosa nasal caracterizado por síntomas clínicos, tales como, prurito nasal, estornudos en salva, rinorrea hialina y congestión nasal (3), desencadenados por una respuesta de hipersensibilidad tipo I, mediada por IgE (4). La rinitis alérgica es la causa más frecuente de rinitis crónica (5), y es la más predominante de todas las enfermedades crónicas en Europa (6).

El estudio ISAAC en 1994 estableció una prevalencia media de rinitis alérgica de 14.9 % en niños de 6 a 7 años y 39.7 % en adolescentes entre 13 y 14 años. En la tercera fase de ISAAC, se reportó que en México la incidencia de síntomas de rinitis en niños entre seis y siete años fue 11.6 % y en adolescentes entre 13 y 14 años fue 15.6 % (7). Por otra parte, la incidencia de rinitis alérgica se demostró de manera predominante en el sexo masculino durante la infancia y el sexo femenino en la adolescencia (8).

El impacto de la globalización se observó en el cambio climático, la biósfera y la biodiversidad, donde el incremento de las actividades industriales y humanas produce un aumento de las concentraciones de contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Debido a la urbanización, la actividad industrial, el tráfico

vehicular y el cambio climático, se elevaron las concentraciones de material particulado (PM), situación que influye en la epigenética, a lo que se conoce como exposoma. El material particulado, en especial las partículas de 2.5 y 10 micras ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , de manera respectiva), son los principales contaminantes con afección directa a la salud respiratoria (9). La exposición a material particulado se asocia con enfermedades respiratorias como RA, asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Como resultado, la OMS en 2013 catalogó al PM como un cancerígeno de primera clase.

El  $PM_{2.5}$  se compone por partículas con un diámetro aerodinámico menor de 2.5 micras, con capacidad de penetrar de manera profunda en el sistema respiratorio, y alcanzar alvéolos y al torrente sanguíneo, lo que produce una respuesta inflamatoria sistémica. La exposición a  $PM_{2.5}$  promueve la activación de la vía Th2, con posterior producción de interleucinas IL-4 e IL-13 y liberación de IgE, lo que conduce a exacerbación de procesos inflamatorios como la RA y el asma al promover una respuesta inflamatoria (10).

La fisiopatología de la RA en el contexto de la exposición a  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  se comprende mejor al considerar los efectos de estos contaminantes sobre la barrera epitelial, donde actúan como elementos clave en la hipersensibilidad de tipo V al producir disrupción de dicha barrera y activar mecanismos inflamatorios e inmunológicos característicos de la enfermedad.

La evidencia actual demuestra que el epitelio respiratorio además de ser recubrimiento pasivo es un órgano activo de manera inmunológica, capaz de iniciar, amplificar y sostener respuestas inflamatorias frente a estímulos ambientales, incluyendo el PM. Esta perspectiva coincide con el modelo propuesto por la EAACI en su nomenclatura de hipersensibilidad, donde el epitelio ocupa un papel central como “unidad sensora y efectora” en el desarrollo de respuestas alérgicas (11).

La primera línea de defensa de las vías respiratorias superiores es el epitelio nasal, que protege contra contaminantes e irritantes como la exposición a PM<sub>2.5</sub> y altera su estructura mediante la reducción de proteínas de uniones estrechas (occludina, claudina-1 y ZO-1), lo que aumenta su permeabilidad y permite la entrada de aeroalérgenos y patógenos con mayor facilidad (11). Un estudio demostró que el PM<sub>2.5</sub> compromete la integridad epitelial por mecanismos dependientes de estrés oxidativo, lo que debilita la barrera epitelial y conlleva mayor contacto con alérgenos y células inmunes locales (9). Se observó que de manera conjunta el PM<sub>2.5</sub> activa vías como la TLR4/NF- $\kappa$ B en las células epiteliales, lo que genera liberación de citocinas inflamatorias como IL-6, IL-8 y TSLP, y conduce a una transición hacia un fenotipo Th2 (12). Por lo tanto, la alteración de la barrera epitelial es un paso crítico a los alérgenos e irritantes, que activa alarminas (TSLP, IL-25 e IL-33) e inicia así una cascada inflamatoria que promueve la producción de IL-4, IL-5 e IL-13, para promover quimiotaxis de eosinófilos (13).

La formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) es una de las consecuencias mejor documentadas tras la inhalación de PM<sub>2.5</sub>, además de aumentar las ROS, se produce un daño celular directo, activación de vías inflamatorias y sensibilización de la mucosa nasal (14). También se amplifica la liberación de citocinas proinflamatorias que pueden exacerbar síntomas en pacientes con rinitis alérgica (15). Una exposición prolongada a PM<sub>2.5</sub> se asocia con niveles elevados de biomarcadores inflamatorios sistémicos aun en pacientes sin patologías respiratorias, lo que evidencia el impacto del PM (16). Los contaminantes, además de alterar la barrera epitelial, pueden activar vías neuroinmunológicas que amplifican la sensibilidad a irritantes ambientales incluso cuando los síntomas son discretos y fluctuantes (17).

Para regular y establecer límites de exposición segura a estos contaminantes, en México se implementaron normas específicas. La Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-025-SSA1-2014, que se sustituyó por la NOM-025-SSA1-2021, que establece los límites máximos permisibles de concentración para partículas

suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiental. Según esta norma vigente, los valores límite de referencia son: 1) PM<sub>10</sub> promedio de 24 horas 75 µg/m<sup>3</sup>, promedio anual 40 µg/m<sup>3</sup>; 2) PM<sub>2.5</sub> promedio de 24 horas 45 µg/m<sup>3</sup>, promedio anual 15 µg/m<sup>3</sup>. (18) La importancia del monitoreo es útil para la recolección de datos y el diseño de políticas públicas, para emitir alertas a la población sobre episodios de mala calidad del aire y con ello minimizar los riesgos de la salud. (19)

En la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), la contaminación atmosférica se caracteriza por niveles altos de PM, derivados del tránsito vehicular, la actividad industrial y las condiciones topográficas de la región. Monterrey se calificó en varias ocasiones como una de las ciudades con peor calidad de aire en México, debido a las concentraciones elevadas de partículas PM<sub>2.5</sub> .

De manera reciente, la industria se orientó al desarrollo de dispositivos de calidad y accesibles para el público para conocer la calidad del aire y la contaminación ambiental, entre estos el dispositivo "PurpleAir" se destaca por su capacidad de proporcionar mediciones precisas y en tiempo real de los niveles de partículas PM<sub>2.5</sub> , lo que facilita investigaciones con datos de alta resolución espacial y temporal (20).

### **Planteamiento del problema**

Estudios previos basados en registros del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) y realizados en el Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica (CRAIC) por de Lira-Quezada CE et al mostraron niveles elevados de contaminantes en áreas de la ZMM como Santa Catarina, Obispado y San Bernabé. Este estudio mostró la importancia de la proximidad a avenidas transitadas o fábricas (21).

Además de los contaminantes ambientales extramuros, existen factores intramuros como el uso de sistemas de aire acondicionado, aires lavados,

ventiladores, así como la exposición al tabaquismo pasivo o activo. Estas condiciones pueden ser desencadenantes de la aparición y/o persistencia de los síntomas, y conducir al síndrome del edificio enfermo, que se caracteriza por síntomas inespecíficos como irritación respiratoria, cefalea, fatiga y erupciones cutáneas. En un estudio previo de nuestro centro encontramos una prevalencia de 91 % de tener al menos un síntoma asociado al síndrome del edificio enfermo en un grupo de más de 400 pacientes, con predominio del género femenino (21).

El factor económico y la falta de conocimiento sobre estrategias de monitoreo en tiempo real de los contaminantes intra y extramuros causaron una brecha significativa en la comprensión y la prevención de los efectos de la contaminación del aire en la salud pública. Esto limita el análisis comparativo entre ambos entornos, a pesar de que estas mediciones son esenciales para establecer patrones de exposición y su relación con enfermedades respiratorias como la rinitis alérgica (22).

Esta investigación buscó explorar la asociación entre la exposición intramuros a material particulado en ubicaciones relevantes por sus elevados niveles de contaminación del AMM (San Bernabé, Obispado y Santa Catarina) y su impacto en la rinitis alérgica (RA) (21).

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Este estudio surge del interés sobre el comportamiento de los contaminantes dentro de casa y su impacto en las enfermedades alérgicas. La contaminación en la ZMM constituye un problema de salud pública, en especial en zonas de Santa Catarina, San Bernabé y Obispado.

No encontramos información clara del comportamiento del PM intramuros, si puede ser más bajo o alto que en el exterior por factores propios del hogar, como la distribución, ventilación interna, apertura de ventanas, el uso de sistemas de aire, la presencia de contaminantes domésticos (tabaquismo, mascotas) y la influencia de fuentes externas como cercanía de avenidas de tráfico intenso o fábricas. La monitorización en tiempo real en los hogares nos permitirá evaluar la contribución del material particulado en los síntomas de rinitis alérgica y sus exacerbaciones, por medio del cuestionario RCAT.

### **III. HIPÓTESIS**

Hipótesis Alternativa (H1):

Existe una asociación directa entre los niveles intramuros de material particulado medidos con el dispositivo PurpleAir® y la exacerbación de síntomas respiratorios en pacientes con alergia respiratoria.

Hipótesis Nula (H0):

No existe asociación directa entre los niveles intramuros de material particulado medidos con el dispositivo PurpleAir® y la exacerbación de síntomas respiratorios en pacientes con alergia respiratoria.

## IV. OBJETIVOS

### **Objetivo general**

Evaluar los niveles intramuros de material particulado por medio del dispositivo electrónico Purpleair® y su asociación con la exacerbación de síntomas respiratorios en pacientes con alergia respiratoria.

### **Objetivos específicos:**

1. Determinar los niveles intramuros prevalentes de contaminantes de material particulado (PM) 2.5 y 10 en casas de pacientes con rinitis alérgica que residan en ubicaciones específicas del área metropolitana de Monterrey (Santa Catarina, San Bernabé y Obispado).
2. Identificar los valores de los índices de material particulado (PM) 2.5 y 10 de las estaciones de monitoreo ambiental designadas.
3. Comparar los niveles intramuros de contaminantes con los resultados del RCAT.
4. Relacionar los niveles intramuros y extramuros de contaminantes.

## **V. MATERIAL Y MÉTODOS**

**Diseño de la investigación:** Observacional, prospectivo, longitudinal y analítico, se realizó de mayo de 2025 a septiembre de 2025.

**Lugar y sitio:** El estudio se realizó en el Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica del Hospital Universitario en Monterrey, Nuevo León.

**Población de estudio:** Se evaluaron a pacientes con diagnóstico de rinitis alérgica que acudían a consulta al Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica, con residencia en las áreas de Santa Catarina, Obispado y San Bernabé de la ZMM.

### **Criterios de selección**

#### **Criterios de inclusión:**

1. Mujeres y hombres mayores de 12 años con residencia en las zonas de San Bernabé, Santa Catarina y Obispado del área metropolitana de Monterrey.
2. Pacientes con diagnóstico clínico de rinitis alérgica, de acuerdo con historia clínica y pruebas cutáneas positivas a alérgenos ambientales.

#### **Criterios de exclusión:**

1. Pacientes que no desearon participar.
2. Pacientes que no contaban con diagnóstico confirmado de rinitis alérgica con pruebas cutáneas positivas a aeroalérgenos.
3. Pacientes sin acceso a internet en su hogar.
4. Pacientes que no permitieron instalar el sensor PurpleAir® en el interior de su casa.

#### **Criterios de eliminación:**

1. Pacientes con datos incompletos del cuestionario RCAT o del medidor Purpleair®.

## **Metodología**

El reclutamiento se realizó en el Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica del Hospital Universitario, se invitó a los pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión establecidos a participar en el estudio mediante consentimiento informado verbal.

## **Cuestionario RCAT**

Este cuestionario es un procedimiento de rutina en pacientes con diagnóstico de rinitis alérgica. Consta de 6 preguntas que abordan el control de los síntomas durante la última semana, incluye: congestión/obstrucción nasal, estornudos, lagrimeo, alteraciones del sueño producidas por los síntomas nasales u oculares de la rinitis, evitación de algunas actividades debido a los síntomas nasales u oculares de la rinitis y calificación de hasta qué punto estuvieron controlados los síntomas de alergia. Las respuestas se midieron mediante una escala de Likert de 5 puntos. La puntuación tiene un rango de 6 a 30 puntos donde la puntuación más alta es indicativa de mejor control de la rinitis, mientras que la calificación menor de 20 puntos es indicativa de control bajo de los síntomas de rinitis alérgica. La evaluación se realizó al inicio y al final de la semana de monitoreo de cada paciente.

## **Medición de contaminantes intramuros: PurpleAir®**

Los niveles de contaminación intramuros se midieron con el sensor PurpleAir® PA-II, un dispositivo de monitoreo de calidad de aire basado en tecnología láser. Este sensor consta de un sistema de medición de doble canal que permite detectar concentraciones de material particulado ( $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ) en el ambiente interior. De manera adicional, el dispositivo registraba variables ambientales como temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

El dispositivo requiere una fuente de alimentación eléctrica mediante un adaptador de corriente y una conexión Wi-Fi estable para la transmisión y almacenamiento de datos en la nube, los cuales se pueden monitorear en tiempo

real por medio de la plataforma de PurpleAir y aplicaciones como Paku for PurpleAir.

La medición de los contaminantes intramuros se llevó a cabo de manera continua durante un periodo de una semana completa. Para que los datos se consideraran válidos y representativos, se estableció un criterio de cumplimiento mínimo de 75 % del tiempo total de medición. Esto significa que el sensor debía estar operativo y transmitiendo datos al menos durante 75 % del periodo establecido, y evitar interrupciones prolongadas que pudieran comprometer la calidad del análisis.

### **Ubicación y montaje del sensor en los domicilios**

Para garantizar la estandarización de la medición en los distintos hogares, el sensor se instaló en un área representativa del ambiente interior, en la habitación del paciente, dado que es el espacio donde pasa la mayor parte del tiempo y donde la exposición a contaminantes puede relacionarse de forma directa con su sintomatología. No se instaló en cocinas, baños ni cerca de fuentes de emisión directas como estufas o chimeneas, para evitar sesgos en la medición.

El sensor se colocó a una distancia de al menos 1 metro de una ventana, medida de manera perpendicular a la abertura, con el objetivo de minimizar la influencia de la ventilación externa sin eliminar por completo su impacto en la calidad de aire interior. En caso de que la habitación no contará con ventana, el sensor se ubicó en la pared más alejada de puertas y fuentes de circulación de aire, con el fin de obtener una medición representativa del ambiente interior sin la interferencia de corrientes externas de aire. Así mismo, el sensor se ubicó a una altura de 1 metro desde el nivel del suelo, una altura aproximada de la zona de respiración de las personas mientras está de pie o acostadas en la cama.

### **Fijación y soporte del sensor**

Para la instalación, se utilizó un soporte portátil en forma de soporte fijo, el cual fue proporcionado al paciente con el objetivo de estandarizar la medición en todos los domicilios participantes. Este soporte garantizaba que el sensor se mantuviera en la misma posición durante todo el periodo de medición, para evitar

variaciones en la ubicación que pidieran afectar la calidad de los datos recolectados. De manera adicional, para reforzar la estandarización, se colocó una marca en el piso con cinta de color, para indicar el lugar exacto donde debía permanecer el soporte con el sensor. Esta medida permitió que, en caso de movimientos accidentales por limpieza u otras actividades domésticas, el sensor pudiera posicionarse de manera correcta en el lugar designado.

Se tomó en cuenta el uso de extensiones eléctricas para facilitar la conexión a la corriente en caso de que no se contara con enchufes cercanos al sitio de instalación. Cada instalación se supervisó por un miembro del equipo de investigación para asegurar la correcta ubicación del sensor y su adecuado funcionamiento.

#### **Medición de contaminantes extramuros: Plataforma PurpleAir®**

Debido a la ausencia de disponibilidad de los registros oficiales del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) durante el periodo del estudio, la medición de los contaminantes extramuros se realizó por medio de la plataforma PurpleAir®, la cual es un red independiente de sensores ópticos de alta resolución que opera de manera continua en múltiples zonas de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM). Los dispositivos PurpleAir® utilizan sensores láser ópticos (Plantower PMS5003), capaces de medir de forma simultánea PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, y registrar parámetros ambientales como humedad y temperatura relativa. Cada sensor incorpora un sistema que permite verificar las mediciones y mejorar la precisión. Estas mediciones mostraron una correlación alta con monitores oficiales de referencia, lo que convierte al dispositivo en una herramienta confiable para la investigación ambiental y epidemiológica cuando no se dispone de estaciones gubernamentales.

En este estudio, los datos extramuros se obtuvieron por medio de sensores PurpleAir® ubicados en las zonas de Obispado, San Bernabé y San Catarina, se eligieron aquellos con funcionamiento continuo (uno por zona), para contar con datos más reales, que se descargaron desde la interfaz pública PurpleAir Map y

se procesaron por medio de un esquema de promediación horaria de 24 horas para estabilizar las mediciones.

**Base de datos:**

Una vez recopilados, los datos se ingresaron en una base de datos de Excel diseñada de manera específica para este estudio. Se implementó un proceso de verificación de datos para asegurar la precisión y completitud de la información recopilada. Esto incluyó revisiones cruzadas de los datos en diferentes fuentes, como notas clínicas.

Variables controladas en la investigación			
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
<b>Género</b>	Sustantivo que en Español puede ser masculino o femenino. Y hace distinción biológica, según el sexo referente (heteronimia).	Se asigna al nacer como masculino o femenino, de acuerdo con las características biológicas de sus órganos sexuales.	Cualitativa nominal dicotómica Masculino (1) Femenino (2)
<b>Grupo de edad</b>	Adolescentes: individuo en etapa de transición entre la infancia y la adultez entre los 10 y 19 años, según la OMS.  Adultos: persona que alcanzó la madurez física y	Adolescente: participantes de entre 10 y 19 años que son evaluados en función de su desarrollo físico y comportamiento en el contexto del estudio.	Cualitativa nominal dicotómica Adolescente (1) Adulto (2)

	psicológica, partir de los 18 años	Adulto: participantes de 18 años o más que cumplen con criterios de autonomía legal y participan en las mediciones del estudio.	
<b>Tabaquismo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tabaquismo activo:</b> consumo habitual de productos de tabaco con inhalación directa de las sustancias químicas</li> <li>• <b>Tabaquismo pasivo:</b> exposición involuntaria al humo del tabaco producido por otros fumadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tabaquismo activo:</b> participantes que reportan el uso regular de productos de tabaco (al menos una vez al día) durante el período del estudio.</li> <li>• <b>Tabaquismo pasivo:</b> participantes que conviven o trabajan que están expuestos al humo de tabaco al menos una</li> </ul>	Cualitativa nominal dicotómica Si (1) No (2)

		hora diaria durante la duración del estudio.	
<b>Mascotas</b>	Animales de compañía que conviven con los seres humanos y proporcionan beneficios emocionales y sociales, incluyendo especies como perros, gatos, aves, y otros pequeños animales domésticos.	Animales domésticos presentes en el hogar de los participantes, definidos en el estudio como aquellos que reciben cuidados regulares, interacción social y convivencia diaria, durante al menos tres meses previos al inicio del estudio. En caso de responder que sí, se incluirá el tipo de mascota que habita en la casa, así como el número de mascotas	Cualitativa nominal dicotómica Si (1) No (2) En caso de responder si: Gato (1) Perro (2) Otro:  Cuantitativa discreta Cuantos habitan:
<b>Rutina de apertura de ventanas</b>	Práctica de ventilar los espacios interiores mediante la apertura de ventanas para	Abrir las ventanas de un espacio interior durante un tiempo específico (de 1 a 3 días, 4 a 5 días o	Cualitativa nominal politómica Nunca (1)

	permitir el intercambio de aire y mejorar la calidad ambiental.	todos los días) en horarios determinados (por ejemplo, al inicio de la mañana y al final de la tarde)	A menudo (1 a 3 días) (2) Varias veces por semana (más de 4 días) (3)
<b>Uso de purificador de aire con filtro HEPA</b>	Empleo de dispositivos diseñados para mejorar la calidad del aire interior mediante la eliminación de partículas contaminantes, alérgenos y otros agentes, se utilizará un filtro de alta eficiencia (HEPA, por sus siglas en inglés).	Se considerará el uso de un purificador de aire con filtro HEPA cuando el dispositivo funcione al menos 8 horas al día en el espacio de estudio, con mantenimiento regular y cambio de filtro de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.	Cualitativa nominal dicotómica. Si (1) No (2)
<b>Área geográfica</b>	Delimitación de una región o espacio específico que se utiliza como punto de referencia para estudios o investigaciones, se abarcarán aspectos físicos,	Se incluirá área geográfica como municipio, así como nombre de la colonia y con especial selección a los pacientes que habitan en zonas de santa Catarina,	Cualitativa nominal politómica Áreas geográficas de la zona metropolitana de la ciudad de monterrey:

	demográficos y socioeconómicos.	obispado y san Bernabé	Obispado (1) Santa Catarina (2) San Bernabé (3)
<b>Vivienda cerca de avenida</b>	Hogar o residencia ubicada a una distancia de manera relativa próxima a una vía principal con alta circulación vehicular.	En este estudio, se considerará una vivienda como "cercana" si se encuentra a menos de 165 metros de una avenida principal y "lejana" si se encuentra a más de 165 metros de dicha avenida.	Cualitativa nominal dicotómica >165 m (1) <165m (2)
<b>Vivienda cerca de una fábrica</b>	Hogar o residencia ubicada en proximidad a un establecimiento industrial, lo cual puede tener implicaciones en la calidad del aire, nivel de ruido y otras condiciones ambientales.	Se considerará una vivienda como "cercana" si se encuentra a menos de 241 metros de una fábrica, y "lejana" si se encuentra a más de 241 metros.	Cualitativa nominal dicotómica >241m (1) <241 m (2)
<b>Calificación obtenida en RCAT</b>	<b>Clasificación de RCAT (rhinitis control</b>	<b>Clasificación de RCAT:</b> en este estudio, la	Cualitativa nominal dicotómica.

	<p><b>assessment test):</b> herramienta de evaluación utilizada para medir el control de los síntomas de rinitis en pacientes, basada en una puntuación total obtenida a partir de respuestas sobre la gravedad y frecuencia de los síntomas.</p>	<p>puntuación obtenida mediante el cuestionario RCAT se usará para clasificar a los participantes en dos categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Controlada:</b> puntuación superior a 21 puntos.</li> <li>• <b>No controlada:</b> puntuación inferior a 21 puntos.</li> </ul>	<p>Controlada &gt;21 puntos (1)</p> <p>No controlada &lt;20 puntos (2)</p>
<b>Variables ambientales intramuros</b>	<p>Niveles de contaminantes, humedad relativa, temperatura</p> <p>Condiciones ambientales dentro del domicilio que pueden influir en la calidad del aire y la exposición del paciente, incluyendo niveles de material particulado,</p>	<p>Mediciones continuas de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, humedad relativa (%) y temperatura (°C) registradas por el sensor PurpleAir® instalado en la recámara del participante durante el periodo de monitoreo.</p>	<p>Cuantitativa continua</p>

	humedad relativa y temperatura.		
<b>Variables ambientales extramuros</b>	Condiciones ambientales del exterior que determinan la calidad del aire en la zona de residencia, incluyendo niveles de material particulado, humedad relativa y temperatura.	Mediciones de PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , humedad relativa (%) y temperatura (°C) obtenidas de los sensores PurpleAir® ubicados en el área geográfica del participante durante el periodo de estudio.	Cuantitativa continua

## Cálculo de tamaño de la muestra

TAMAÑO DE MUESTRA PARA POBLACIÓN FINITA				
$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$				
valor N	25	al cuadrado	P x Q	N - 1
valor Z	1.64	2.6896		24
valor P	0.18			n= 21.7176163
valor Q	0.82		0.1476	
valor d	0.05	0.0025		

Se utilizó una fórmula de estimación de una proporción en población finita, con el objetivo primario de: Evaluar los niveles de material particulado intramuros por medio de dispositivo electrónico PURPLEAIR y su asociación con la exacerbación de síntomas respiratorios en pacientes con alergia respiratoria y la prevalencia de contaminantes.

Se esperaba una proporción de 18 % de prevalencia de rinitis alérgica en población mexicana con una significancia unilateral de 5 %, y un poder de 95 %, se necesitaban por lo mínimo 22 sujetos de estudio.

Los parámetros de acuerdo con esta referencia: Mancilla-Hernández, Eleazar, Barnica, Raúl, González-Solórzano, Evaristo, Peregrina, José Alfredo, Zecua-Nájera, Yahvé, Soberanes-Rivas, Gerardo Alberto, & Jiménez-Sandoval, Jaime Omar. (2021). Prevalencia de rinitis alérgica y factores asociados en estudiantes mexicanos. Un estudio multicéntrico. *Revista alergia México*, 68(2), 101-111. Epub 01 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.29262/ram.v658i2.786>

### **Análisis estadístico e interpretación de la información**

En la estadística descriptiva se reportaron frecuencias y porcentajes para variables categóricas. Para las variables cuantitativas se reportaron medidas de tendencia central y dispersión (media/mediana; desviación estándar/rango intercuartil).

En la estadística inferencial se evaluó la distribución de la muestra por medio de la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Se compararon variables categóricas por medio de la prueba de Chi cuadrado de Pearson o test exacto de Fisher. Para comparar grupos independientes se utilizaron las pruebas de T-student y/o U de Mann Whitney. Se utilizaron los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman para identificar el grado de asociación entre variables continuas.

Se consideró un valor de  $P <0.05$  y un intervalo de confianza de 95 % como significativo de manera estadística. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 24 (SPSS, Chicago, IL, USA).

## VI. RESULTADOS

### Datos demográficos

Se incluyeron 22 pacientes con el diagnóstico de rinitis alérgica. La edad media fue de  $33.7 \pm 15.1$  años, mínima de 16 y máxima de 88 años. En cuanto al género, se observó un predominio femenino (13 mujeres) respecto al masculino (9 hombres).

### Tabaquismo

De los 22 pacientes incluidos, 4 (18.8 %) tenía tabaquismo activo y ningún paciente reportó tabaquismo pasivo. De los 4 pacientes con tabaquismo activo, ninguno reportó fumar en el interior de casa.

### Mascotas

Ocho (36.6 %) pacientes reportaron tener mascotas, 1 (4.5 %) tenía 1 gato, 4 (18.8 %) tenían 1 perro cada uno, 3 (13.6 %) tenían 1 gato y 1 perro. No se preguntó si las mascotas estaban en el interior o el exterior de la casa.

### Rutina de apertura de ventana

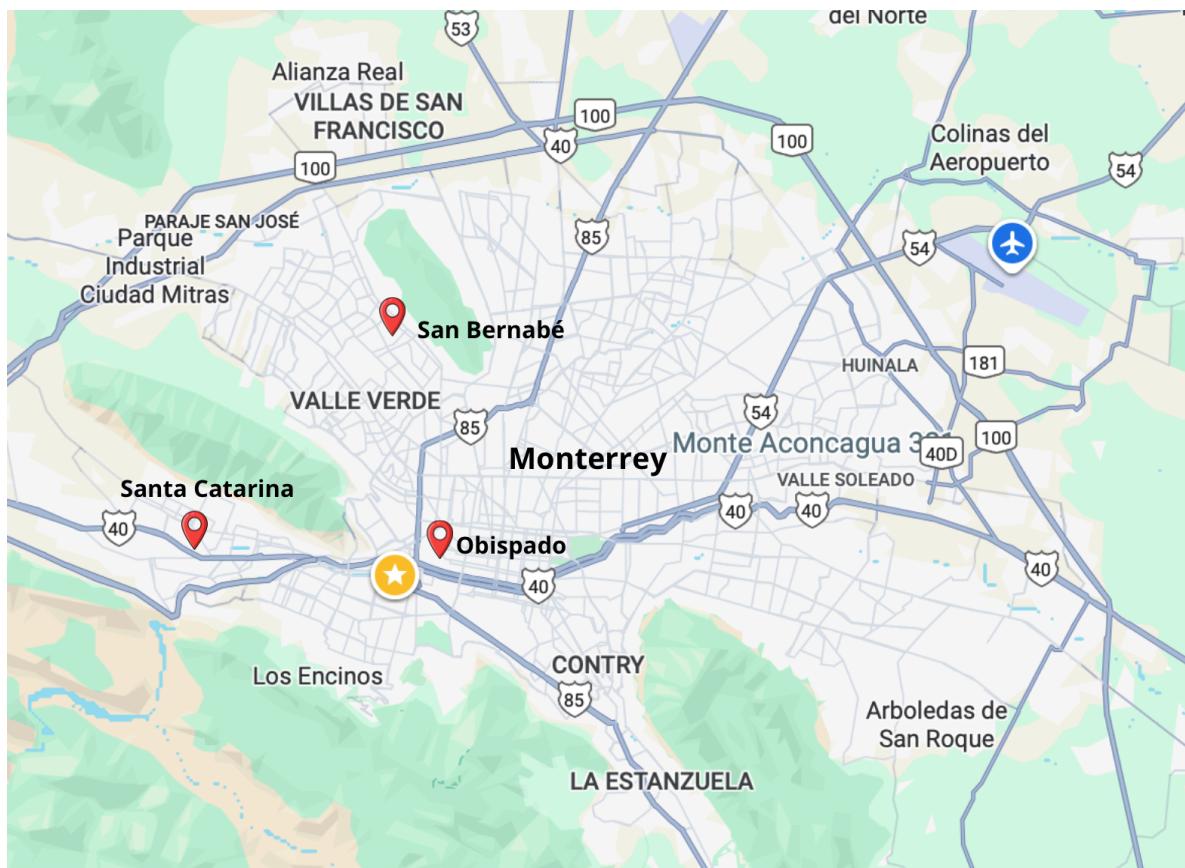
De los 22 participantes, 8 (36.6 %) reportaron no abrir las ventanas durante la semana de monitoreo, 6 (22.3 %) reportaron abrir las ventanas de manera a menudo (de 1 a 3 días) y 8 (36.6 %) las abrieron varias veces a la semana (más de 4 días).

### Uso de purificador de aire con filtro HEPA

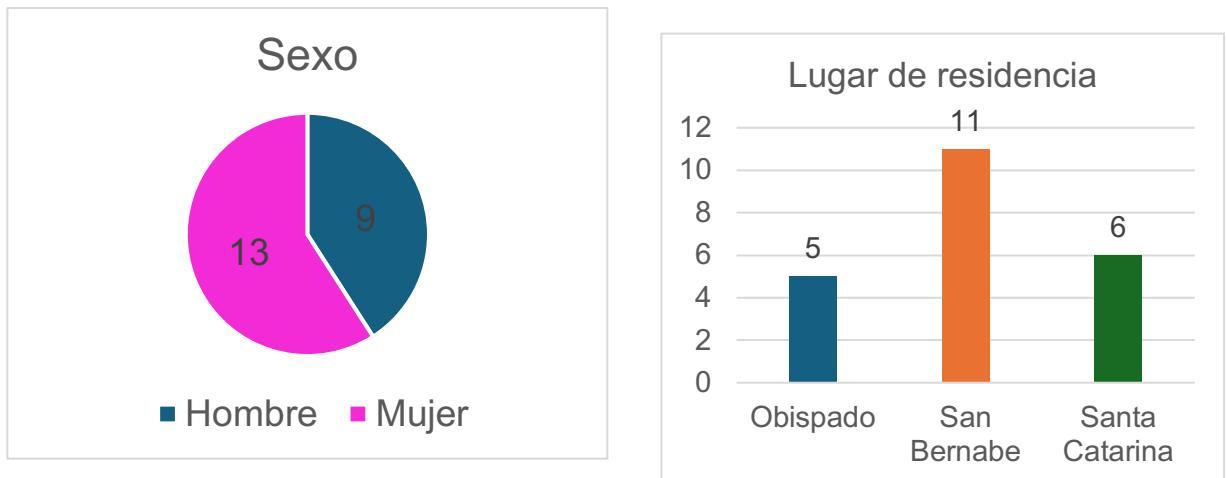
Ningún paciente utilizó purificador de aire durante la semana de monitoreo.

### Distribución geográfica

Se incluyeron 11 (50 %) pacientes de San Bernabé, 6 (22.3 %) pacientes de Santa Catarina y 5 (22.3 %) pacientes de la zona Obispado. Ver Figura 1 y 2.



**Figura 1.** Distribución geográfica



**Figura 2.** Características basales de los pacientes incluidos en el estudio (N=22).

#### Vivienda cerca de avenida

De los 22 participantes, 14 (63.6 %) vivían a menos de 165 metros de una avenida principal y 8 (36.6 %) vivían a más de 165 metros.

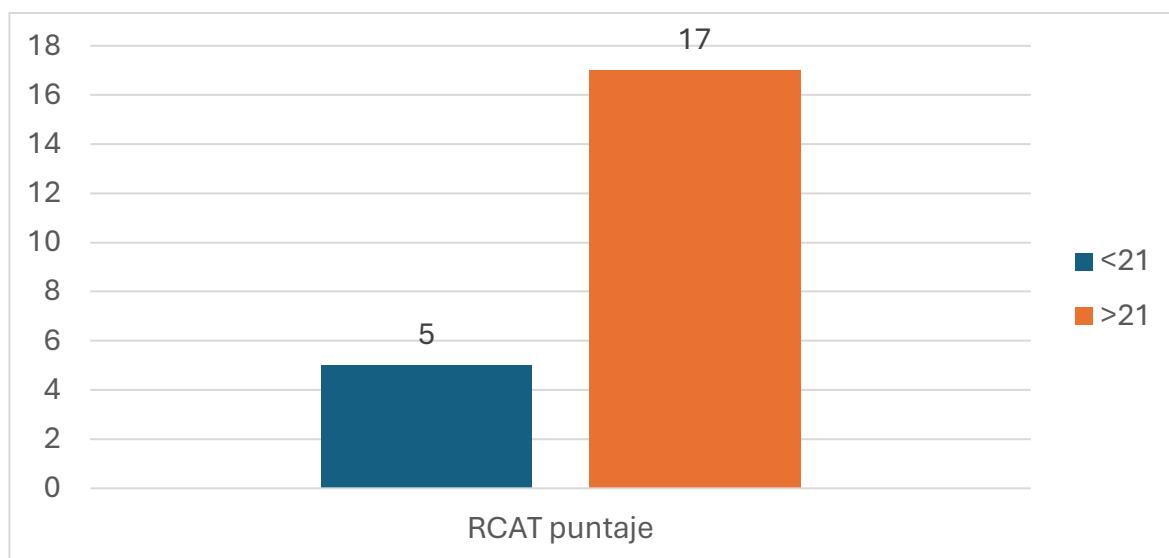
### **Vivienda cerca de una fábrica**

De los 22 participantes, 12 (54.5 %) vivían a menos de 241 metros de una fábrica y 10 (45.5 %) vivían a más de 241 metros.

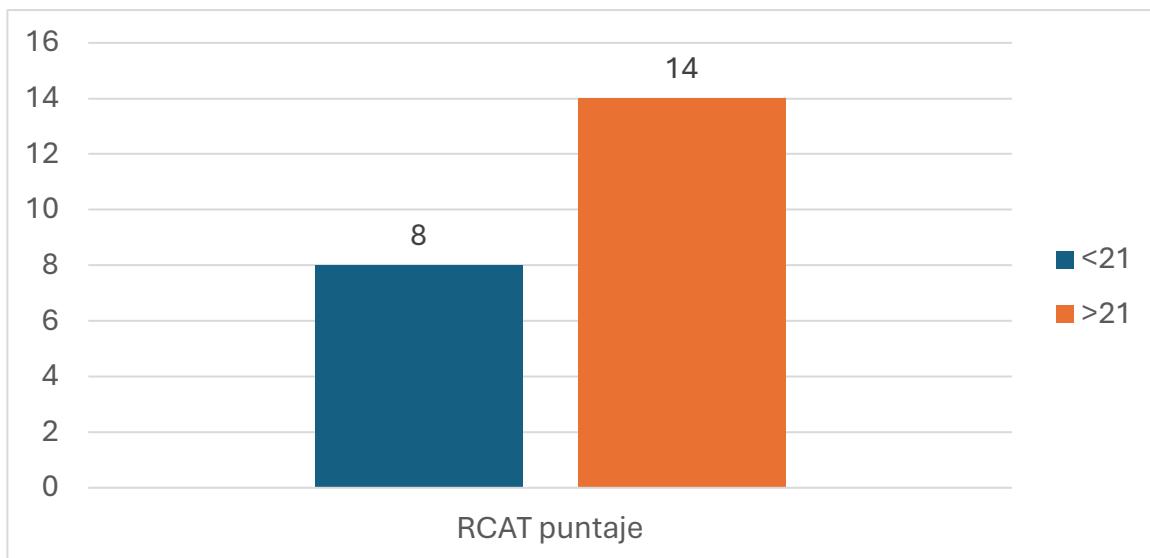
### **Valores iniciales y finales de RCAT**

El control clínico de la rinitis se evaluó con el cuestionario RCAT al inicio y al final de la semana de monitoreo de cada paciente. En la medición basal, el puntaje promedio fue 22 puntos, con valores entre 13 y 27 puntos (DE=3.4). De los 22 participantes, 17 (77.3%) presentaron puntuaciones >21 puntos, correspondientes a un buen control, mientras que 5 (22.7 %) obtuvieron <21 puntos, indicativas de mal control. En la medición final, el RCAT promedio fue 20.9 puntos, con un rango de 13 a 27 puntos (DE=4.0), 14 participantes (63.6 %) con un puntaje >21, y 8 (36.4 %) en un rango de mal control (<21 puntos). No se identificaron diferencias significativas entre las 2 mediciones del RCAT ( $P > 0.05$ ).

Ver figura 3 y 4.



**Figura 3.** Valores basales de RCAT.



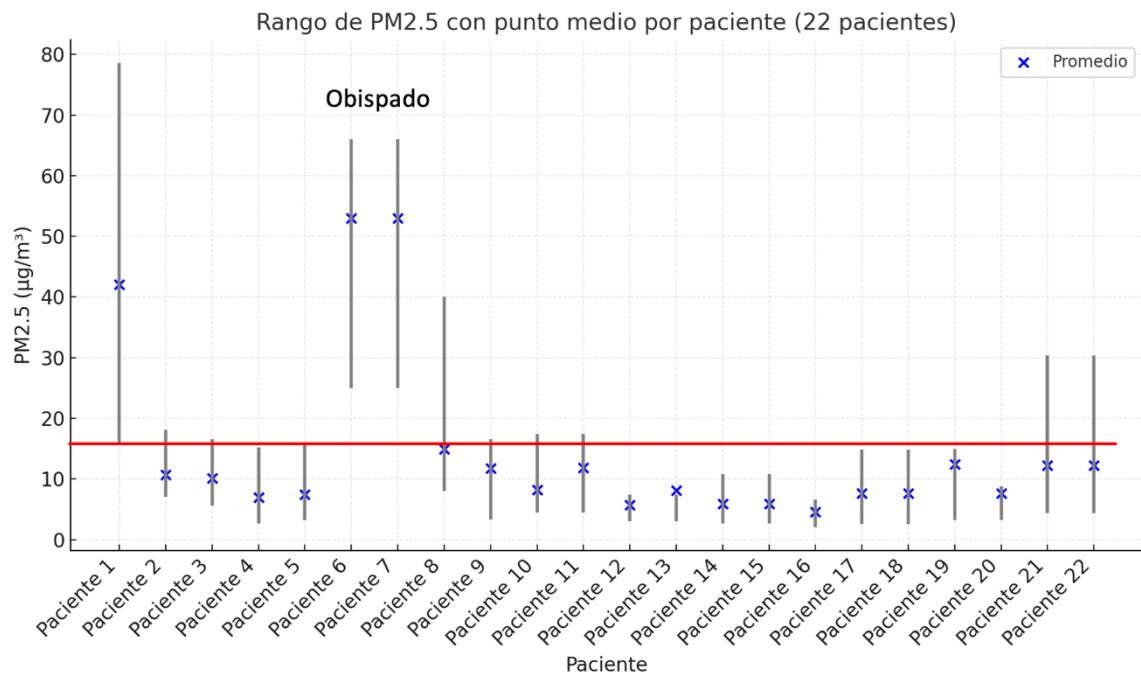
**Figura 4.** Valores finales de RCAT.

### Resultados intramuros

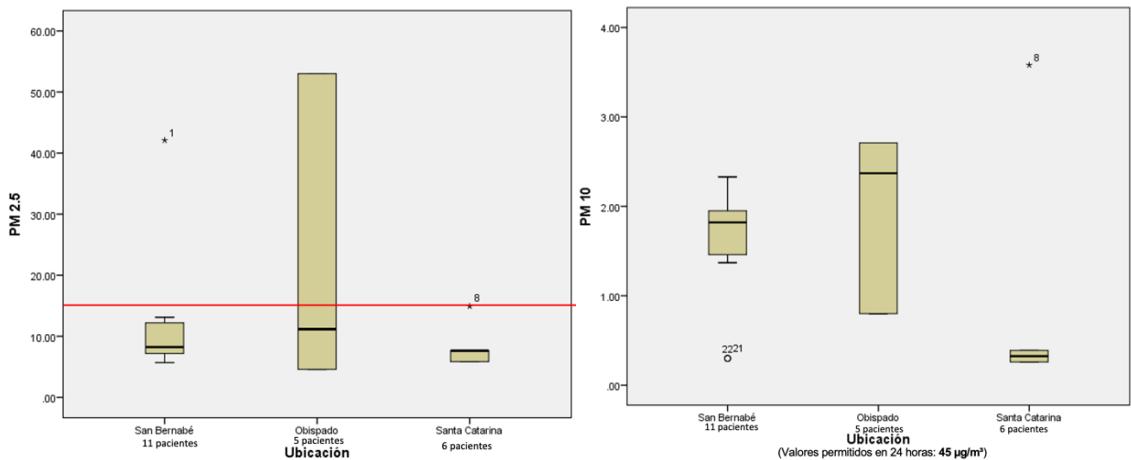
#### Concentraciones intramuros de PM<sub>2.5</sub>

Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> registradas en los hogares mostraron valores entre 4.6 y 53 µg/m<sup>3</sup>, con una media de 14.5 µg/m<sup>3</sup>. Las medianas por zona fueron: Obispado 15.2 µg/m<sup>3</sup>, San Bernabé 13.0 µg/m<sup>3</sup> y Santa Catarina 12.8 µg/m<sup>3</sup>. Ver Figura 5.

Se aplicó la prueba de Kruskal–Wallis para comparar los niveles de PM<sub>2.5</sub> entre las tres zonas de estudio (San Bernabé, Obispado y Santa Catarina). Los resultados mostraron diferencias significativas de manera estadística entre los grupos ( $P < 0.05$ ), donde la zona de Obispado presentó los valores promedio más altos y mayor dispersión de material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>). En contraste, Santa Catarina mostró los valores más bajos y homogéneos. Ver Figura 6.



**Figura 5.** Rango de concentraciones de PM<sub>2.5</sub> para cada paciente. La X representa el promedio individual.

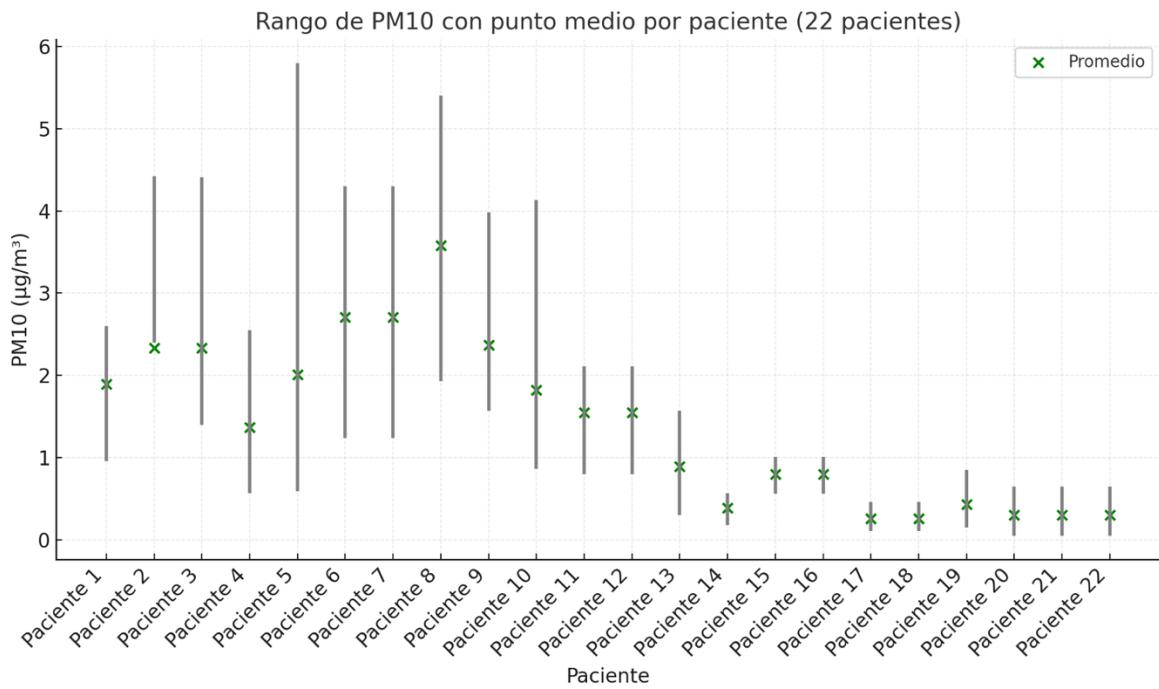


**Figura 6.** Concentraciones intramuros de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para las zonas de San Bernabé, Obispado y Santa Catarina. Los asteriscos indican valores atípicos.

### Concentraciones intramuros de PM<sub>10</sub>

Las concentraciones intramuros promedio de PM<sub>10</sub> fueron de 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor mínimo de 0.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sólo en dos pacientes se alcanzaron niveles cercanos a 3–3.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor máximo registrado de 3.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ver Figura 7. Se observaron valores atípicos en las mediciones de PM<sub>10</sub>, principalmente en la zona de Obispado. Los casos identificados (indicados con números y asteriscos en el gráfico) representan observaciones con concentraciones de partículas diferentes de forma significativa al resto de la muestra. El análisis estadístico se realizó de manera global para toda la muestra, utilizando un único conjunto de datos sin estratificar por zona geográfica. Estos valores se verificaron y se mantuvieron en el análisis, al considerarse parte de la variabilidad ambiental real. No se observaron diferencias significativas entre las áreas geográficas ( $P > 0.05$ ).

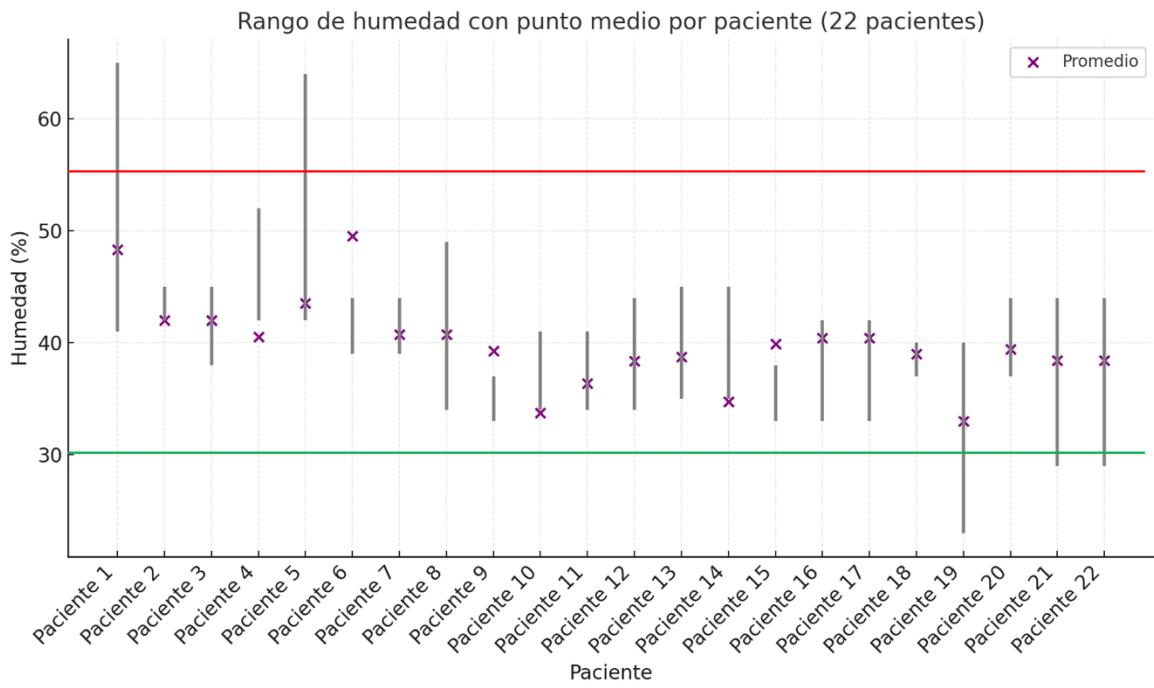
Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis para comparar los niveles promedio de PM<sub>10</sub> entre las tres zonas de estudio (San Bernabé, Obispado y Santa Catarina). Las concentraciones de material particulado grueso (PM<sub>10</sub>) fueron similares entre las zonas, sin evidencia concluyente de variación ambiental significativa. Los resultados mostraron una tendencia a concentraciones más altas en la zona de Obispado, aunque las diferencias no fueron significativas ( $H = [estadístico]$ ,  $P = 0.078$ ). (Valores permitidos en 25 horas: 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ver Figura 6.



**Figura 7.** Rango de concentraciones intramuros de PM<sub>10</sub> por paciente. La X representa el promedio individual.

### Humedad relativa intramuros

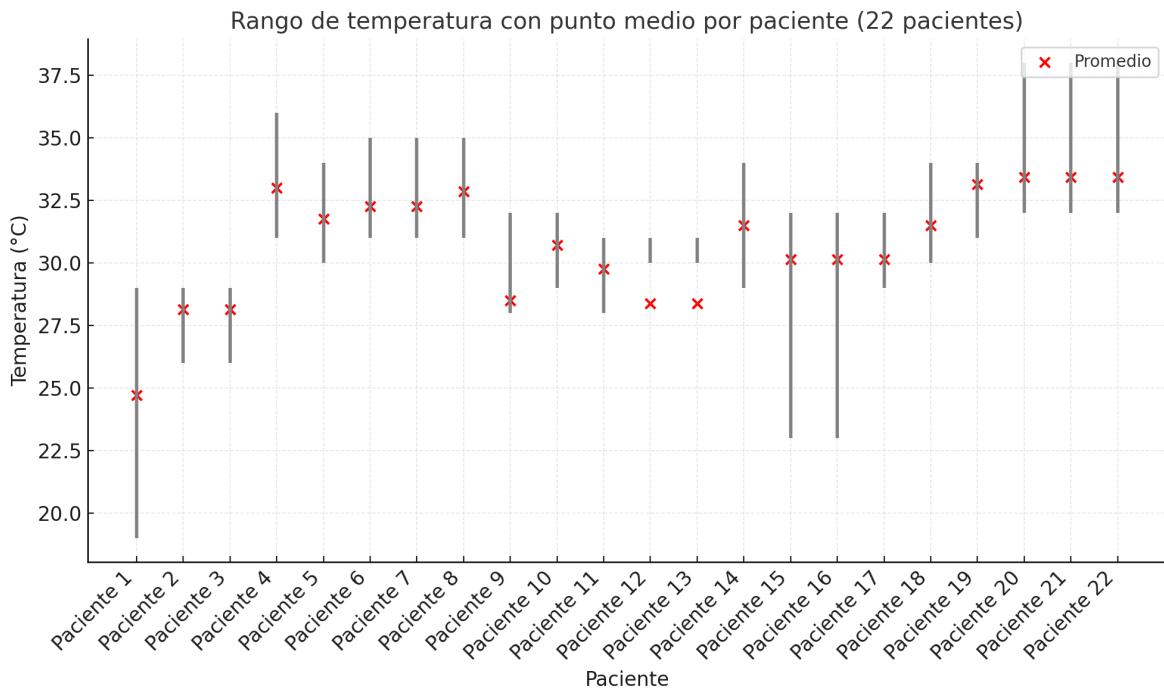
La humedad relativa promedio fue 39.70 % (DE 3.9), con un rango entre 33 % y 50 %. Los valores indican condiciones ambientales secas de forma moderada y estables en general. Se encontraron 19 pacientes con rangos aceptables de humedad relativa intramuros. Ver Figura 8.



**Figura 8.** Rango de humedad relativa intramuros por paciente. (La línea roja representa el límite superior recomendado para condiciones ambientales interiores).

### Temperatura intramuros

La temperatura intramuros promedio fue de  $30.28 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.09 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , con valores mínimos de  $24.71 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y máximos de  $33.43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ver Figura 9



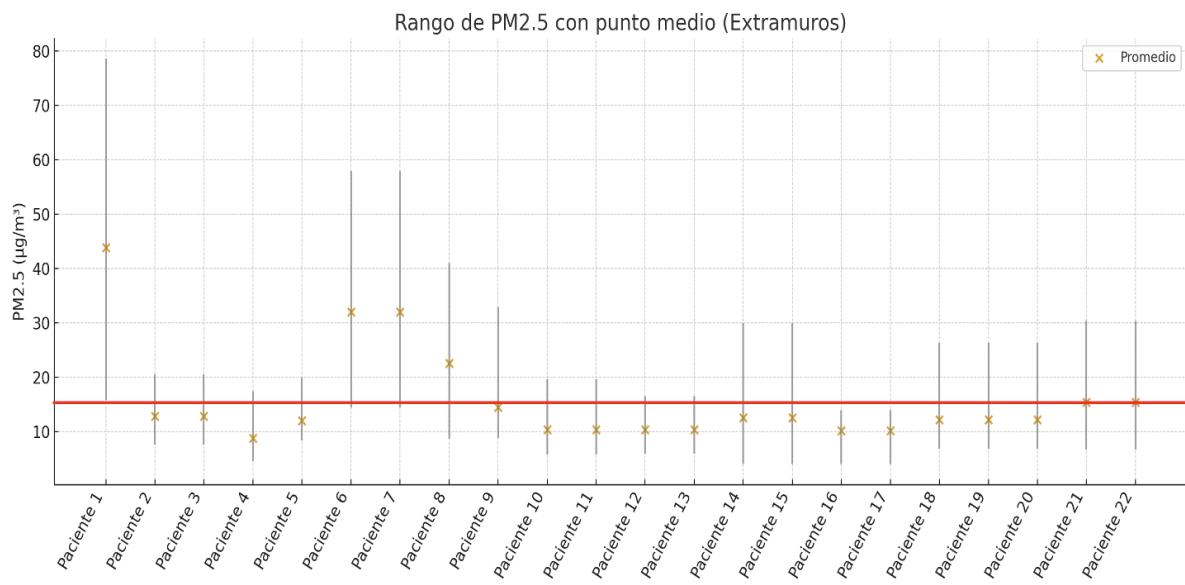
**Figura 9.** Temperatura intramuros. La X representa la temperatura promedio individual.

## Datos extramuros

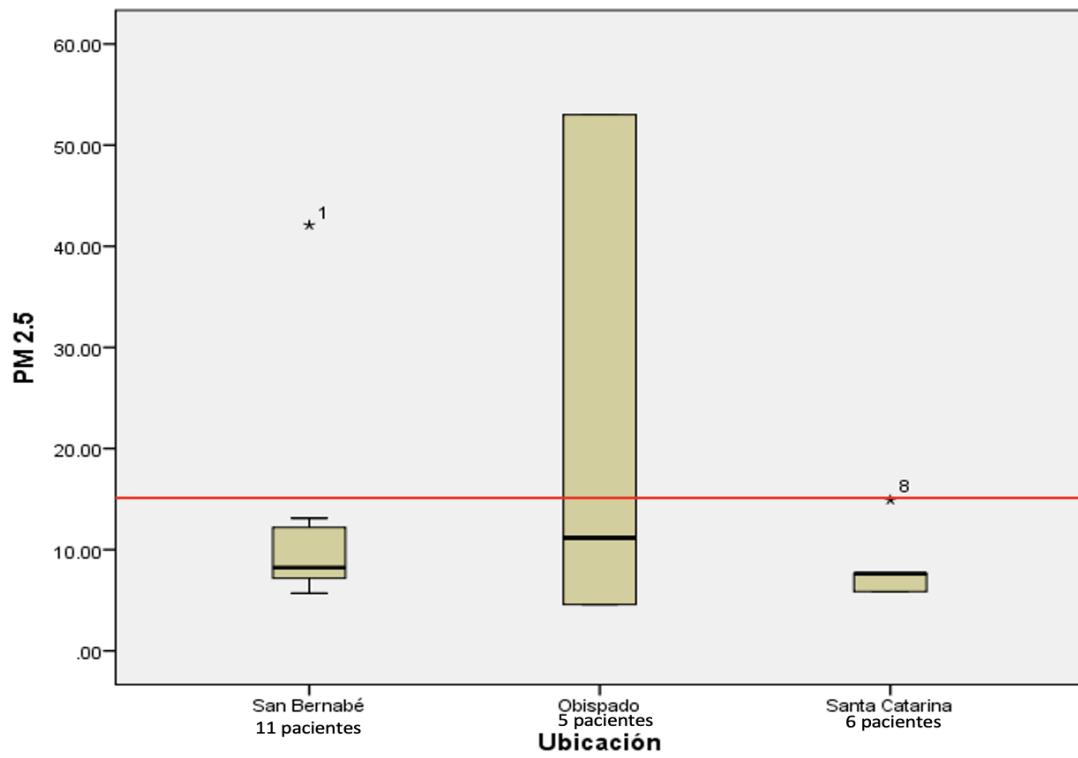
### Concentraciones extramuros de PM<sub>2.5</sub>

Los valores promedio individuales oscilaron entre 8.86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 43.92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio general de  $15.74 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 8.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para 18 (81.8 %) participantes, las concentraciones promedio se mantuvieron por debajo de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para los restantes 4 (18.2 %) se presentaron valores superiores a dicho umbral.

No se identificaron diferencias significativas de manera estadística entre las distintas zonas ( $P = 0.822$ ), lo que indica que la concentración de PM<sub>2.5</sub> extramuros se mantuvo similar en todas las zonas evaluadas. Ver Figura 10 y 11.



**Figura 10.** Concentraciones extramuros de PM<sub>2.5</sub>. Rangos diarios y valores promedio individuales por participante, la línea roja indica el límite recomendado por la OMS.

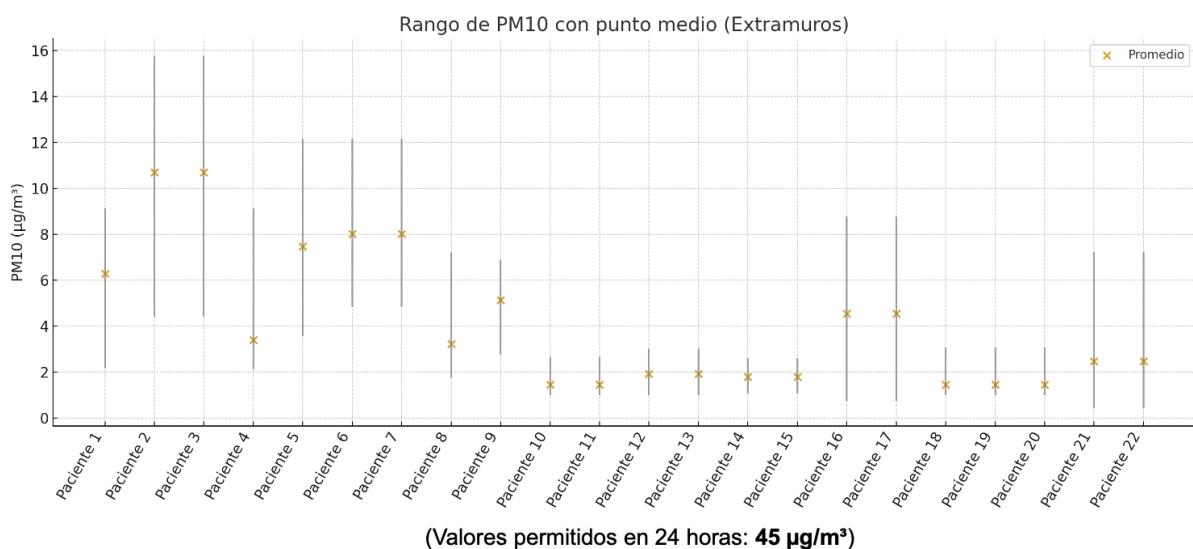


**Figura 11.** Concentraciones extramuros de PM<sub>2.5</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para San Bernabé, Obispado y Santa Catarina.

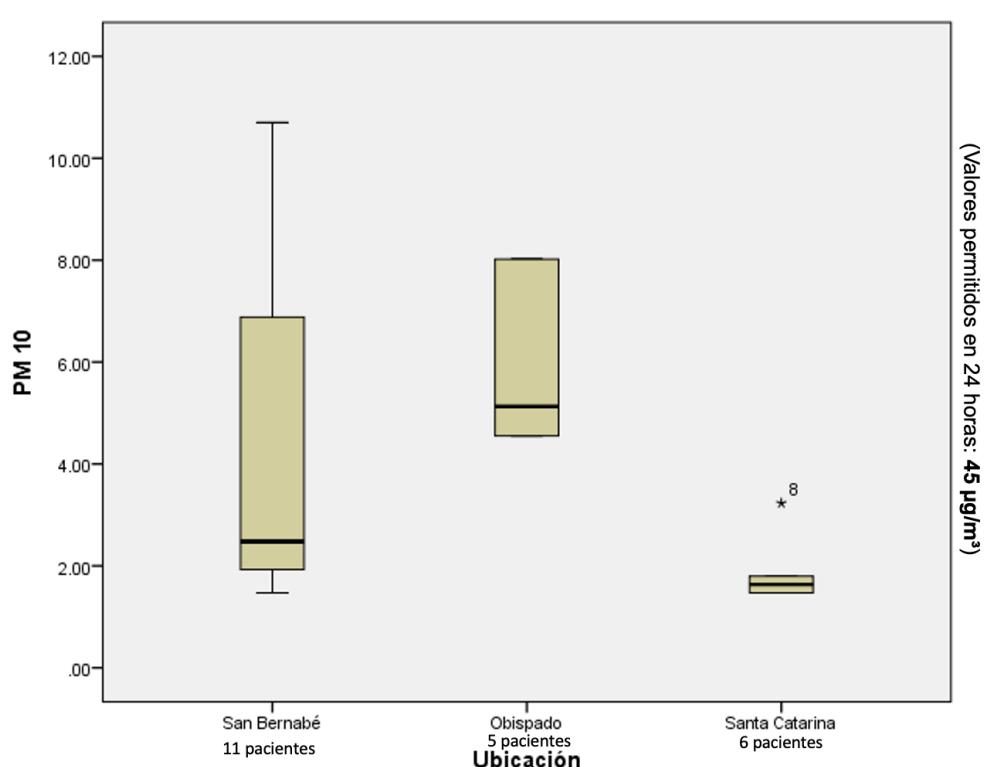
### Concentraciones extramuros de PM<sub>10</sub>

Las concentraciones extramuros de PM<sub>10</sub> mostraron valores promedio individuales que oscilaron entre 1.47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 10.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio general de  $4.17 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para cuatro (18.2 %) pacientes, los promedios se ubicaron entre 2 y 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para 9 (40.1 %) pacientes se registraron valores superiores a 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el resto de los participantes se presentaron concentraciones menores a 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los valores permitidos en 24 horas son 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo que los valores obtenidos indican una exposición ambiental baja y homogénea de forma relativa entre las distintas zonas evaluadas. El análisis inicial mostró un comportamiento homogéneo de manera relativa cuando se observó la distribución global de los valores.

Los resultados mostraron diferencias significativas de manera estadística en los niveles de PM<sub>10</sub> entre las distintas ubicaciones ( $P = 0.015$ ), donde la zona de Obispado tendió a registrar valores más altos de PM<sub>10</sub> en comparación con San Bernabé y Santa Catarina, lo que sugiere un patrón de exposición desigual según la localización geográfica. Ver Figura 12 y 13.



**Figura 12.** Concentraciones extramuros de PM<sub>10</sub>. La figura muestra los rangos diarios y los valores promedio individuales.

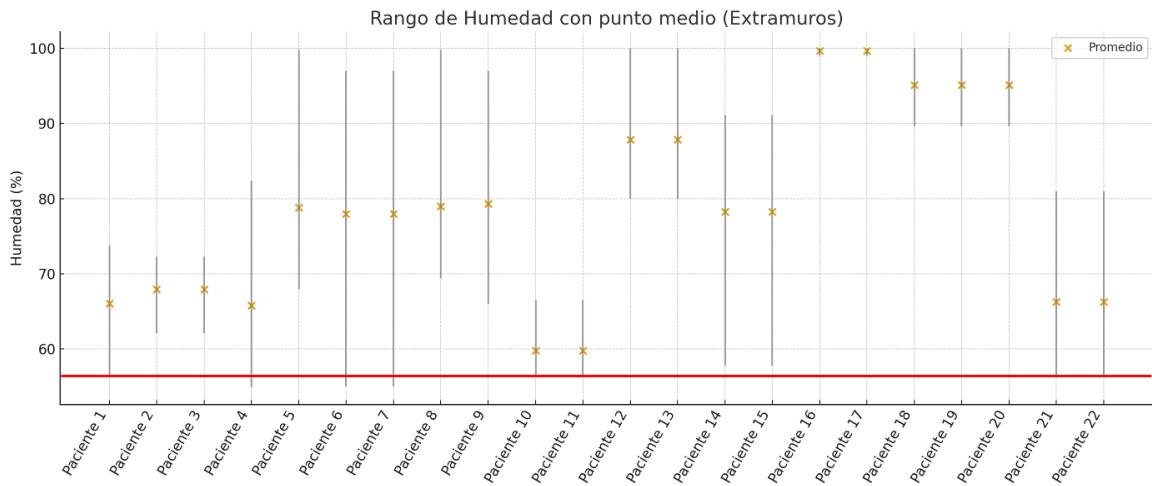


**Figura 13.** Concentraciones extramuros de PM<sub>10</sub> según área geográfica. Se muestran los rangos y valores promedio para San Bernabé, Obispado y Santa Catarina.

#### **Humedad relativa extramuros**

La humedad relativa extramuros mostró valores promedio individuales entre 59.76 % y 99.71 %, con una media de  $78.62 \% \pm 12.82 \%$ . Para 5 participantes, los valores máximos fueron iguales o superiores a 95 %, mientras que para el resto los promedios estuvieron dentro del rango de 59.76 % a 87.88 %.

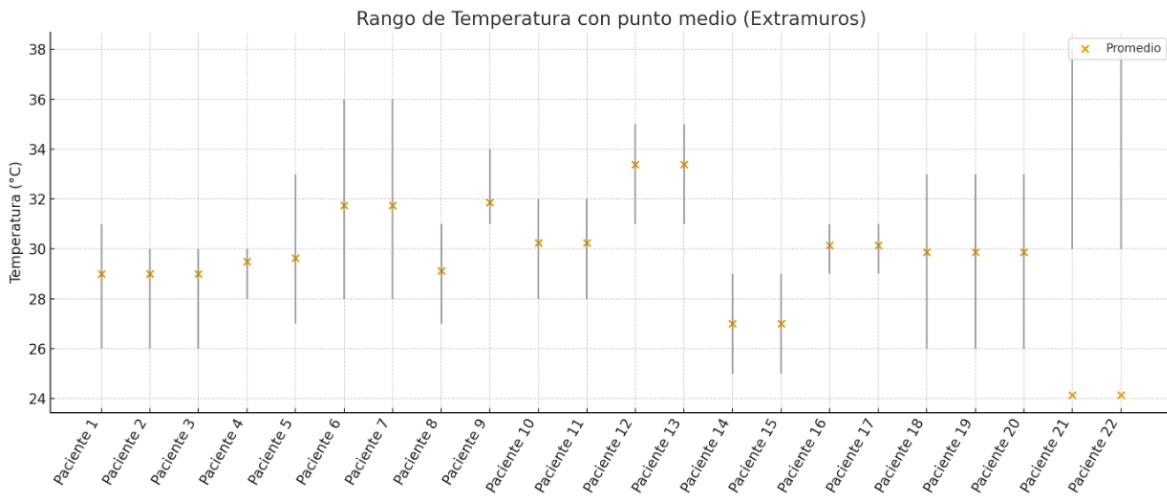
La humedad relativa extramuros mostró un comportamiento elevado de modo consistente (valores permitidos 30 a 55 %). Esto refleja condiciones ambientales húmedas, estables y con rangos amplios propios del clima local. Ver Figura 14.



**Figura 14.** Humedad relativa extramuros. Muestra los rangos diarios y los valores promedio registrados para cada participante.

### Temperatura extramuros

La temperatura extramuros mostró valores promedio individuales entre 24.14 °C y 33.38 °C, con una media de  $29.55 \pm 2.38$  °C. En más de la mitad de los participantes (54.2 %) la temperatura extramuros estuvo entre 29 y 31 °C. Para 5 pacientes se registraron temperaturas mayores de 31 °C, mientras que para dos participantes se presentaron promedios menores de 27 °C (ver Figura 12). En conjunto, los datos indican condiciones cálidas y bastante uniformes, con diferencias mínimas entre las zonas. Ver Figura 15.



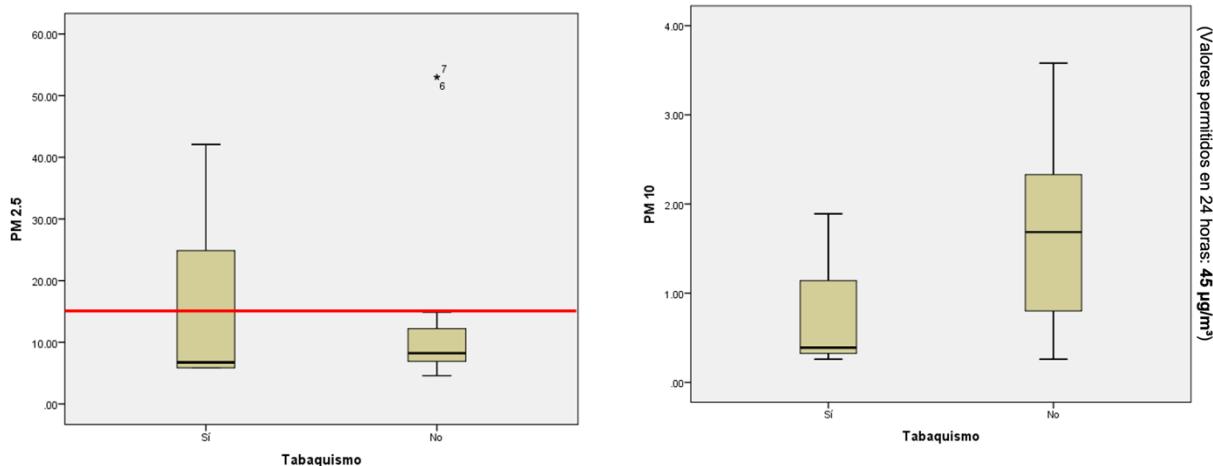
**Figura 15.** Temperatura extramuros. La figura muestra los rangos diarios y los valores promedio individuales para cada participante.

### Análisis de variables ambientales

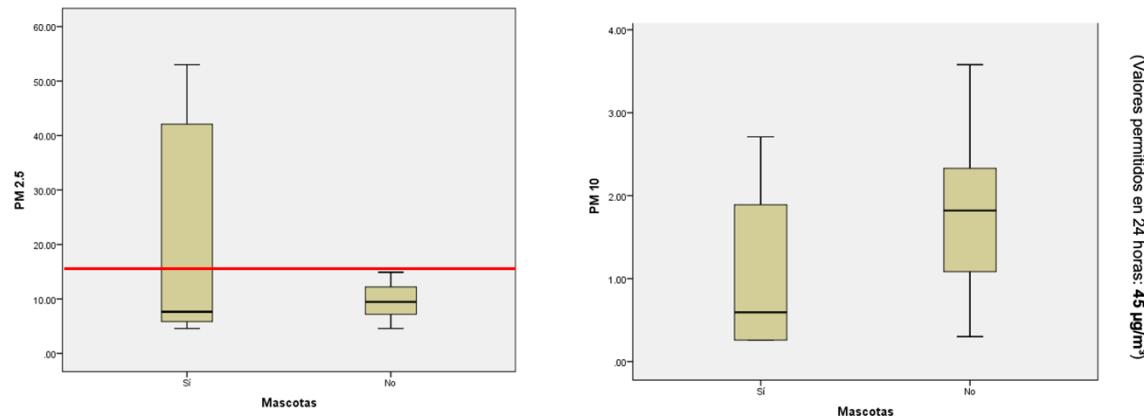
#### Relación de PM intramuros con la presencia de mascotas y tabaquismo

La presencia de mascotas no se asoció con diferencias significativas con respecto a PM<sub>2.5</sub> ni PM<sub>10</sub> ( $P > 0.05$ ). Los rangos promedio fueron superiores de manera ligera en hogares sin mascotas.

De forma similar, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> entre fumadores y no fumadores ( $P > 0.05$ ). Ver figura 15 y 16.



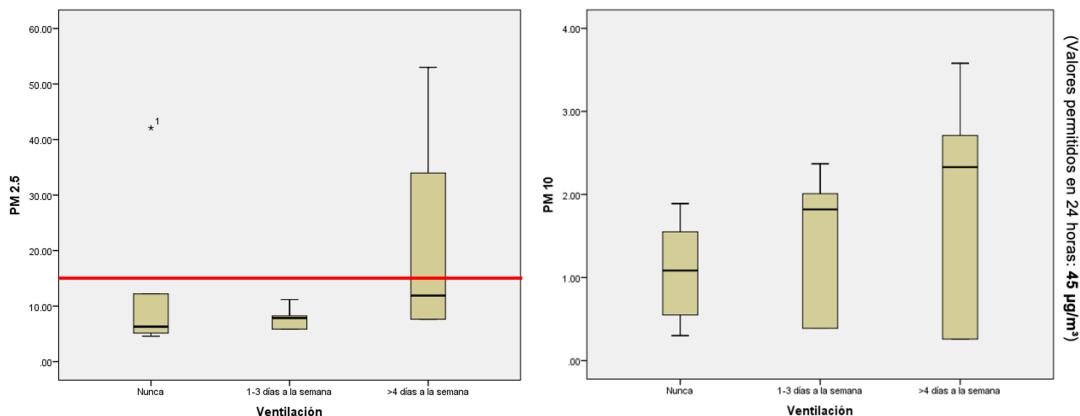
**Figura 16.** Relación de PM intramuros con la presencia de tabaquismo. Concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  según la presencia de tabaquismo. Se muestran las distribuciones individuales para ambos grupos.



**Figura 17.** Relación de PM intramuros con la presencia de mascotas. Concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  (izquierda) y  $PM_{10}$  (derecha) según la presencia de mascotas en el hogar. Se muestran las distribuciones para ambos grupos.

#### Relación de PM intramuros con la rutina de apertura de ventanas

La frecuencia de apertura de ventanas no mostró diferencias significativas de manera estadística en las concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  ni  $PM_{10}$  ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, se observó una tendencia hacia valores promedio mayores de  $PM_{2.5}$  en los hogares que abrían las ventanas más de cuatro días por semana ( $15.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en comparación con aquellos que casi nunca ventilaban ( $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Esta tendencia no alcanzó significancia estadística, pero refleja un patrón consistente de mayores niveles de partículas finas en viviendas con ventilación más frecuente. Ver Figura 18.



**Figura 18.** Relación entre la apertura de ventanas del hogar y las concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ .

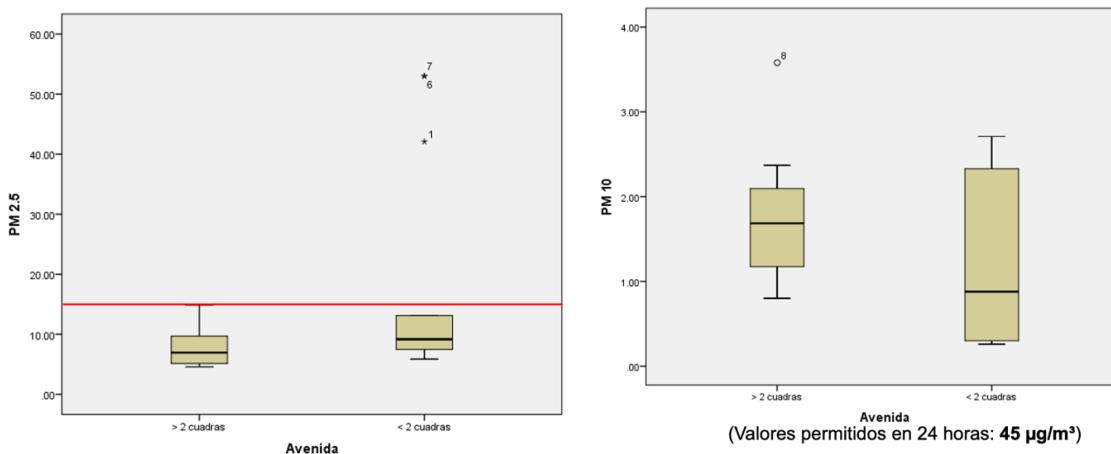
#### Relación de PM intramuros con la cercanía de avenidas

Se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U para comparar las concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  entre las viviendas ubicadas a menos de dos cuadras de una avenida principal ( $N = 14$ ) y aquellas situadas a mayor distancia ( $N = 8$ ). Las viviendas más cercanas presentaron una media de rangos mayor de manera ligera (13.14 vs. 10.36); sin embargo, la diferencia no fue significativa de manera estadística ( $U = 33.0$ ,  $P = 0.115$ ).

De manera similar, las concentraciones intramuros de  $PM_{10}$  no mostraron diferencias significativas entre los grupos ( $U = 40.0$ ,  $P = 0.273$ ), aunque se observó una media de rangos más alta de manera ligera en los hogares más próximos a una avenida (13.50 vs. 10.36).

En conjunto, estos hallazgos indican que la proximidad al tráfico vehicular no influyó de manera significativa en las concentraciones intramuros de material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) ni grueso ( $PM_{10}$ ), si bien se observó una leve tendencia hacia valores mayores en las viviendas más próximas a avenidas principales. Ver Figura 19

(Valores permitidos en 24 horas:  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )



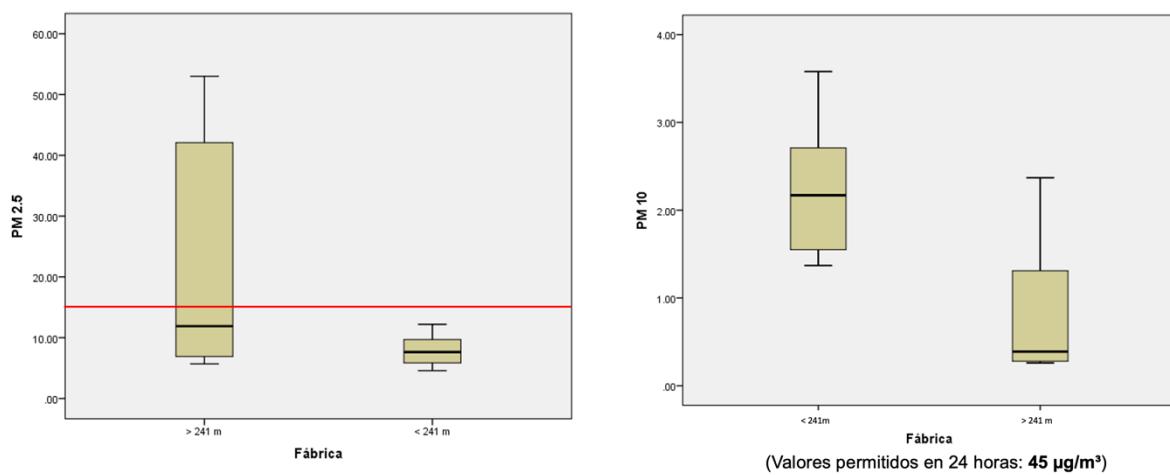
**Figura 19.** Concentraciones intramuros de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según la cercanía a avenidas. Se muestran los rangos y valores promedio para viviendas ubicadas a menos o más de dos cuadras de una avenida principal.

#### Relación de PM intramuros con la cercanía a fábricas

Se aplicó la prueba de Mann–Whitney U para evaluar las concentraciones intramuros de PM<sub>2.5</sub> según la distancia a una fábrica. Para los pacientes que vivían a más de 241 metros de una fábrica (N = 10) se presentaron rangos promedio mayores de manera ligera (media de rangos = 13.6) en comparación con quienes vivían a menor distancia (N = 12; media de rangos = 9.75). Sin embargo, esta diferencia no alcanzó significancia estadística (U = 39.0, P = 0.165).

En contraste, los niveles de PM<sub>10</sub> sí mostraron una diferencia significativa asociada a la distancia a la fábrica (U = 13.0, P = 0.001). Los hogares ubicados a menos de 241 metros registraron valores más elevados (media de rangos = 16.2) en comparación con aquellos ubicados a mayor distancia, diferencia que resultó significativa de manera estadística (U = 13.0, P = 0.001).

Estos hallazgos sugieren que la cercanía física a áreas industriales podría favorecer la infiltración de partículas gruesas (PM<sub>10</sub>) hacia el interior del hogar, mientras que el comportamiento del material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) no mostró una asociación significativa con la distancia a una fábrica. Ver Figura 20.



**Figura 20.** PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según la cercanía a fábricas. La figura muestra las distribuciones para viviendas ubicadas a menos o más de 241 metros.

#### Relación PM intramuros con humedad relativa

Se evaluó la asociación entre la humedad relativa intramuros y las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> mediante el coeficiente de correlación de Spearman. No se encontró una correlación significativa entre humedad y PM<sub>2.5</sub> ( $P = 0.176$ ). En contraste, se observó una correlación positiva débil pero significativa entre humedad y PM<sub>10</sub> ( $P = 0.431$ ;  $P = 0.045$ ), lo que indica que valores más altos de humedad se asociaron con incrementos leves en las concentraciones de PM<sub>10</sub>. Ver Figura 21

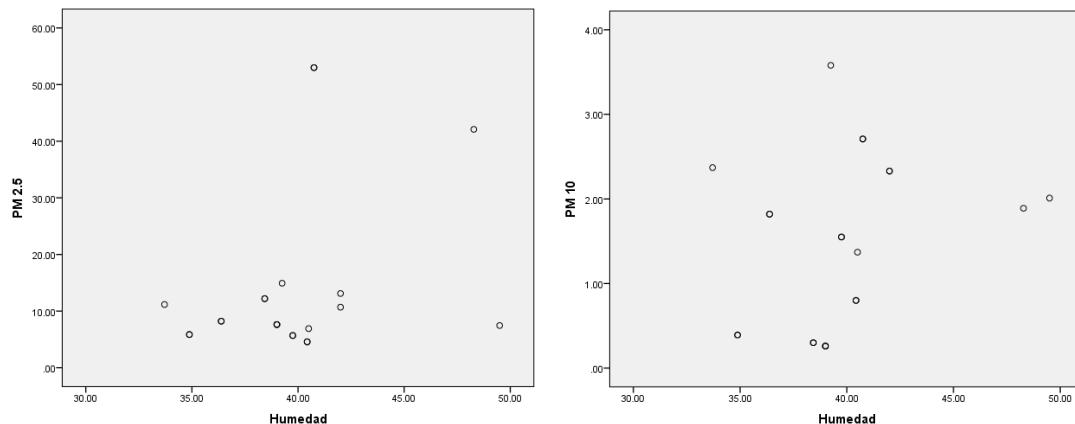


Figura 21. Relación entre humedad relativa intramuros y concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ . Se muestran los valores individuales y su distribución para ambas variables.

### Relación de temperatura intramuros con PM

Se evaluó la asociación entre la temperatura intramuros y las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  mediante el coeficiente de correlación de Spearman. No se encontraron correlaciones significativas de manera estadística para ninguna de las dos fracciones de material particulado ( $PM_{2.5}$ :  $P = 0.03$ ,  $P = 0.910$ ;  $PM_{10}$ :  $P = -0.23$ ,  $P = 0.297$ ). Estas correlaciones fueron débiles, lo que indica que, dentro del rango de temperaturas registradas, la variación térmica no se asoció de manera relevante con los niveles intramuros de  $PM_{2.5}$  ni  $PM_{10}$ . Ver Figura 22.

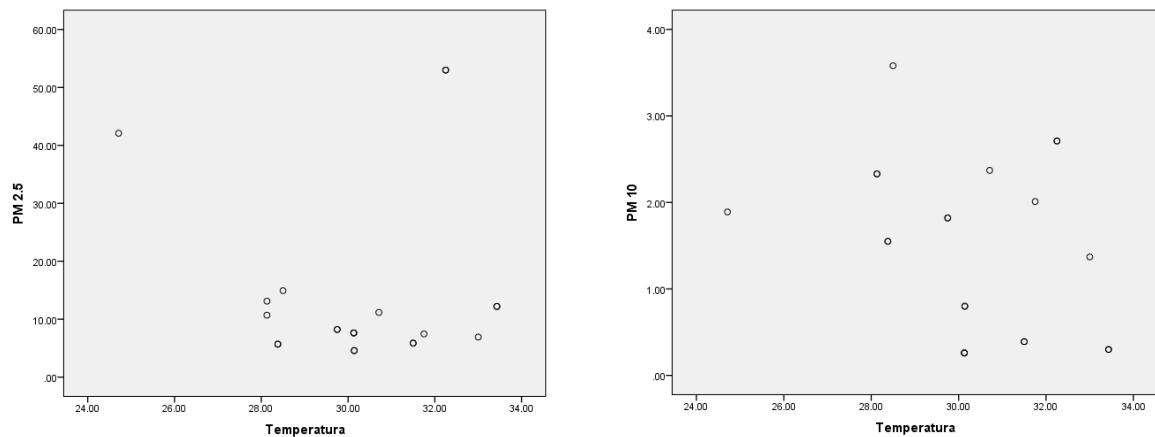
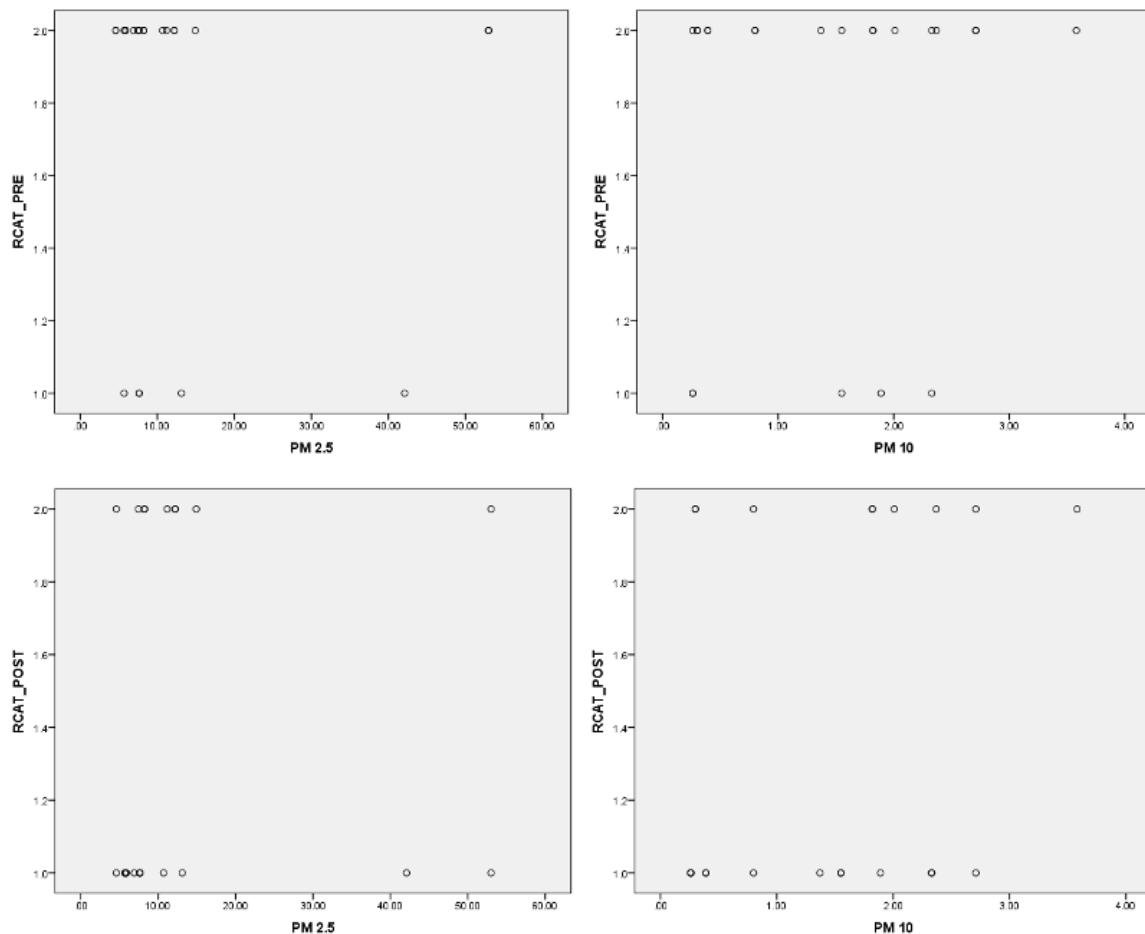


Figura 22. Relación entre temperatura intramuros y concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ . Se representan los valores individuales para ambas variables.

### Relación PM intramuros con RCAT

Se evaluó la asociación entre las concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  y los puntajes del RCAT, tanto en la medición basal como en la final. No se encontraron correlaciones significativas de manera estadística entre las

partículas ambientales y los puntajes del RCAT (P entre  $-0.06$  y  $0.28$ ;  $P > 0.05$ ). Las correlaciones observadas fueron débiles, lo que indica que en esta cohorte, los niveles intramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  no se asociaron de manera directa con el grado de control clínico de la rinitis alérgica. Ver Figura 23.



**Figura 23.** Relación entre concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  y los puntajes del RCAT basal y final. Se muestran los valores individuales para ambas mediciones.

### Cercanía a avenidas principales

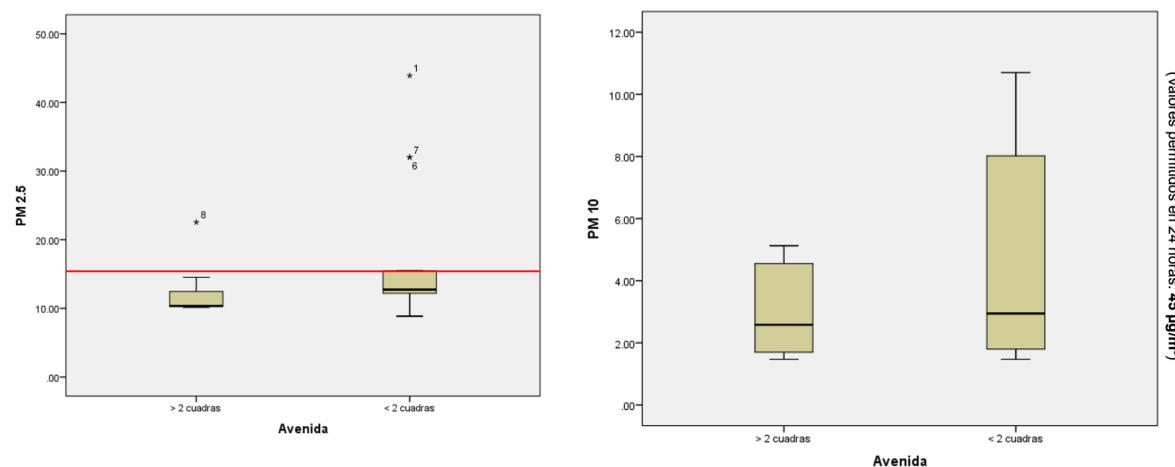
#### $PM_{2.5}$ extramuros según la cercanía a avenidas

Se aplicó la prueba de Mann–Whitney U para comparar las concentraciones extramuros de  $PM_{2.5}$  entre viviendas ubicadas a menos de dos cuadras de una

avenida principal y aquellas a mayor distancia. Se encontró una diferencia significativa entre los grupos ( $P = 0.042$ ), con una media de rangos más alta en las viviendas cercanas a avenidas (14.36), que indica niveles mayores de  $PM_{2.5}$  en este sector. Ver Figura 24.

### **PM<sub>10</sub> extramuros según la cercanía a avenidas**

Se evaluaron las concentraciones extramuros de  $PM_{10}$  mediante la prueba de Mann–Whitney U. No se identificaron diferencias significativas entre las viviendas a menos o más de dos cuadras de una avenida ( $P = 0.441$ ). Las distribuciones de  $PM_{10}$  fueron similares entre ambos grupos, sin variaciones relevantes en los valores registrados. Ver Figura 24.



**Figura 24.** Concentraciones extramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  según cercanía a avenidas. Se muestran los rangos y valores promedio entre viviendas a menos y más de dos cuadras.

### **Cercanía a fábricas**

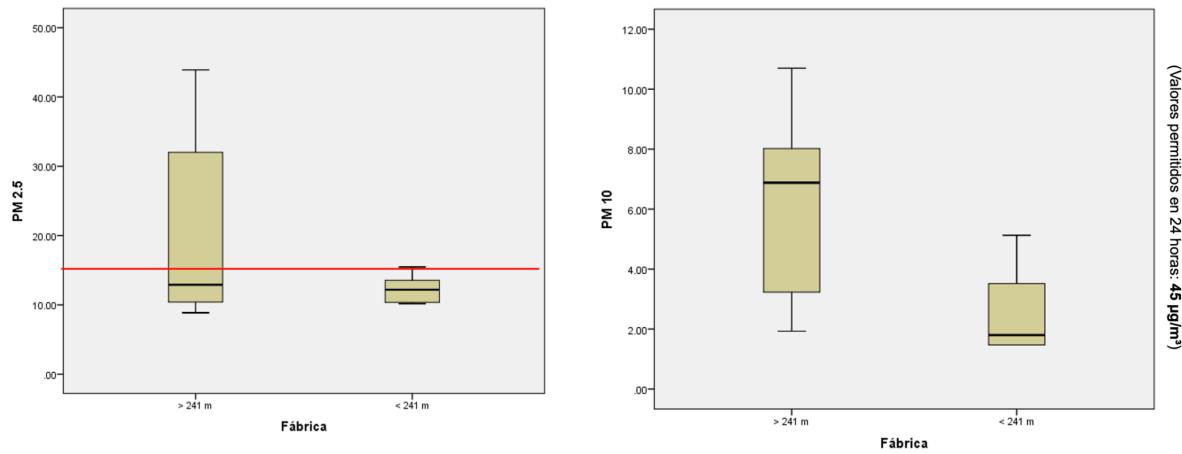
#### **PM<sub>2.5</sub> extramuros según la cercanía a fábricas**

Se aplicó la prueba de Mann–Whitney U para comparar las concentraciones extramuros de  $PM_{2.5}$  entre los participantes que residían a menos de 241 metros de una fábrica y aquellos que vivían a mayor distancia. No se encontraron

diferencias significativas de manera estadística entre los grupos ( $P = 0.254$ ). Aunque las medias de rangos fueron mayores de forma ligera en los domicilios ubicados a mayor distancia, esta variación no alcanzó significancia estadística. Ver Figura 25.

### **PM<sub>10</sub> extramuros según la cercanía a fábricas**

Para PM<sub>10</sub>, la prueba de Mann–Whitney U mostró diferencias significativas para PM<sub>10</sub> ( $P = 0.003$ ). En el grupo que vivía a una distancia mayor de 241 metros se presentó una media de rangos de 16, lo que indica que sus valores de PM<sub>10</sub> fueron más elevados, mientras que aquellos que vivían a menos de 241 metros las concentraciones fueron menores de manera consistente. Lo que muestra que a mayor distancia se presentan valores más elevados para PM<sub>10</sub> y con mayor dispersión. Ver Figura 25.

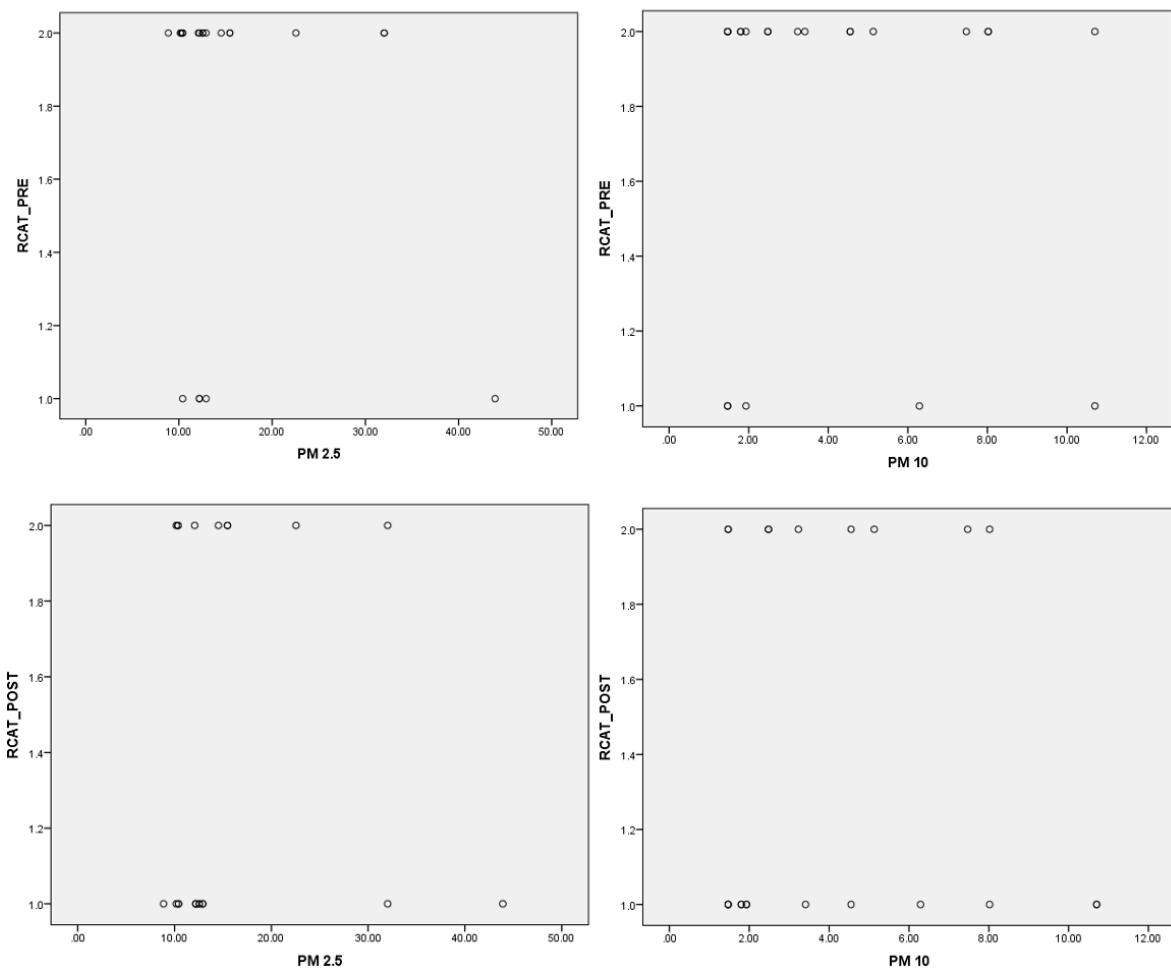


**Figura 25.** Concentraciones extramuros de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según cercanía a fábricas. Se muestran los rangos y valores promedio para viviendas ubicadas a menos o más de 241 metros.

### **Relación entre PM extramuros y control de rinitis alérgica (RCAT)**

Se aplicó la prueba de Mann–Whitney U para evaluar la relación entre las concentraciones extramuros de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> y los puntajes del RCAT en su medición basal y final. No se identificaron diferencias significativas de manera

estadística entre los niveles de  $PM_{2.5}$  y los valores basal ( $P = 0.704$ ) ni final ( $P = 0.695$ ) de RCAT. De manera similar, las concentraciones de  $PM_{10}$  no mostraron diferencias significativas al compararse con los puntajes basal ( $P = 0.762$ ) ni final ( $P = 0.845$ ) de RCAT. En conjunto, estos resultados indican que, en esta cohorte, los niveles extramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  no se asociaron con el grado de control clínico de la rinitis alérgica. Ver Figura 26.

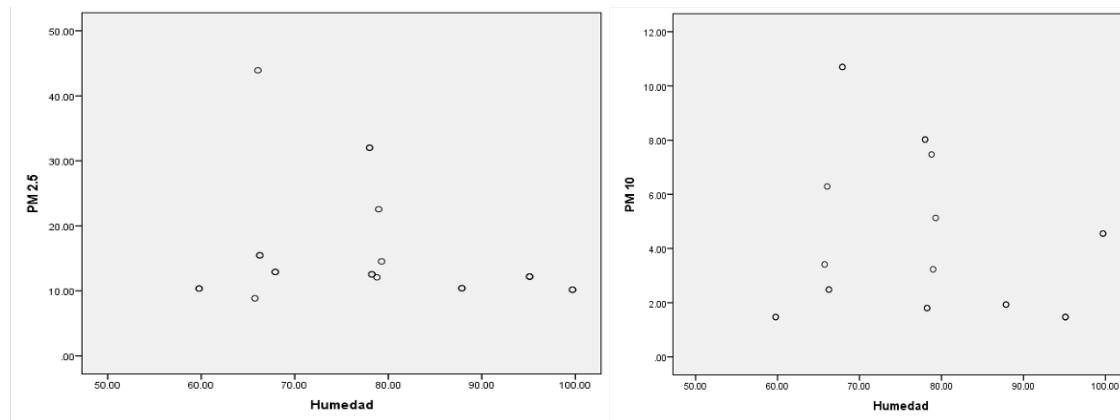


**Figura 26.** Relación entre concentraciones extramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  y los puntajes del RCAT basal y final. Se muestran los valores individuales para ambas mediciones.

#### Relación de PM y humedad extramuros

No se encontraron correlaciones significativas de manera estadística entre la humedad relativa y las concentraciones de  $PM_{2.5}$  o  $PM_{10}$  en el entorno extramuros ( $PM_{2.5}$ :  $P = -0.216$ ,  $P = 0.334$ ;  $PM_{10}$ :  $P = -0.212$ ,  $P = 0.344$ ).

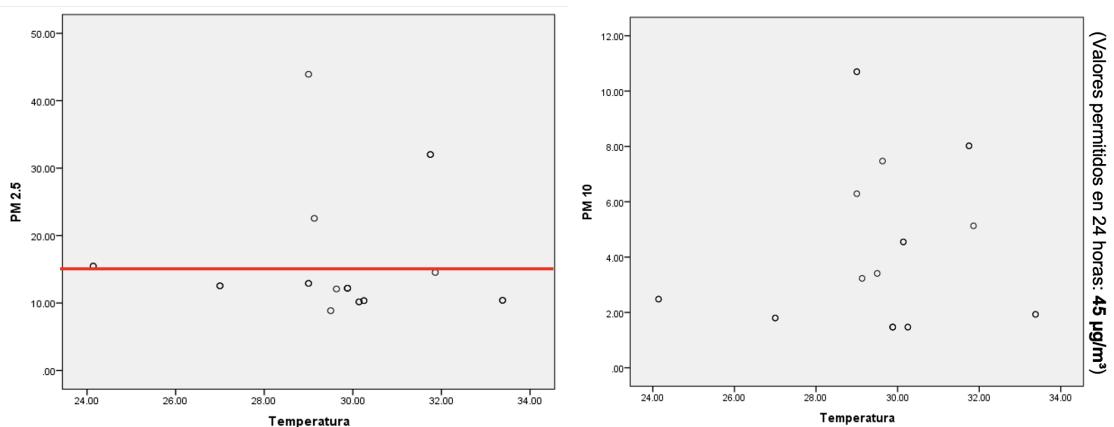
Las correlaciones fueron débiles y sin significancia estadística, lo cual indica que incluso con los valores elevados de humedad registrados extramuros (entre 7 y 100 % en algunos de los casos), no se observaron cambios consistentes en las concentraciones de PM. Ver Figura 27.



**Figura 27.** Relación entre humedad relativa extramuros y  $PM_{2.5}$  /  $PM_{10}$ .

#### Relación PM y temperatura extramuros

La temperatura ambiental exterior no mostró asociación significativa con las concentraciones de  $PM_{2.5}$  ni  $PM_{10}$ . El análisis mediante el coeficiente de Spearman evidenció correlaciones débiles y negativas tanto para  $PM_{2.5}$  ( $P = -0.322$ ;  $P = 0.143$ ) como para  $PM_{10}$  ( $P = -0.051$ ;  $P = 0.820$ ). Estos resultados indican que, dentro del rango térmico registrado durante el estudio, las variaciones de temperatura no se relacionaron de manera relevante con los niveles extramuros de material particulado. Ver Figura 28.



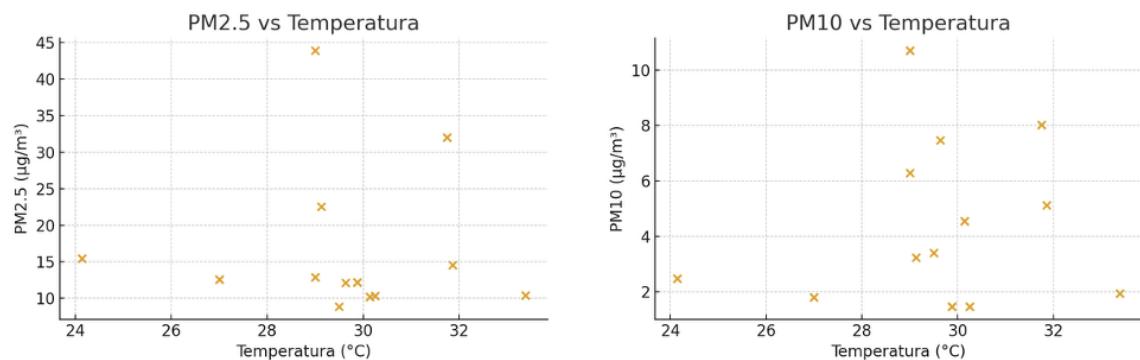
**Figura 28.** Relación entre temperatura extramuros y PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub>.

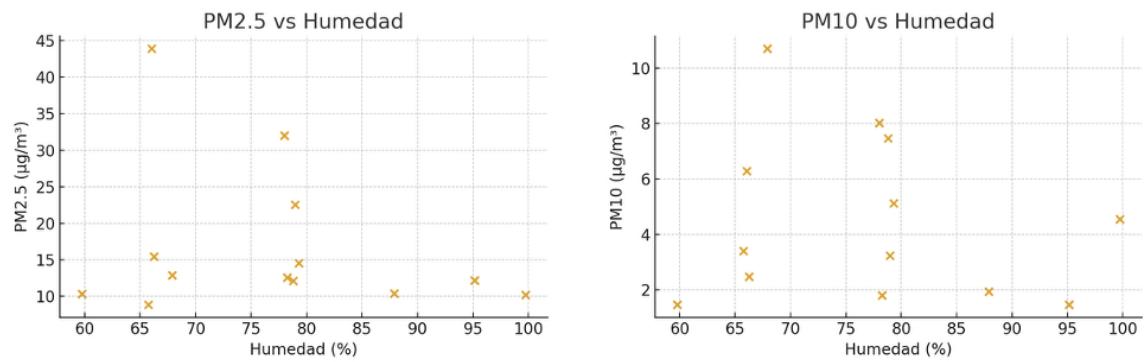
### Relación entre PM extramuros, temperatura y humedad

Los resultados indican que no se observaron correlaciones significativas de manera estadística entre la humedad relativa, la temperatura ambiental y las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> o PM<sub>10</sub> ( $P > 0.05$ ).

La humedad relativa mostró correlaciones negativas débiles tanto con PM<sub>2.5</sub> ( $P = -0.245$ ,  $P = 0.271$ ) como con PM<sub>10</sub> ( $P = -0.135$ ,  $P = 0.548$ ), lo que sugiere que las variaciones de humedad no se asociaron de manera consistente con cambios en los niveles de partículas en el entorno extramuros.

La temperatura ambiental tampoco presentó una asociación significativa con PM<sub>2.5</sub> ( $P = -0.322$ ,  $P = 0.143$ ) ni con PM<sub>10</sub> ( $P = -0.051$ ,  $P = 0.820$ ). Esto indica que, dentro del rango térmico registrado, la temperatura no influyó de forma relevante en la dispersión o acumulación del material particulado. Ver Figura 29.





**Figura 29.** Relación entre PM extramuros, temperatura y humedad. Distribución de las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  en función de la temperatura y la humedad relativa extramuros.

## VII. DISCUSIÓN

### Interpretación de hallazgos

Los resultados del estudio muestran la exposición intra y extramuros de PM en pacientes con RA que residen en la ZMM. Los hallazgos obtenidos muestran la complejidad de las condiciones ambientales de la región, así como la variabilidad individual de los niveles de exposición lo que aporta información relevante sobre cómo estos factores se relacionan con el control clínico de la enfermedad.

### Exposición intramuros

La media general ( $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se acerca al límite recomendado por la OMS, y algunos pacientes superan ampliamente ese umbral, lo que indica mayor exposición ambiental en ciertas zonas.

Las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  intramuros muestran valores promedios cerca de los límites recomendados por la OMS para exposición de 24 horas ( $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (9), varios de los participantes presentaron picos superiores a dicho umbral. Este comportamiento, confirma que aun dentro del hogar, los pacientes estuvieron expuestos a niveles perjudiciales de manera potencial. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han demostrado la facilidad con la que el  $\text{PM}_{2.5}$  puede penetrar al interior de las viviendas gracias a su tamaño, aerodinámica, alta estabilidad y su capacidad de infiltración (23).

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre las áreas geográficas, la zona de Obispado mostró una tendencia a rangos más amplio y valores más elevados, lo cual es coherente con reportes que describen que en esta área como una zona con alta densidad vehicular, además de zonas en remodelación urbana, y características topográficas que pueden favorecer la retención de contaminantes(22).

Se encontró que en los hogares que ventilaban con mayor frecuencia presentaron niveles más altos de  $\text{PM}_{2.5}$  intramuros. Este fenómeno se ha descrito en otras ciudades con mala calidad del aire donde la ventilación pasiva incrementa la infiltración de material particulado fino, proveniente del entorno exterior (24).

### **Exposición intramuros a PM<sub>10</sub>**

Los niveles promedio de PM10 fueron bajos (Valores permitidos en 24 horas: 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $\approx 1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y con poca variabilidad entre pacientes. Solo uno alcanzo 1 paciente alcanzo el valor mas alto de 3.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , indicando baja exposición y diferencias mínimas por localización.

En contraste con el PM<sub>2.5</sub>, las concentraciones de PM se mantuvieron bajas y estables lo que explica por el tamaño mayor de la misma, que favorece su sedimentación en ambientes interiores (25). No obstante, la proximidad a zonas industriales sí mostró un efecto en los niveles de PM<sub>10</sub> siendo más elevados en quienes vivían más cerca de fábricas. Este comportamiento es congruente con hallazgos en otras regiones, por las emisiones de origen mecánico o industrial que se asocia con aumentos de partículas gruesas en el ambiente (26).

Este hallazgo es relevante porque rompe la expectativa habitual de que la cercanía física implica mayor exposición. En este estudio, el grupo más cercano mostró valores más bajos de manera consistente, mientras que en el grupo de mayor radio de 241 metros, presenta variaciones más amplias y varios picos elevados. Esto podría explicarse por fenómenos de dispersión atmosférica, patrones en las corrientes de aire, configuraciones urbanas que favorecen la acumulación de partículas en zonas específicas que tienden acumularse de manera independiente de la distancia a la fuente.

### **Exposición extramuros a PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub>**

Las mediciones de extramuros mostraron que el PM<sub>2.5</sub> se comportó de manera homogénea de manera relativa entre las áreas analizadas, lo cual sugiere una dispersión amplia, característica documentada para contaminantes finos en áreas metropolitanas urbanizadas de manera densa (27). Los niveles de PM<sub>2.5</sub> en general superaron el límite recomendado por la OMS para exposición crónica. En contraste, el PM<sub>10</sub> presentó diferencias geográficas claras, con valores más elevados en las zonas de Obispado y San Bernabé. Esto indica que las partículas gruesas están más influenciadas por fuentes locales, como tránsito vehicular pesado, dispersión de polvo, remodelación urbana o actividad industrial.

### **Relación entre PM y control clínico (RCAT)**

No se identificó una correlación significativa entre las concentraciones intra o extramuros de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con los puntajes del RCAT. La RA presenta una fisiopatología modulada por múltiples factores como son: exposición a alérgenos, estado inflamatorio basal, variaciones en temperatura y humedad, y adherencia al tratamiento, por lo que la sintomatología puede no depender de manera lineal de los niveles ambientales de PM(2). Además, el RCAT evalúa control clínico global, pero puede no ser sensible de forma suficiente para capturar algunas fluctuaciones subclínicas asociadas a exposiciones de corta duración. Además, la literatura señala que en la RA intervienen mecanismos neuroinmunológicos que pueden modular la percepción de los síntomas de manera independiente a los estímulos ambientales (17).

Lo que indica que, los niveles de exposición de PM no se tradujeron en cambios climáticos clínicos detectables mediante el RCAT, lo cual es consistente con la naturaleza multifactorial del control de la RA y con la sensibilidad limitada de una escala global para los efectos de corta duración o baja magnitud.

### **Variables ambientales: temperatura y humedad**

La humedad relativa mostró una correlación positiva significativa con el  $PM_{10}$  intramuros, lo cual sugiere que ambientes húmedos pueden favorecer la suspensión y el comportamiento higroscópico de partículas más grandes. Como se ha descrito de manera previa, el material particulado posee la capacidad de absorber humedad y modificar su dinámica aeroespacial, aumentando su tamaño y masa de agua, lo que favorece su permanencia en suspensión y reduce su dispersión (28). En este mismo contexto, estudios previos han demostrado que humedades muy bajas (<50 %) pueden incrementar el PM debido a la resuspensión del polvo y a la falta de deposición gravitacional (31). Por lo contrario, una humedad cercana a 50 % ejerce un efecto limitado favoreciendo de manera principal la sedimentación de partículas gruesas ( $PM_{10}$ ); pero poca afluencia sobre las PM25.

En este estudio, la humedad relativa intramuros mostró una correlación positiva débil pero significativa de manera única con  $PM_{10}$ , mientras que no se observó una asociación significativa con  $PM_{2.5}$  ( $P = 0.176$ ). Esto sugiere que, en ambientes interiores, la fracción gruesa del material particulado puede permanecer suspendida por mayor tiempo en condiciones más húmedas, debido a su comportamiento higroscópico.

La literatura describe que cuando la humedad relativa supera valores elevados ( $>70\%$ ), tanto  $PM_{2.5}$  como  $PM_{10}$  incrementan su higroscopidad, absorben agua y modifican su dinámica aeroespacial, lo que puede favorecer su sedimentación o, en ciertos escenarios, su permanencia temporal en suspensión (31,32). Sin embargo, este comportamiento reportado en estudios previos no se reprodujo en nuestra cohorte, de manera probable porque los niveles de humedad intramuros registrados se mantuvieron dentro de rangos moderados (33–50 %), por debajo de los umbrales críticos descritos en dichas investigaciones.

Por lo tanto, aunque existe evidencia teórica y experimental que explica la influencia de la humedad sobre partículas finas y gruesas, en nuestro estudio este efecto solo fue observable en la fracción  $PM_{10}$ .

Por el contrario, la temperatura no presentó asociación significativa con  $PM_{2.5}$  ni  $PM_{10}$ , lo cual es congruente con antecedentes en regiones áridas o semiáridas donde los cambios térmicos no influyen de manera sustancial en la concentración de partículas en suspensión. No obstante, se ha documentado que a medida que la temperatura desciende las concentraciones de PM tienden a incrementarse, debido a varios mecanismos como es la inversión térmica, mayor combustión doméstica y condensación de compuestos volátiles, que favorece la formación de partículas secundarias (31). De este mismo patrón puede favorecer aumentos intramuros en períodos fríos o secos, de manera especial en viviendas cerradas, poca ventilación o con fuentes de combustión adyacente.

Los hallazgos en este estudio muestran patrones consistentes con la literatura internacional sobre exposición a PM y su relación con enfermedades respiratorias de origen alérgico. En primer lugar, la observación de niveles intramuros de  $PM_{2.5}$  cercanos o superiores al límite recomendado por la OMS coincide con reportes

que señalan que la contaminación exterior puede infiltrarse con facilidad al interior de los hogares, aun cuando se utilicen prácticas convencionales de ventilación. En un análisis global publicado por la OMS en 2021 (9), menciona que el PM<sub>2.5</sub> es capaz de atravesar estructuras arquitectónicas, ventanas y pequeñas filtraciones debido a su diámetro aerodinámico, fenómeno consistente con lo encontrado en esta cohorte. En otros estudios realizados en poblaciones urbanas han documentado que la calidad del aire interior depende de manera fuerte en la carga ambiental extramuros. Un estudio publicado en Environmental Health Perspectives demostró que las variaciones del PM<sub>2.5</sub> exterior se reflejan de manera directa en las mediciones intramuros, incluso en viviendas con ventilación limitada (16), lo que coincide con el comportamiento observado en domicilios donde la ventilación frecuente se asoció con mayores valores intramuros de PM<sub>2.5</sub>.

En cuanto a PM<sub>10</sub>, los resultados de este estudio indican un mayor impacto de fuentes locales de manera particular en zonas industriales. Esta observación es congruente con hallazgos, donde reportan que el PM<sub>10</sub> presenta una mayor variabilidad espacial y depende en gran medida de emisiones mecánicas o actividades industriales específicas (15).

Pero la ausencia de correlación entre las concentraciones de PM y el puntaje del RCAT coincide con estudios publicados en Allergy y JACI, donde describe el impacto clínico del PM sobre la RA puede ser variar por factores individuales, variaciones en sensibilización a alérgenos, y características inflamatorias basales. Un estudio encontró que la exposición a PM<sub>2.5</sub> exacerba biomarcadores inflamatorios incluso cuando los síntomas reportados por los pacientes no reflejan un deterioro clínico inmediato (12). Esto podría explicar porque la exposición en esta cohorte no se traduce de manera directa en cambios perceptibles en el RCAT.

Por último la variabilidad geográfica encontrada entre Obispado, San Bernabé y Santa Catarina concuerda con estudios de la World Allergy Organization Journal, donde se documenta que las zonas urbanas pequeñas pueden exhibir diferencias

significativas en niveles de PM debido a tráfico, altitud, circulación del viento y actividad urbana circundante (18).

### **Integración con los resultados del estudio**

Al analizar los mecanismos juntos con los resultados de investigación, es posible comprender por qué los niveles de PM no siempre se correlacionan de forma directa con el puntaje del RCAT. En primer lugar los cambios en el epitelio pueden ser subclínicos por lo que no generan síntomas perceptibles en el corto plazo. Además el RCAT evalúa el control clínico general, sin detectar microalteraciones o daño epitelial temprano, por lo que pequeñas variaciones inflamatorias por el PM pueden no reflejarse de manera directa en la puntuación (29). Los efectos del PM<sub>2.5</sub> pueden ser acumulativos, de modo que la repercusión clínica puede manifestarse en etapas tardías o antes de exposiciones repetidas. Por otra parte, el PM<sub>10</sub> por su tamaño tiene menos capacidad de penetración y de interacción directa con la barrera epitelial, por lo que su impacto en la fisiopatología es más limitado en comparación con el PM<sub>2.5</sub>. Por último el epitelio nasal responde de manera regulada, como se describe, lo que permite un grado de compensación antes de que aparezca sintomatología clara, lo que puede a tener ausencia de una relación lineal entre la concentración de PM y el puntaje del RCAT (17,12). De manera adicional es probable que la forma de medir la exposición pudo contribuir a esta falta de correlación. En este estudio, los dispositivos se situaron en una habitación específica del domicilio, mientras que los pacientes distribuyen su tiempo entre distintos microambientes (otras habitaciones, exteriores, trayectos en transporte, escuela o trabajo). Estudios recientes de exposición personal con monitores portátiles han demostrado que los niveles reales de PM<sub>2.5</sub> a los que se expone una persona pueden diferir de manera importante de los valores medidos en un solo punto fijo de la vivienda o en estaciones ambientales, debido a los patrones de tiempo, actividad y a la variabilidad entre microambientes (30). Esta posible “clasificación errónea” de la exposición atenúa la fuerza de las asociaciones con desenlaces clínicos. Otro aspecto a considerar es el uso de tratamiento controlador y modificador de la enfermedad. El RCAT es

sensible a cambios clínicos de manera relevante, pero en pacientes en seguimiento especializado y con buena adherencia, la medicación antiinflamatoria puede amortiguar el impacto sintomático de exposiciones agudas a PM, enmascarando de manera parcial la relación exposición síntoma (29). En conjunto, estos elementos de daño epitelial subclínico, efecto acumulativo, menor relevancia fisiopatológica del PM<sub>10</sub>, regulación epitelial, posible subestimación de la exposición real y el efecto modulador del tratamiento, ayudan a explicar por qué el PM<sub>2.5</sub> es reconocido en la literatura como el contaminante de mayor relevancia clínica para enfermedades alérgicas, aun cuando su impacto no siempre se traduzca en cambios inmediatos en escalas de control como el RCAT.

### **Fortalezas**

Estandarización de la ubicación que fue colocado de manera uniforme en todos los domicilios, a una altura controlada de 1 metro desde el nivel del suelo, en la habitación del paciente, reduciendo la variabilidad en microambientes interiores. Monitoreo continuo en tiempo real durante un periodo completo de 7 días, obteniendo un perfil ambiental representativo y más puntual.

Uso de doble fuente de datos: intramuros y extramuros que permitió comparar ambos entornos y evaluar la influencia directa del ambiente exterior en la calidad del aire interior.

Inclusión de variables ambientales adicionales como temperatura, humedad relativa, presión) que permitió evaluar cómo estas variables modifican la concentración del PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

Selección de áreas urbanas con distinta carga ambiental lo que permite analizar variabilidad relacionada con tráfico, industria y características propias de cada zona.

Tecnología de alta resolución temporal que permiten detectar picos y fluctuaciones que no se identifican con métodos tradicionales.

Contribución local novedosa; es uno de los primeros estudios con medición intramuros continua en la ZMM, aportando evidencia regional relevante.

## **Limitaciones**

El estudio presenta varias limitaciones a considerar los resultados, el tamaño de la muestra fue reducido (N=22), lo que limita las asociaciones sutiles. La medición intramuros, que se realizó de manera única en una habitación del domicilio, que no refleja toda la variabilidad expuesta el participante, así como no se llevó a cabo monitores personales que puede diferir en la exposición real que tiene el individuo.

La ausencia de datos oficiales del SIMA durante el periodo de estudio, por lo que se utilizó la plataforma con sensores de PurpleAir®, que la precisión puede verse afectada por factores como, humedad, aerosoles, calibración y ubicación del mismo.

El tiempo de seguimiento que es corto de manera relativa lo que dificulta la fluctuación de las variaciones estaciones, meteorológicas y la exposición a aeroalergenos.

No se evaluaron biomarcadores de inflamación nasal.

Por último el tratamiento farmacológico no fue controlado ni estandarizado en los participantes, ya que este pudo modular la respuesta clínica antes los niveles de PM.

### **VIII. CONCLUSIONES**

Este estudio identificó que los pacientes con RA residentes de la ZMM estuvieron expuestos a concentraciones intramuros de  $PM_{2.5}$  cercanas o superiores a los límites recomendados por la OMS. Lo que confirma que aun dentro del hogar los individuos pueden estar sometidos a niveles de material particulado el cual está disperso de manera fina con impacto potencial a nivel respiratorio. Aunque no se observaron diferencias de manera estadística entre las áreas geográficas, Obispado mostró una tendencia a concentraciones más elevadas y mayor variabilidad tanto de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , que puede tener influencia de factores locales como son el tráfico, la remodelación urbana o de viviendas cercanas y características topográficas.

Las mediciones extramuros evidenciaron que el  $PM_{2.5}$  se comportó de manera homogénea entre las áreas estudiadas, mientras que el  $PM_{10}$  presenta variaciones marcadas, de manera particular en zonas con actividad industrial o con una alta circulación vehicular. Esto refuerza que las partículas finas poseen una mayor capacidad de dispersión ambiental en comparación con las partículas gruesas.

No se encontró una asociación significativa entre los niveles intra o extramuros de  $PM_{2.5}$  o  $PM_{10}$  cuando los puntajes del RCAT, tanto basales como finales. Este resultado sugiere que la percepción clínica del control de la rinitis alérgica puede no reflejar de forma inmediata los cambios en la exposición a PM, de manera especial cuales los efectos sobre la mucosa nasal son subclínicos o pueden ser modificados por tratamiento tales como el uso de medicamentos como esteroides nasales, antihistamínicos o la inmunoterapia.

La humedad relativa se relacionó de manera positiva con los niveles intramuros de  $PM_{10}$ , mientras que la temperatura no mostró una influencia clara sobre el comportamiento del PM. Esto coincide con la evidencia que describe un tiempo mayor de suspensión de partículas gruesas en ambientes húmedos.

Los resultados respaldan la relevancia de considerar tanto la calidad del aire exterior como las condiciones intradomiciliarias en la evaluación de pacientes con rinitis alérgica, ya que la infiltración del  $PM_{2.5}$  al interior de los hogares y la

variabilidad del PM<sub>10</sub> según la proximidad a zonas industriales, o de remodelación urbana representan factores ambientales que pueden contribuir al deterioro progresivo de la barrera epitelial.

A pesar de no observarse una correlación directa con el RCAT, la exposición constante a PM<sub>2.5</sub>, produce un riesgo potencial al daño de la barrera, persistencia inflamatoria en pacientes con RA, por lo cual es necesaria reforzar estrategia de educación ambiental, monitoreo de la calidad de aire y considerar intervenciones como son la ventilación controlada y el uso de purificadores de aire con filtro HEPA.

Por último este estudio aporta información sobre la evidencia local sobre los patrones de exposición ambiental en la ZMM y hace hincapié a la necesidad de investigaciones futuras que incluyan mediciones personales portátiles, biomarcadores de daño epitelial, educación y control ambiental y seguimiento de mayor duración para la evaluación del impacto acumulativo en los pacientes con RA.

### **Consideraciones Éticas**

El presente protocolo será sometido para su evaluación al Comité de Ética y Comité de Investigación del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González.

Esta investigación toma en consideración el “Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de investigación para la Salud en su título 2º, capítulo 1º, Artículo 17, Fracción I se considera como una investigación sin riesgo, ya que no se realizará ninguna intervención o modificación intencionada en las variables fisiológicas, psicológicas y sociales de los individuos que participaran en el estudio.

### **Asentimiento y Consentimiento Informado**

El asentimiento y consentimiento informado verbal será obtenido por el personal del equipo de investigación designado, así como de 2 testigos no relacionados a la investigación, antes de realizar cualquier procedimiento o recolección de datos relacionada con el estudio. En esta etapa, se proporcionará al sujeto de

investigación y/o a su tutor legal, en caso de ser necesario, una explicación detallada sobre los objetivos del estudio, los procedimientos a seguir, así como los posibles riesgos y beneficios, con un lenguaje claro, sencillo y accesible. Si el sujeto o su tutor presentan dudas o no comprenden algún aspecto del estudio, se reiteró la explicación de manera paciente y cuantas veces sea necesario, hasta asegurar la comprensión plena y la satisfacción del sujeto y/o tutor con la información recibida.

Una vez que se haya otorgado el asentimiento y el consentimiento verbal de forma voluntaria, se enfatizará que el sujeto tiene el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento, sin que ello implique consecuencia o perjuicio alguno.

### **Confidencialidad**

Tanto la identidad como los datos registrados en el expediente se mantendrán bajo estricta confidencialidad ajustándose a las normas e instructivos institucionales nacionales e internacionales en materia de investigación científica, incluyendo la declaración de Helsinki. La base de datos será almacenada localmente y solo el equipo de investigación tendrá acceso a la base de datos.

## Cronograma

ACTIVIDADES	Oct-Nov 2024	No v-2024	May 2025	jun2025	Jul 2025	Ago 2025	Sep -nov 2025	Dic 2025	Ene 2026
Tema/Propuesta	X								
Documentación Bibliográfica	X								
Planteamiento del Problema e Hipótesis	X								
Redacción del protocolo		X							
Sometimiento del protocolo			X						
Recolección de Datos				X					
ANÁLISIS ESTADÍSTICO						X	X		
Presentación de avances						X			
Redacción del Escrito							X		
Cierre e Informe técnico final								X	
Envío a Publicación									X
Difusión en Foros o Congresos									X

## IX. REFERENCIAS

1. Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST, Lockey RF. World Allergy Organization (WAO) White Book on Allergy. WAO; 2011.
2. Larenas-Linnemann D, Michelsen-Huisman A, Calderón MA, et al. ARIA México 2014: adaptación de la guía ARIA para México. Rev Alerg Mex. 2014;61(1):S3–116.
3. Mancilla-Hernández E, Barnica R, González-Solórzano E, Peregrina JA, Zecua-Nájera Y, Soberanes-Rivas GA, et al. Validation of diagnostic questionnaire on asthma in children and adults for epidemiological studies. Rev Alerg Mex. 2014;61(2):73–80.
4. Grupo Español para el Manejo del Asma (GEMA) 5.4. Guía Española para el Manejo del Asma. 2024. Disponible en: <https://www.gemasma.com/>
5. Quillen DM, Feller DB. Diagnosing rhinitis: allergic vs nonallergic. Am Fam Physician. 2006;73(9):1583–1590.
6. Jarvis D, Newson R, Lotvall J, et al. Asthma in adults and its association with chronic rhinosinusitis: The GA2LEN survey in Europe. Allergy. 2012;67(1):91–98.
7. Strachan D, Sibbald B, Weiland S, et al. Worldwide variations in prevalence of symptoms of allergic rhinoconjunctivitis in children: ISAAC. Pediatr Allergy Immunol. 1997;8(4):161–176.
8. Ivancevich JC, Gervasoni ME, Cipriani F, et al. Executive summary of ARIA 2019: Integrated care pathways for allergic rhinitis in Argentina, Spain and Mexico. Rev Alerg Mex. 2019;66(4):409–425.
9. World Health Organization. Air Quality Guidelines: Global Update 2021. Geneva: WHO; 2021. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

10. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system. *J Thorac Dis.* 2016;8(1):E69–E74. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
11. Ramanathan M Jr, Lane AP. Air pollution and epithelial barrier dysfunction in airway disease. *J Allergy Clin Immunol.* 2020;145(6):1614–1626. doi:10.1016/j.jaci.2020.03.019
12. Lee J, Park HS, Lee JH, et al. Air pollution exposure and airway inflammation in allergic disease. *J Allergy Clin Immunol.* 2023;151(2):AB82.
13. Johansson SGO, Bieber T, Dahl R, et al. Revised nomenclature for allergy for global use. *Allergy.* 2004;57(9):815–824.
14. Heffler E, Crimi C, Noto A, et al. Air pollution and upper airway disease: evidence and mechanisms. *Allergy.* 2021;76(10):3147–3159.
15. Stafoggia M, Renzi M, Faustini A, et al. Spatial variability of ambient particulate matter across urban microenvironments. *Lancet Planet Health.* 2022;6(2):e123–e132.
16. Liang Y, Sengupta S, Campanella CM, et al. Associations between indoor and outdoor fine particulate matter: a systematic review. *Environ Health Perspect.* 2021;129(6):066001. doi:10.1289/EHP8562
17. Hellings PW, Akdis CA. Allergic rhinitis: neuro-immune mechanisms. *Nat Rev Immunol.* 2020;20(2):286–297. doi:10.1038/s41577-019-0224-4
18. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021. Diario Oficial de la Federación. 2021. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633855](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855)
19. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León. Disponible en: <https://aire.nl.gob.mx/>

20. Robinson C, Peters T, Johnson K. Evaluating the use of PurpleAir sensors for air quality research. *Atmos Environ.* 2021;256:118426. doi:10.1016/j.atmosenv.2021.118426
21. González-Díaz SN, Hernández-Salcido GJ, de Lira-Quezada CE, et al. Sick building syndrome: do outdoor pollutants and pollen affect it? *Front Allergy.* 2024;5:1383079. doi:10.3389/falgy.2024.1383079
22. de Lira-Quezada CE, González-Díaz SN, Cotera-de Lira AG, et al. The association of air pollution in respiratory allergy: its impact in an industrial city. *World Allergy Organ J.* 2024;17(2):100867. doi:10.1016/j.waojou.2023.100867
23. Morawska L, Ayoko GA, Bae GN, et al. Indoor particulate matter: sources, health effects and infiltration. *Environ Int.* 2017;103:134–148.
24. Chen C, Zhao B. Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmos Environ.* 2011;45(2):275–288.
25. Zhai Y, Morgan G, Jalaludin B, Guo Y. Associations between air pollution and asthma hospitalisations in children. *Environ Int.* 2019;121:295–305.
26. Bravo AH, Sosa ER. Air pollution levels and trends in the Mexico City metropolitan area. *J Air Waste Manag Assoc.* 2004;54(6):777–785.
27. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA III, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. *Circulation.* 2010;121:2331–2378.
28. Zhang R, Wang G, Guo S, et al. Hygroscopicity and chemical composition of atmospheric particulate matter. *Atmos Chem Phys.* 2019;19:1521–1533.
29. Kocabas CN, Cingi C, Muluk NB. Instruments for assessing control of allergic rhinitis: a systematic review. *Clin Transl Allergy.* 2022;12(5):e12163. doi:10.1002/ct2.12163

30. McCarron A, Renfrew R, Cherrie JW, et al. Personal exposure to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and self-reported asthma-related health in adults. *Soc Sci Med*. 2023;337:116293. doi:10.1016/j.socscimed.2023.116293
31. Zender-Swiercz E, Galiszewska B, Telejko M, Starzomska M. The effect of temperature and humidity of air on PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentration. *Atmos Res*. 2024;312:107733. doi:10.1016/j.atmosres.2024.107733
32. Kim M, Jeong SG, Park J, Kim S, Lee JH. Investigating the impact of relative humidity and air tightness on PM sedimentation and concentration reduction. *Build Environ*. 2023;241:110270. doi:10.1016/j.buildenv.2023.110270

## X. ANEXOS

### Anexo 1. RCAT (Rhinitis Control Assessment Test)

#### **Cuestionario RCAT (Rhinitis Control Assessment Test)**

1. Durante la última semana, ¿con qué frecuencia ha tenido congestión nasal?
  - Nunca (5 puntos)
  - Rara vez (4 puntos)
  - A veces (3 puntos)
  - A menudo (2 puntos)
  - Muy a menudo (1 punto)
2. Durante la última semana, ¿con qué frecuencia ha estornudado?
  - Nunca (5 puntos)
  - Rara vez (4 puntos)
  - A veces (3 puntos)
  - A menudo (2 puntos)
  - Muy a menudo (1 punto)
3. Durante la última semana, ¿con qué frecuencia ha tenido los ojos llorosos?
  - Nunca (5 puntos)
  - Rara vez (4 puntos)
  - A veces (3 puntos)
  - A menudo (2 puntos)
  - Muy a menudo (1 punto)
4. Durante la última semana, ¿hasta qué punto sus síntomas nasales o los otros síntomas de alergia han interrumpido su sueño?
  - En absoluto (5 puntos)
  - Un poco (4 puntos)
  - Algo (3 puntos)
  - Mucho (2 puntos)
  - Constantemente (1 punto)
5. Durante la última semana, ¿con qué frecuencia ha evitado alguna actividad (por ejemplo, ir de visita a una casa donde tienen perros o gatos, cuidar el jardín) a causa de sus síntomas nasales o de los otros síntomas de alergia?
  - Nunca (5 puntos)
  - Rara vez (4 puntos)
  - A veces (3 puntos)
  - A menudo (2 puntos)
  - Muy a menudo (1 punto)

6. Durante la última semana, ¿hasta qué punto han estado controlados sus síntomas nasales o los otros síntomas de alergia?

- Completamente (5 puntos)
- Mucho (4 puntos)
- Algo (3 puntos)
- Un poco (2 puntos)
- En absoluto (1 punto)

Total: \_\_\_\_\_ puntos

## ¿Como se instala este sensor?

1. Fijación del sensor: Se colocará en un lugar elevado como una pared, asegurándose de que esté bien sujetado.
2. Se conectará el sensor a una toma de corriente.
3. Configuración :

- Se conectará su Wi-Fi siguiendo las instrucciones de la aplicación.
- Se registra el dispositivo para comenzar a monitorear.

## ¿QUÉ ES EL DISPOSITIVO PURPLEAIR?

El Doctor Evaristo Noe Lemus será el encargado de ir a su domicilio a instalarlo y retirarlo al pasar la semana necesaria para evaluar su ambiente.

334-259-2104



Universidad Autónoma de Nuevo León,  
Facultad de Medicina y Hospital  
Universitario "Dr. José Eleuterio  
González", Centro Regional de Alergia e  
Inmunología Clínica  
(CRAIC)  
8183462515

V2.0 Mayo 2025  
1

## ¿Qué es el sensor PurpleAir?

## ¿Cómo funciona este sensor?

El sensor PurpleAir es un dispositivo que mide la calidad del aire en tiempo real. Es ideal para conocer el nivel de contaminación del aire en tu hogar y tomar decisiones informadas para proteger tu salud y la de tu familia.

El sensor utiliza tecnología láser para detectar partículas suspendidas en el aire, de tamaños tan pequeñas como 2.5 a 10 micrómetros y mide su concentración, además de también medir temperatura y presión.

## ¿Qué se necesita para su instalación?

1. Acceso a Internet: Una conexión Wi-Fi estable.
2. Un lugar adecuado: En el interior de su casa, alejado de árboles, protegido de la lluvia y lejos de fuentes de humo o calor.
3. Fuente de energía: Una toma de corriente cercana o un cable de extensión.

## XI. RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Dr. Evaristo Noe Lemus Reyner

**Candidato para el Grado de Sub-Especialista en Alergia e Inmunología Clínica**

Tesis: “**Evaluación de los niveles intramuros de material particulado y su asociación con rinitis alérgica**”

**Campo de estudio:** ciencias de la salud

**Áreas de interés:** alergias ambientales, contaminación, microbiología, desarrollo urbano, impacto ambiental.

**Datos personales:** Originario de Zacapu, Michoacán, hijo de Evaristo Lemus Castillo y Bertha Alicia Reyner Gonzalez

**Educación:** Egresado de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Guadalajara, grado obtenido. Lic. Médico Cirujano, generación 2014-2020

**Especialidad:** Egresado de la Clínica Hospital ISSSTE constitución por la Universidad de Monterrey, grado obtenido Especialidad en Pediatría generación 2021-2024