

ISSN 0120-4157

Biomédica

Revista del Instituto Nacional de Salud

PUBLICACIÓN ANTICIPADA EN LINEA

El Comité Editorial de *Biomédica* ya aprobó para publicación este manuscrito, teniendo en cuenta los conceptos de los pares académicos que lo evaluaron. Se publica anticipadamente en versión pdf en forma provisional con base en la última versión electrónica del manuscrito pero sin que aún haya sido diagramado ni se le haya hecho la corrección de estilo.

Siéntase libre de descargar, usar, distribuir y citar esta versión preliminar tal y como lo indicamos pero, por favor, recuerde que la versión impresa final y en formato pdf pueden ser diferentes.

Citación provisional:

Huanca-Laura L, Aparicio M, Jemio D, Hurtado M, Huanca M, Chuquimia A.

Análisis de la calidad del aire y el asma en habitantes de gran altura de la Ciudad de La Paz-Bolivia (3600msnm). *Biomédica*. 2024;44 (2).

Recibido: 12-09-23

Aceptado: 18-03-24

Publicación en línea: 19-03-24

Análisis de la calidad del aire y el asma en habitantes de gran altura de la Ciudad de La Paz-Bolivia (3600msnm)

Analysis of air quality and asthma in high-altitude residents of the City of La Paz-Bolivia (3600msnm)

Análisis de la calidad del aire y el asma en habitantes de Bolivia

Lizeth Huanca-Laura ¹, Marilyn Aparicio ¹, Demetrio Jemio ¹, Mariana Hurtado ¹,
Mayra Huanca ², Alexis Chuquimia ³

¹ Unidad de Cambio Climático Ambiente y Salud, Instituto Boliviano de Biología de Altura, Facultad de Medicina, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

² Unidad de Nefrología del Hospital de Clínicas, La Paz, Bolivia

³ Unidad de Flujo Termometría y electricidad, Instituto Boliviano de Metrología, La Paz, Bolivia

Correspondencia:

Lizeth Huanca-Laura, Instituto Boliviano de Biología de Altura, Zona Miraflores Calle Claudio Sanjinés, La Paz, Bolivia.

Teléfono: +591 72528423

lizethxim11@gmail.com

Contribución de los autores:

Lizeth Huanca-Laura: concepción, diseño del protocolo de investigación, recolección de datos y redacción del manuscrito.

Marilyn Aparicio: diseño del protocolo de investigación.

Demetrio Jemio y Mariana Hurtado: recolección de los datos.

Mayra Huanca: diseño del protocolo y redacción del manuscrito.

Alexis Chuquimia: redacción del manuscrito.

Todos los autores participaron en el análisis e interpretación de los datos.

Introducción. El asma es una enfermedad crónica que afecta a millones de personas en todo el mundo. La calidad del aire es un factor principal para desencadenar los síntomas del asma.

Objetivo. Analizar la calidad del aire y el asma en habitantes de gran altura de la Ciudad de La Paz-Bolivia.

Material y métodos. Estudio analítico, descriptivo y retrospectivo. Se recolectó datos de los pacientes con diagnóstico de Asma en el Instituto Nacional de Tórax y en el Instituto Boliviano de Biología de Altura. Además, se realizó el monitoreo de la calidad de aire del material particulado, en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire.

Resultados. El 56.9% de casos del Instituto Nacional del Tórax fueron mujeres y 45.7% en el Instituto Boliviano de Biología. En ambas instituciones, la media de edad fue de 47 años y presentaban sobrepeso y obesidad. Se registraron incrementos de PM2.5 en otoño, invierno y primavera de 2014, 2016 a 2019 y el 2015 en las cuatro estaciones. El PM10 mostró incrementos en otoño e invierno del 2014 al 2020 los límites establecidos. Se observó la asociación positiva y significativa entre la concentración del PM2.5 y las pruebas espirométricas (FVC, PEF y el porcentaje de reversión). La asociación del PM10 y las pruebas espirométricas fueron estadísticamente significativas con FVC, FEV-1 y PEF.

Conclusión. Los casos de asma se presentan en promedio a los 47 años con sobrepeso y obesidad. Se observó la asociación positiva del PM2.5 y PM10 con las pruebas espirométricas, con énfasis con PM2.5.

Palabras clave: criterios de calidad del aire; material particulado; asma; espirometría.

Introduction. Asthma is a chronic disease that affects millions of people around the world. Air quality is a major factor in triggering asthma symptoms.

Objective. To analyze air quality and asthma in high-altitude residents of the City of La Paz-Bolivia.

Material and methods. Analytical, descriptive and retrospective study. Data was collected from patients diagnosed with asthma at the National Thoracic Institute and at the Bolivian Institute of Altitude Biology. In addition, air quality monitoring of particulate matter was carried out at stations of the Air Quality Monitoring Network.

Results. 56.9% of cases at the National Thorax Institute were women and 45.7% at the Bolivian Institute of Biology. In both institutions, the average age was 47 years and they were overweight and obese. Increases in PM_{2.5} were recorded in autumn, winter and spring from 2014, 2016 to 2019 and 2015 in all four seasons. PM₁₀ showed increases in autumn and winter from 2014 to 2020 within the established limits. The positive and significant association was observed between PM_{2.5} concentration and spirometric tests (FVC, PEF and percentage of reversal). The association of PM₁₀ and spirometric tests was statistically significant with FVC, FEV₁ and PEF.

Conclusion. Asthma cases occur on average at 47 years of age with overweight and obesity. The positive association of PM_{2.5} and PM₁₀ with spirometric tests was observed, with emphasis on PM_{2.5}.

Keywords: Air quality criteria; particulate matter; asthma; spirometry.

El asma es una enfermedad crónica del sistema respiratorio que se caracteriza por la inflamación y estrechamiento de las vías respiratorias, lo que dificulta la respiración y puede provocar episodios de sibilancias, tos y dificultad para respirar (1-3). La calidad del aire es un factor importante que puede influir en la exacerbación o aparición de los síntomas del asma (4,5).

La exposición a contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃), el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y otros compuestos químicos puede desencadenar o empeorar los síntomas del asma en personas sensibles. Se han demostrado previamente asociaciones positivas respecto a contaminantes ambientales como NO₂, O₃, SO₂ y PM 2.5 respecto al uso de medicación de rescate ya sea en entornos de contaminantes múltiples como exposición prolongada hasta de 3 días (6). Además, la exposición a alérgenos como el polen, los ácaros del polvo y los pelos de animales también puede desencadenar síntomas de asma en personas sensibles (7,8).

Las partículas en suspensión (PM) no es un solo contaminante, sino es una mezcla de muchas especies químicas. Es una mezcla compleja de sólidos y aerosoles compuesta de pequeñas gotas de líquido, fragmentos sólidos secos y núcleos sólidos con recubrimientos líquidos (6). Las partículas en suspensión PM_{2.5} y PM₁₀ son transportadas por el aire y proceden de emisiones primarias (combustión de fósiles, desgaste de neumáticos) y partículas secundarias (nitratos y sulfatos) y se forman cuando los contaminantes reaccionan en la atmósfera. Las partículas PM_{2.5} son llamadas también "partículas finas" mientras que las PM 2.5-10 se definen como "partículas gruesas" (9). Las partículas finas pueden penetrar profundamente en los pulmones y son de mayor riesgo a la salud debido a que al inhalarlas, pueden

afectar las zonas periféricas de los bronquiolos. El PM10 (10 micrómetros) también puede inhalarse e ingresar hasta las vías respiratorias superiores (4).

Diferentes estudios demostraron el efecto negativo de la contaminación atmosférica sobre la salud humana (10,11). Entre ellas el efecto de la contaminación del aire con alteraciones de la función pulmonar. Los niveles altos de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) alteran directamente a personas que padecen asma y otros tipos de enfermedades pulmonares o cardíacas (12).

La contaminación del aire por material particulado se asocia a problemas de salud, con el incremento de tos, sibilancia, afectación de la función pulmonar, ataques de asma, cardiopatías y muertes prematuras (13,14). Sin embargo, el material particulado no es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria aguda sino un factor asociado que en combinación con otros factores produce un aumento de las enfermedades respiratorias (11,15).

La espirometría evalúa las propiedades mecánicas del sistema respiratorio y es el estándar de oro para identificar obstrucción al flujo aéreo como asma, EPOC, etc. (16). La espirometría permite medir la cantidad de aire que ingresa y egresa de los pulmones en función del tiempo, depende del calibre de los bronquios, de las propiedades elásticas de los pulmones y así también los músculos de la cavidad torácica (16).

En Bolivia la ciudad con mayor problema de la contaminación atmosférica es la ciudad de Cochabamba causada por la actividad humana, también considerada con mayor índice de contaminación de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS). La Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Cochabamba, reportó que el

90% de la contaminación en el aire es por el parque automotor tanto en servicio particular o público (17). La clasificación sobre las alturas como alto de 1500 a 3500 (msnm), gran altura o muy alto de 3500 a 5500 (msnm) y extrema altura mayor 5500 (msnm) (18), es así que la Ciudad de La Paz se encuentra como una ciudad de gran altura.

En ciudad de La Paz debido a las características geográficas y meteorológicas, los niveles de contaminación no revisten una problemática. Sin embargo, en la actualidad se observa contaminación moderadamente elevada o baja, la cual pueden producir efectos peligrosos sobre la salud de la población (19-21). La población de la ciudad de La Paz vive a grandes alturas, por lo que se encuentra sometida a una hipoxia hipobárica ambiental que puede producir efectos fisiológicos en el cuerpo humano, desde que nace hasta que se adapta a la altura, desde una menor ventilación pulmonar, disminución del gradiente alveolo-arterial de la concentración de oxígeno y el aumento de la difusión alveolo capilar (Murillo Jáuregui C, Romero C, Gonzales C, Alarcón AM, Aguilar M, Villena M. Hallazgos de Función pulmonar en pacientes con EPOC a 3.600 m.s.n.m. en el instituto Boliviano de Biología de Altura. II Congreso Internacional de Medicina de la Altura "Dr. Eduardo Aranda Torrelio" 24 al 26 de febrero de 2016. La Paz, Bolivia. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10221>).

Es así también, las condiciones urbanas y la calidad del aire son elementos importantes para autoridades nacionales y locales debido a los riesgos ambientales y sanitarios que, consecuentemente deben ser modificados para mejorar la calidad de las ciudades, promover protección frente a riesgos ambientales de los

ciudadanos y la generación de oportunidades para mitigar desigualdad en zonas menos favorecidas donde la carga ambiental tiene una tendencia a ser mayor (22).

Materiales y métodos

Se realizó un estudio analítico, descriptivo y retrospectivo, mediante la recolección de datos de los pacientes atendidos con el diagnóstico de asma en el Instituto Nacional del Tórax y en el Instituto Boliviano de Biología de Altura (IBBA), en el periodo 2014 a 2020.

Se realizó la revisión de las historias clínicas de los pacientes con diagnóstico de asma que contaban con la prueba de espirometría, esta prueba es una prueba diagnóstica que se utiliza para evaluar la función pulmonar. En el caso del asma bronquial, la espirometría es un instrumento importante para determinar la gravedad y control de los síntomas, así también para evaluar el efecto del tratamiento. Esta prueba mide la cantidad de aire que una persona puede exhalar y el flujo con lo que realiza, lo que ayuda a identificar la presencia de alguna obstrucción en las vías respiratorias. Es así también se utiliza la ecuación de William Knudson para evaluar la función pulmonar y para la interpretación de la espirometría en la población que habita en la altura (16). Esta prueba mide los siguientes parámetros:

Capacidad Vital Forzada (CVF o FVC): Es la cantidad de aire que se moviliza en una inspiración o espiración máxima forzada. Se expresa en mililitros, su valor normal es de 3 a 5 litros (en relación a su edad, altura, sexo y raza), debe ser mayor del 80% del valor teórico. La FVC puede disminuir en caso de enfermedades pulmonares que afecten la capacidad de los pulmones para expandirse o contraerse, como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y la fibrosis pulmonar.

Volumen espiratorio máximo en el primer segundo (VEMS o FEV1): Cantidad de aire que se moviliza en el primer segundo de una espiración forzada. Es un flujo y no un volumen (mililitros /1sg), de modo que puede expresarse como (ml/s) o como un tanto por ciento frente a cifras teóricas. Su valor normal es mayor del 80% (valor predicho).

Cociente FEV1/FVC: Aporta sobre la información sobre la cantidad del aire total espirado lo hace en el primer segundo. Es una tasa, por lo que suele representarse en tanto por ciento. El valor predicho normal es mayor a 75 a 80%, sin embargo, en grados de obstrucción es de 70%. *Flujo Espiratorio Máximo (FEM):* Es la cantidad máxima de aire que puede exhalar por segundo en una espiración forzada. Es un marcador útil en el diagnóstico de asma en las crisis asmáticas, donde se emplea ya como valor predictor de gravedad del asma.

Flujo espiratorio máximo en el 50% (FEF50%): Medición del flujo forzado en el 50%. Evalúa la obstrucción de las vías aéreas superiores.

Flujo espiratorio máximo en el 75%: En la altura en La Paz-Bolivia, el FEF75% tiene un valor menor a nivel del mar, por la densidad del aire que es menor en la altura; con un valor de referencia de 70%.

Cambio significativo con broncodilatador: Se considera como mejoría de la CVF o del FEV-1 mayor a 200ml y del 12% con respecto al valor basal.

Al revisar la prueba de la espirometría de los pacientes con el diagnóstico de asma:

- Se valoró el índice de permeabilidad ($FVC-1/FVC$), para determinar si hay obstrucción.

- Si existe la obstrucción, se debe determinar si la obstrucción es central (FEF50%), y la obstrucción periférica (FEF75%). Los valores normales en la altura para FEF 50% es 80% y para FEF 75% es de 70%.
- Luego se valoró el FEV-1, para determinar el grado de obstrucción (tomamos en cuenta la ATS).
- Después se valoró FVC para determinar si existe no obstrucción.
- La prueba broncodilatadora (salbutamol 400 microgramos) si, revierte o no.

El *índice de masa corporal (IMC)* es un indicador de la relación entre el peso y la talla que se utiliza, para identificar el sobrepeso y la obesidad en los adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros (kg/m^2).

- Sobrepeso: IMC igual o superior a $25 \text{ kg}/\text{m}^2$.
- Obesidad: IMC igual o superior a $30 \text{ kg}/\text{m}^2$.

De la misma manera, se realizó el monitoreo de la calidad de aire de material particulado (PM2.5 y PM10) en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad de La Paz (figura 1).

El material particulado PM2.5 fue recolectado por método activo en 24hrs en una sola estación “Garaje Municipal de la Ciudad de La Paz”. El material particulado PM10 fue recolectado por dos métodos: el automático continuo y el método activo, en las estaciones siguientes: Cota Cota, Villa Fátima, Cotahuma, Garaje Municipal y Tránsito de la Ciudad de La Paz.

Para la correlación de los datos de la calidad de aire se revisó la normatividad boliviana del material particulado (PM2.5 y PM10) de los límites criterio y también de la OMS. Se elaboró la base de datos con la información recolectada y se procesó la

información retrospectiva. Posteriormente se realizó el análisis de los datos con el paquete estadístico de Stata 14.

Resultados

Característica de la población atendida en el Instituto Nacional del Tórax

El Instituto Nacional del Tórax realizó la atención de 3530 pacientes con diagnóstico de asma bronquial y EPOC del 2014 a 2020, de los cuales 942 fueron pacientes con asma bronquial. El género femenino fue 56.9% y el género masculino fue 43.1%, con un promedio de edad de 47 años, también se encontró a la población en sobrepeso (44.5%) seguido en obesidad (29.8%). En cuanto, a la ocupación con una mayor frecuencia fueron otras ocupaciones, seguido de labores de casa, comerciante y oficinistas (cuadro 1).

La calidad del aire del material particulado de la ciudad de La Paz

El monitoreo de la calidad del aire fue realizado por la RED MoniCA por el Gobierno Autónomo de la Ciudad de La Paz.

El monitoreo de material particulado PM2.5, del 2014 a 2020 (Método activo)

El material particulado de PM2.5 mostró concentraciones superiores a la OMS del nuevo informe 2021 (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) el 2014 en primavera (septiembre a noviembre), el 2015 en las cuatro estaciones (enero a noviembre), el 2016 en otoño, invierno y primavera (mayo a octubre), el 2017 en otoño y primavera (febrero a junio y noviembre, diciembre), el 2018 en otoño, invierno y primavera (marzo a diciembre), el 2019 en otoño, invierno y primavera (mayo a octubre) y el 2020 en invierno (enero y febrero; mayo a septiembre; noviembre y diciembre) (figura 2 y 3).

Monitoreo de material particulado PM10, del 2014 a 2020 (Método Automático Continuo)

El material particulado de PM10 mostró concentraciones superiores a los límites establecidos por la OMS al nuevo informe del 2021 (45 µg/m³), el 2014 en otoño e invierno (mayo y junio), el 2015 en otoño e invierno (de abril a septiembre), el 2016 en invierno y primavera (mayo a noviembre), el 2017 en otoño, invierno y primavera (abril a noviembre), el 2018 en invierno y primavera (mayo a septiembre) y 2019 en la estación de invierno (junio hasta agosto) y finalmente el 2020 en invierno y primavera (junio a septiembre) (figura 4 y 5).

Característica de la población atendida en la Unidad de Fisiología y Fisiopatología Respiratoria del IBBA

La Unidad de Fisiología y Fisiopatología Respiratoria del IBBA realizó la atención de 8401 pacientes del 2014 a 2019, de los cuales 709 pacientes con diagnóstico de asma. Se observó el 45.7% fue de género femenino y el 54.3% el género masculino, con una media de edad de 54 años, se observó que el mayor porcentaje de la población se encontró en sobrepeso y obesidad, en cuanto a la ocupación con un mayor porcentaje fueron otras ocupaciones, seguido de labores de casa, oficinistas y jubilados (cuadro 2).

Característica de las pruebas funcionales respiratorias en la población asmática del IBBA

Se realizó la revisión de las pruebas funcionales espirométricas, se observó que el coeficiente de FEV-1/FVC en el pre broncodilatador un promedio de 67% y en el post broncodilatador de 74%; la Capacidad Vital Forzada (CVF) reportó 108% de promedio en el pre broncodilatador y en el post broncodilatador de 118%. En relación, al FEF50% reportó en pre broncodilatador de 46% y el post broncodilatador 68%; el FEF75% reportó un promedio de 50% posterior al broncodilatador; el FEM

reportó el promedio en el pre broncodilatador de 86% y en el post broncodilatador del 100% y el promedio de reversión mayor al 12% posterior al broncodilatador.

Correlación de la calidad de aire de la Ciudad de La Paz con las espirometrías de pacientes asmáticos atendidos en la Unidad de Fisiología y Fisiopatología Respiratoria del IBBA

La correlación del PM2.5 entre FVC, FEM y el porcentaje de reversión posterior al broncodilatador reportó la correlación positiva y fue estadísticamente significativas (Valor-P <0.05), esto indica cuanto mayor concentración de PM2.5, altera la capacidad vital forzada y también el flujo espiratorio máximo. El FEF50% tiene una correlación positiva, sin embargo, no es estadísticamente significativa en cambio el FEF75% reportó una correlación negativa, sin embargo, no es estadísticamente significativo.

La correlación del PM10 con las pruebas espirométricas se observó, la correlación positiva y fue estadísticamente significativa en el FVC, FEV-1 y FEM; Por el contrario, en las pruebas de FEF50%, FEF75% y la reversión posterior al broncodilatador se observó, la correlación positiva pero no fue estadísticamente significativas. Finalmente, en la única prueba que tuvo una correlación negativa tanto con el PM2.5 y PM10 fue el coeficiente del FEV1/FVC (cuadro 3).

Discusión

En este estudio se analizó la calidad del aire y el asma en habitantes de gran altura de la Ciudad de La Paz-Bolivia. Los principales resultados reportaron la correlación positiva del material particulado de PM2.5 con el FVC, FEM y el porcentaje de reversión posterior al broncodilatador, los cuales fueron estadísticamente significativas y en cuanto a la correlación del material particulado de PM10 y las

pruebas espirométricas reportaron una correlación positiva entre el FVC, VEMS y el FEM fueron estadísticamente significativas.

El cociente FEV-1/FVC se encuentra relacionado a la cantidad del aire total espirado en el primer segundo, lo normal es mayor a 70% (16). Sin embargo, en este estudio reportó un promedio disminuido de 67% antes del broncodilatador y posterior de 74%, por lo que reportó una correlación negativa que estaría atribuida a una disminución por diferentes factores del paciente (peso, talla, etc.). A diferencia del estudio del 2018 reportó la asociación positiva entre el cociente del FEV1/FVC en pacientes asmáticos con la contaminación el PM10 tras una exposición aguda al contaminante en primavera (23).

La FVC es la cantidad de aire que se moviliza en el primer segundo de una espiración forzada, lo normal es mayor a 80% (16). En este estudio reportó un promedio 118% posterior al broncodilatador lo cual se considera dentro de lo normal, sin embargo, se observó una correlación positiva con el material particulado tanto el PM2.5 y PM10.

El FEM o PEF es considerado el marcador para el diagnóstico de asma y la crisis asmática. En este estudio se observó una disminución del promedio posterior al broncodilatador y así también se reportó la correlación positiva de esta prueba con los materiales particulados (PM2.5 y PM10), esto quiere decir cuanto más es la concentración del material particulado existirá mayor exacerbación de las pruebas espirométricas de los pacientes con asma.

Los valores en la altura del FEF 50% y FEF75% son más bajos que a nivel del mar. El FEF50% se encuentra en la obstrucción central (80% valor normal en la altura) y el FEF 75% está presente en la obstrucción periférica (70% valor normal en la altura)

(16)(Murillo Jáuregui C, Romero C, Gonzales C, Alarcón AM, Aguilar M, Villena M. Hallazgos de Función pulmonar en pacientes con EPOC a 3.600 m.s.n.m. en el instituto Boliviano de Biología de Altura. II Congreso Internacional de Medicina de la Altura "Dr. Eduardo Aranda Torrelio" 24 al 26 de febrero de 2016. La Paz, Bolivia. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10221>). Igualmente, en nuestro estudio se observó una disminución de los valores respecto de la normalidad. Finalmente, el porcentaje de reversión posterior al salbutamol se reportó mayor a 12% en los pacientes asmáticos y así también la asociación positiva con el material particulado de PM2.5, el cual fue estadísticamente significativo.

En este sentido, los contaminantes ambientales pueden actuar agravando las diferentes enfermedades respiratorias como el asma (24-26). Además, se reportaron en un estudio de series de tiempo relacionado a la contaminación del material particulado y la asociación positiva del incremento de pacientes internados por asma en los servicios hospitalarios (24).

El material particulado tiene un impacto negativo sobre las vías respiratorias asmáticas, por el depósito en las vías respiratorias provocando directamente la inflamación de las vías, edema de la mucosa y citotoxicidad (27), esto apoya el presente estudio por la correlación del FEM con los materiales particulados (PM2.5 y PM10) que se encuentra alterado siendo el marcador de la crisis asmática.

Otros estudios reportaron la asociación aguda entre el PM2.5 y la exacerbación del asma en pacientes que han sido diagnosticados previamente con obesidad (28). Esto apoya a nuestro estudio donde se observó que la población se encontraba con sobrepeso y obesidad, así también la ocupación más frecuente reportada fue de comerciante, habiendo sido demostrado previamente en estudios que los

comerciantes que se encuentran en la vía pública son considerados un grupo vulnerable para contaminación del aire y además a la elevación de la temperatura del ambiente asociado a la disminución de la presión barométrica (29).

Se reportó previamente respecto a la utilización de los servicios de salud en la exacerbación del asma y los niveles de PM10 en zonas rurales de EEUU. en el que plasmaron por cada aumento de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del material particulado de PM10, hubo un aumento de 3% en los ingresos hospitalarios de los pacientes con asma (30), en cambio en el estudio se observó mayor ingreso por consulta externa por neumología (82%), seguido por emergencias (14%).

La calidad de aire en la ciudad de La Paz reportó mayores concentraciones de PM2.5 el 2014 en los meses de octubre a noviembre que corresponden a primavera donde incrementan las temperaturas y el 2016 en los meses de mayo, agosto y septiembre que corresponden al final de la época de invierno y el inicio de la primavera. Las menores concentraciones de contaminantes se reportan en épocas de lluvia.

La evaluación de la calidad de aire en la Ciudad de La Paz el 2013 reportó concentraciones altas de PM10 en las épocas secas y no así en épocas lluviosas (31). Sin embargo, en nuestro estudio se observan concentraciones altas de PM10 en el 2016 y 2017 reportándose concentraciones altas en los meses de invierno que son considerados la época fría y seca.

El 2020 el PM2.5 en el mes de marzo se reportó con concentraciones altas y el resto de los meses se observaron concentraciones dentro de parámetros normales. El pico observado coincide con el inicio de la cuarentena en Bolivia. El PM10, por el contrario, presentó concentraciones dentro de parámetros normales en los diferentes

meses, se considera que la cuarentena provocó una reducción drástica de las emisiones de contaminantes en las ciudades más pobladas (32).

Agradecimientos

Agradecemos a los pacientes que participaron en nuestro estudio y también al personal de las instituciones de estudio por la colaboración en la recolección de los datos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

Recursos propios de los investigadores.

Referencias

1. Atkinson RW, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, Bremner SA, Ponce de Leon A. Short-term associations between outdoor air pollution and visits to accident and emergency departments in London for respiratory complaints. *Eur Respir J.* 1999;13:257-65. <https://doi.org/10.1183/09031936.99.13225799>
2. Anderson HR, Ponce de Leon A, Bland JM, Bower JS, Emberlin J, Strachan DP. Air pollution, pollens, and daily admissions for asthma in London 1987-92. *Thorax.* 1998;53:842-8 <https://doi.org/10.1136/thx.53.10.842>
3. Jameson JL, Fauci AS, Kasper DL, Hauser SL, Longo DL, et al., editores. *Harrison's Principles of Internal Medicine.* 20th edition. New York: McGraw-Hill Education; 2018.
4. Fiore AM, Naik V, Leibensperger EM. Air quality and climate connections. *J Air Waste Manag Assoc.* 2015;65:645-85.

<https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1040526>. Erratum in: J Air Waste Manag Assoc. 2015;65:1159.

5. Piekarska B, Stankiewicz-Choroszuca BL, Sybilski AJ, Furmańczyk K, Jaworski S, Białoszewski AZ, *et al.* Effect of indoor air quality on the natural history of asthma in an urban population in Poland. *Allergy Asthma Proc.* 2018;39:e64-e70. <https://doi.org/10.2500/aap.2018.39.4176>
6. Su JG, Barrett MA, Combs V, Henderson K, Van Sickle D, Hogg C, *et al.* Identifying impacts of air pollution on subacute asthma symptoms using digital medication sensors. *Int J Epidemiol.* 2022;51:213-24. <https://doi.org/10.1093/ije/dyab187>
7. Eguiluz-Gracia I, Mathioudakis AG, Bartel S, Vijverberg SJ, Fuertes E, Comberati P, *et al.* The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. *Allergy.* 2020;75:2170-84. <https://doi.org/10.1111/all.14177>
8. Del Giacco SR, Bakirtas A, Bel E, Custovic A, Diamant Z, Hamelmann E, *et al.* Allergy in severe asthma. *Allergy.* 2017;72:207-20. <https://doi.org/10.1111/all.13072>
9. Paciência I, Cavaleiro Rufo J, Moreira A. Environmental inequality: Air pollution and asthma in children. *Pediatr Allergy Immunol.* 2022;33. <https://doi.org/10.1111/pai.13818>
10. Cincinelli A, Martellini T. Indoor air quality and health. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14):1286. <https://doi.org/10.3390/ijerph14111286>

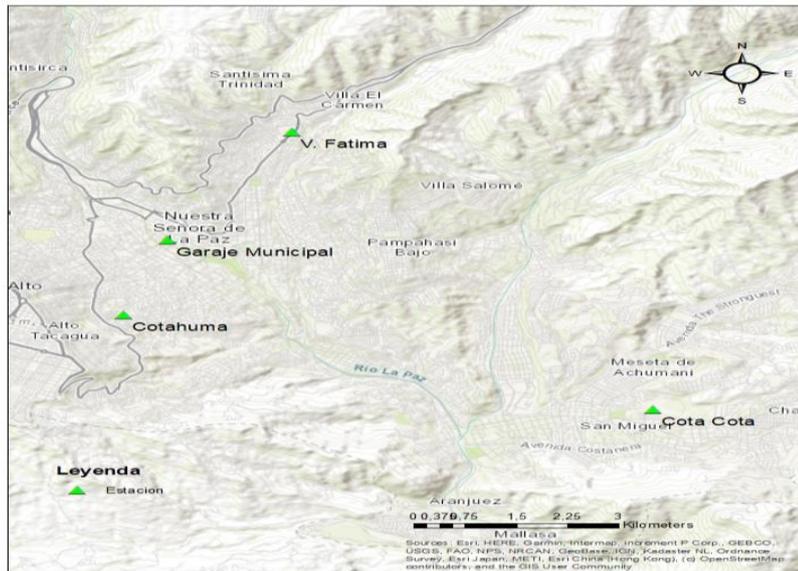
11. Chen YY, Sung FC, Chen ML, Mao IF, Lu CY. indoor air quality in the metro system in north Taiwan. Int J Environ Res Public Health. 201;13:1200. d <https://doi.org/10.3390/ijerph13121200>
12. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
13. Wolkoff P. Indoor air humidity, air quality, and health - An overview. Int J Hyg Environ Health. 2018;221:376-90. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>
14. Ather B, Mirza TM, Edemekong PF. Airborne precautions. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
15. Organización Panamericana de la Salud. Calidad del aire. Washington, D.C.: OPS. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
16. Murillo Jáuregui C, García MA, López JJ. Manual de espirometría y gasometría arterial en la altura. Primera edición. La Paz: Sociedad Boliviana de Neumología; 2018. p. 1-73.
17. Observatorio del Derecho Humano a la Vivienda Adecuada en Bolivia. En Cochabamba da miedo respirar por su alta contaminación. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023. Disponible en: <https://renaseh-odhva.org/2019/10/04/en-cochabamba-da-miedo-respirar-por-su-alta-contaminacion/>

18. Gudbjartsson T, Sigurdsson E, Gottfredsson M, Bjornsson OM, Gudmundsson G. High altitude illness and related diseases - a review. *Laeknabladid*. 2019;105:499-507. <https://doi.org/10.17992/lbl.2019.11.257>
19. Aldunate P, Paz O, Halvorsen K. Los efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre la salud ciudad de La Paz - Bolivia (3650 m.s.n.m.). *RevActaNova*. 2006;3:422-42.
20. Canseco A, Anze R, Franken M. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *RevActaNova*. 2006;3:286-307.
21. Guajardo N, Ramírez A, Díaz F, Castillo E, Otero A, Parra J. Concentración de las partículas totales suspendidas en la atmósfera de Caracas. *Rev Fac Ing*. 2010;25:73-80.
22. National Institute for Health and Care Excellence. Air pollution: outdoor air quality and health. London: NICE; 2017. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2023. Disponible en: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng70/resources/air-pollution-outdoor-air-quality-and-health-pdf-1837627509445>
23. Yu S, Park S, Park CS, Kim S. Association between the ratio of FEV₁ to FVC and the exposure level to air pollution in never-smoking adult refractory asthmatics using data clustered by patient in the soonchunhyang asthma cohort database. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15:2349. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112349>
24. Zheng XY, Ding H, Jiang LN, Chen SW, Zheng JP, Qiu M, *et al*. Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital

- admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis.
PLoS One. 2015;10:e0138146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>
25. Chanel O, Perez L, Künzli N, Medina S; Aphekom group. The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Aphekom project. *Eur J Health Econ.* 2016;17:1101-15.
<https://doi.org/10.1007/s10198-015-0748-z>
26. Gehring U, Wijga AH, Hoek G, Bellander T, Berdel D, Brüske I, *et al.* Exposure to air pollution and development of asthma and rhinoconjunctivitis throughout childhood and adolescence: a population-based birth cohort study. *Lancet Respir Med.* 2015;3:933-42. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00426-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00426-9)
27. Wilson AM, Wake CP, Kelly T, Salloway JC. Air pollution, weather, and respiratory emergency room visits in two northern New England cities: an ecological time-series study. *Environ Res.* 2005;97:312-21.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.07.010>
28. Rosenquist NA, Metcalf WJ, Ryu SY, Rutledge A, Coppes MJ, Grzymiski JJ, *et al.* Acute associations between PM_{2.5} and ozone concentrations and asthma exacerbations among patients with and without allergic comorbidities. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2020;30:795-804. <https://doi.org/10.1038/s41370-020-0213-7>
29. Swinnen K, Bijmens E, Casas L, Nawrot TS, Delcroix M, Quarck R, Belge C. Residential air pollution increases the risk for persistent pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy. *Eur Respir J.* 2021;57:2002680. <https://doi.org/10.1183/13993003.02680-2020>

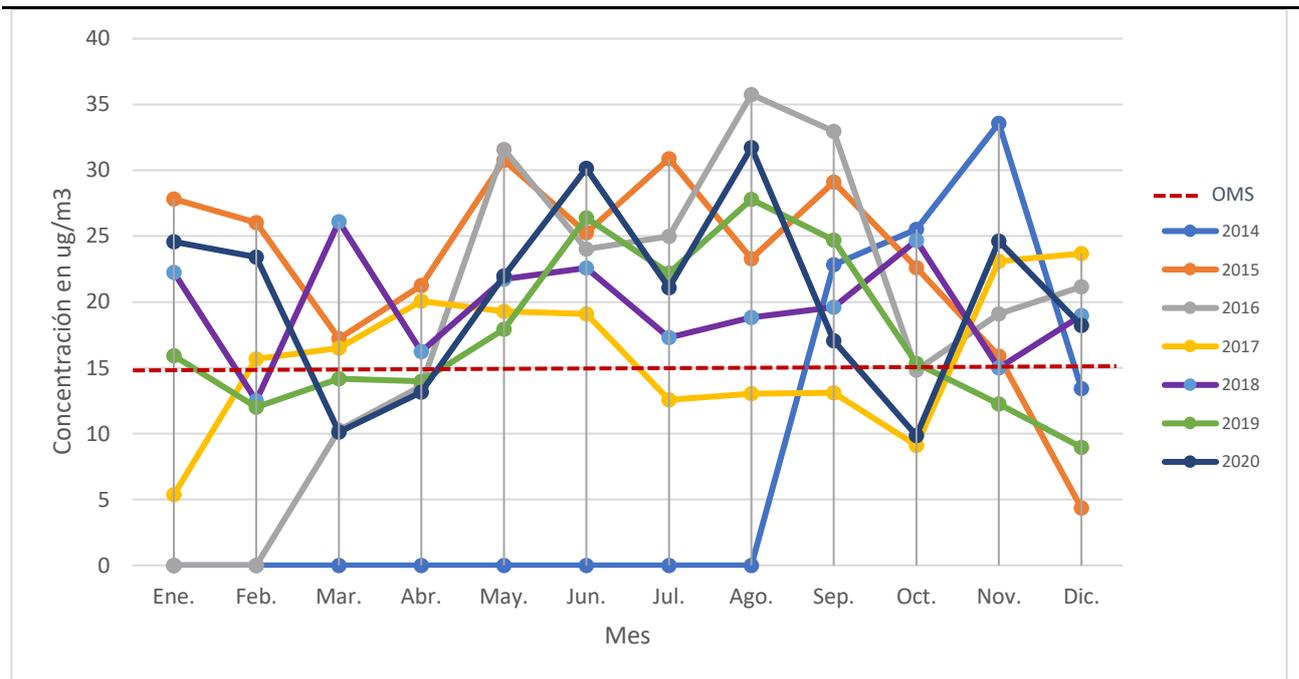
30. James KA, Strand M, Hamer MK, Cicutto L. health services utilization in asthma exacerbations and PM10 levels in rural Colorado. *Ann Am Thorac Soc.* 2018;15:947-54. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201804-273OC>
31. DuPont A. Improving and monitoring air quality. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018;25:15253-63. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1897-2>
32. Jiabin C, Hui H, Feifei W, Mi Z, Ting Z, Shicheng Y, *et al.* Air quality characteristics in Wuhan (China) during the 2020 COVID-19 pandemic. *Environ Res.* 2021;195:110879. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110879>

Figura 1. Estaciones de monitoreo en la Ciudad de La Paz



Fuente: Con datos del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz -
Secretaría Municipal de Gestión Ambiental - Unidad de Servicios
Ambientales - Red MoniCA.

Figura 2. Promedio Mensual de PM2.5 del 2014 al 2020

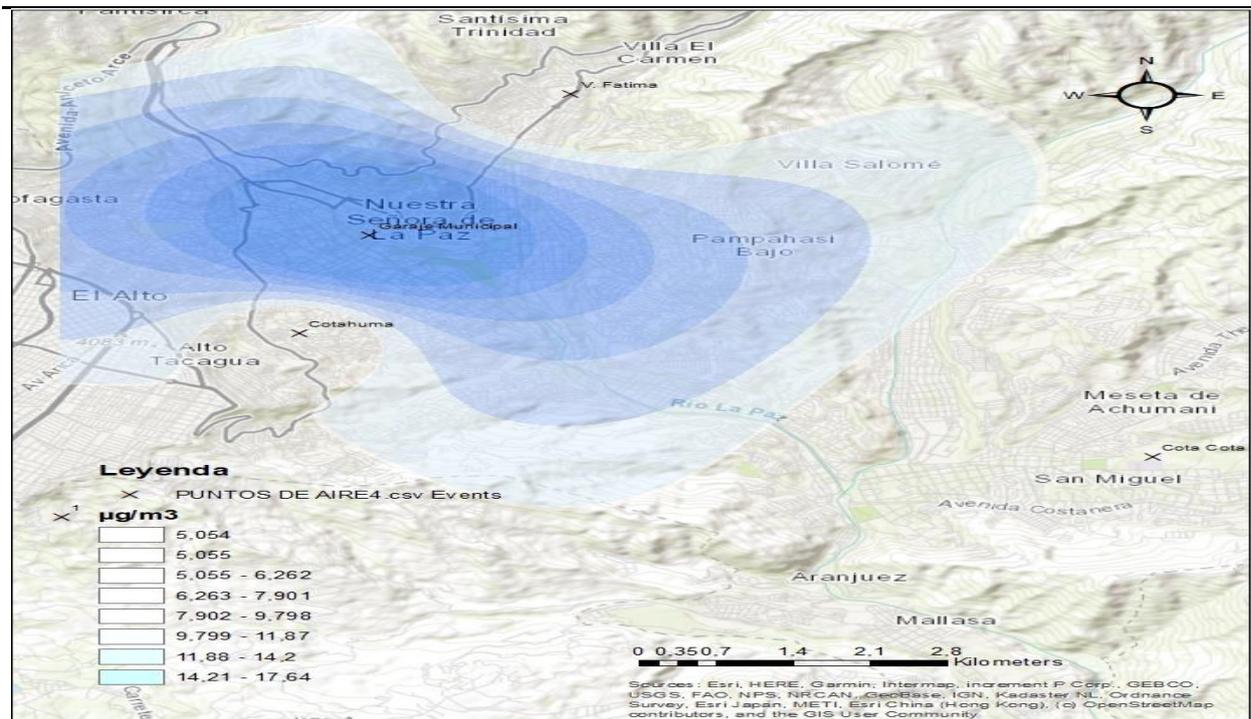


Fuente: Con datos del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Secretaría Municipal de Gestión Ambiental - Unidad de Servicios Ambientales - Red MoniCA.

**Línea discontinua en rojo:* Limite establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) del nuevo informe 2021. PM2.5 (24 hrs es 15 ug/m3)

*Los valores nulos (cero) de concentraciones, no son valores medidos.

Figura 3. Calidad de aire de PM2.5 (2019)



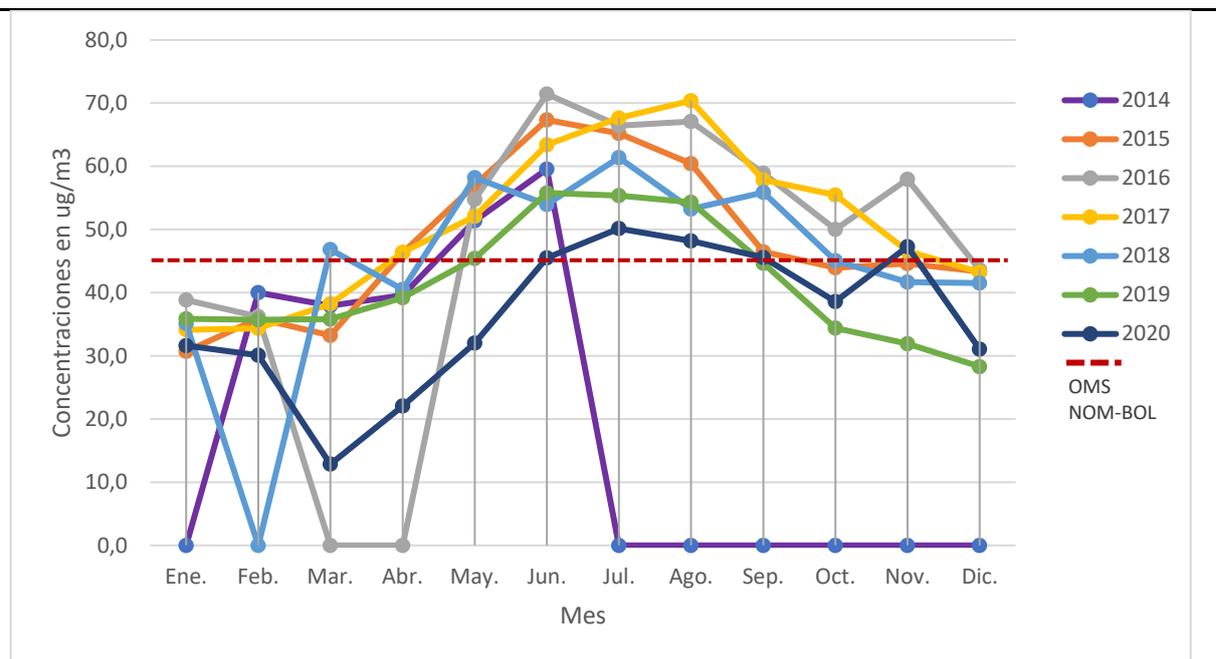
Fuente: Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Secretaría Municipal de Gestión

Ambiental - Unidad de Servicios Ambientales - Red MoniCA

Limite establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) del nuevo informe 2021. PM2.5 (24 hrs es 15 ug/m3)

* Los valores nulos (cero) de concentraciones, no son valores medidos.

Figura 4. Promedio Mensual de PM10 del 2014 a 2020

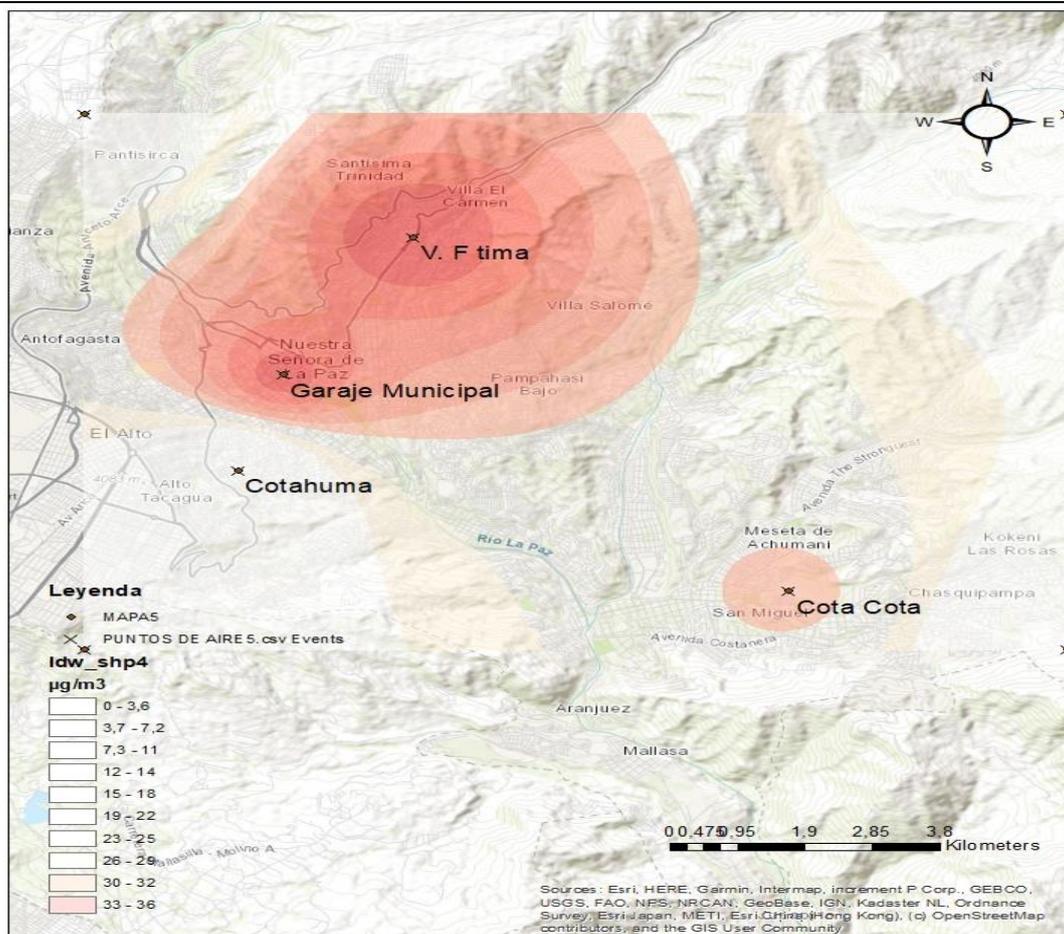


Fuente: Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Secretaría Municipal de Gestión Ambiental - Unidad de Servicios Ambientales - Red MoniCA

**Línea discontinua en rojo:* Limite establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) del nuevo informe 2021. PM 10 (24 hrs es 45 ug/m3)

*Los valores nulos (cero) de concentraciones, no son valores medidos.

Figura 5. Calidad de aire de PM10 (2015)



Fuente: Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Secretaría Municipal de Gestión Ambiental - Unidad de Servicios Ambientales - Red MoniCA

Limite establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) del nuevo informe 2021. PM 10 (24 hrs es 45 ug/m3)

Cuadro 1. Característica de la población asmática del Instituto Nacional del Tórax

Característica	N= 942 (%)
Edad*	47 (16.73)
Sexo:	
Femenino	536 (56.9%)
Masculino	406 (43.1%)
Índice de Masa Corporal :	
Normal	242 (25.7%)
Sobrepeso	419 (44.5%)
Obesidad	281 (29.8%)
Estado Civil :	
Soltero	513 (54.5%)
Casado	3,9 (41.5%)
Viudo	26 (2.8%)
Divorciado	12 (1.3%)
Ocupación :	
Labores de casa	280 (29.7%)
Minero	15 (1.6%)
Agricultor	44 (4.7%)
Carpintero	8 (0.9%)
Comerciante	124 (13.2%)
Oficinista	65 (6.9%)
Jubilado	14 (1.5%)
Otros	392 (41.6%)

* Media (Desvío estándar)

Cuadro 2. Característica de la población asmática de la Unidad de Fisiología Fisiopatología Respiratoria del Instituto Boliviano de Biología de Altura (IBBA)

Característica	N=709 (%)
Edad*	54 (17.9)
Sexo :	
Femenino	324 (45.7%)
Masculino	385 (54.3%)
Índice de Masa Corporal :	
Normal	193 (27.2%)
Sobrepeso	282 (39.8%)
Obesidad	234 (33%)
Ocupación :	
Labores de casa	159 (22.4%)
Minero	76 (10.7%)
Agricultor	23 (3.2%)
Carpintero	16 (2.3%)
Comerciante	75 (10.6%)
Oficinista	120 (16.9%)
Jubilado	113 (15.9%)
Otros	296 (53.7%)

* Media (Desvío estándar)

Cuadro 3. Asociación entre concentraciones del material particulado PM2.5 y PM10 con las pruebas espirométricas de los pacientes asmáticos del IBBA

Característica	Rho	Valor-P
<i>PM2.5</i>		
FEV-1/FVC	-0,39	0,001*
FVC	0,26	0,02*
FEF 50%	0,02	0,9
FEF 75%	-0,11	0,37
FEV-1	0,16	0,17
FEM	0,33	0,001*
Reversión	0,35	0,001*
<i>PM10</i>		
FEV-1/FVC	-0,07	0,56
FVC	0,22	0,05*
FEF 50%	0,17	0,14
FEF 75%	0,09	0,46
FEV-1	0,27	0,01*
FEM	0,24	0,04*
Reversión	0,06	0,56

*Valor P <0,05