



Publicación Cuatrimestral. Vol. 7, No Especial, Diciembre, 2022, Ecuador (p. 23-36). Edición continua

<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/index>

revista.bdlaciencia@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí

DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4240>

EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO PM₁₀ EN LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.

Nila Vélez Mendoza^{1*} , Yulixis Cano² , Ligbel Sánchez³ 

¹Maestría en Química mención Química Ambiental. Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: nilavelez0316@utm.edu.ec

²Laboratorio de Química Ambiental. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: yulixis.cano@utm.edu.ec

³Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: ligbel.sanchez@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: nilavelez0316@utm.edu.ec

Recibido: 19-12-2021 / Aceptado: 9-6-2022 / Publicación: 1-12-2022

Editor Académico: Harvi José Velásquez Arévalo

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la distribución temporal de partículas atmosféricas PM₁₀ durante el período comprendido entre diciembre 2018 a noviembre 2019, en la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, y su relación con algunos parámetros meteorológicos. La recolección de las muestras (n=48) se realizó mediante un equipo de recolección de partículas inhalables PM₁₀ Graseby Andersen GMW 10 inlet, empleando filtros de microfibras de cuarzo, durante 24 horas, a una velocidad de flujo de aire de 40 pies³/min. El análisis de resultados mostró que el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀ en la ciudad fue de 27,03 ± 5,28 µg/m³, estando por debajo del límite máximo permisible anual establecido por la norma ecuatoriana de calidad del aire; así mismo, las concentraciones diarias de PM₁₀, no sobrepasaron el límite de permisibilidad establecido por la norma. Se observó que no existe diferencia estadísticamente significativa (p > 0,05) entre los dos períodos estacionales evaluados, siendo el valor de la estación lluviosa de 26,95 ± 6,38 µg/m³ (n=25), y de la estación seca 27,11 ± 4,54 µg/m³ (n=23). Al relacionar las concentraciones mensuales de PM₁₀ con las variables meteorológicas, se obtuvo que no existe correlación significativa entre ellas (p > 0,05), lo que permite entender que la variación de las concentraciones del particulado inhalable es atribuible principalmente a una mayor influencia de las fuentes fijas y móviles de la zona de estudio. La comparación del promedio anual de concentración de PM₁₀ Portoviejo con relación a otras ciudades del mundo establece que es similar a la de megaciudades muy urbanizadas, lo que infiere que los niveles de contaminación del aire en la ciudad pueden llegar a ser significativos, mostrando una alerta importante sobre la acumulación de contaminantes atmosféricos en la ciudad de estudio.

Palabras clave: partículas atmosféricas, PM₁₀, particulado inhalable.

EVALUATION OF PM₁₀ PARTICULATE MATERIAL CONCENTRATIONS IN PORTOVIEJO CITY, ECUADOR.

ABSTRACT



In this work we evaluated the temporal distribution of PM₁₀ atmospheric particles in Portoviejo's city, Manabí-Ecuador during the period between december-2018 to november-2019, and its relationship with some meteorological parameters. The collection of the samples (n=48) was performed using a PM₁₀ Graseby Andersen GMW 10 inlet inhalable particulate matter PM₁₀ collection equipment, using a quartz microfiber filters during 24 hours, and air flow rate of 40 ft³/min. The analysis of the results showed that the annual average of PM₁₀ concentrations in the city were 27.03±5.28 µg/m³, which is below the maximum annual permissible limit established by the Ecuadorian air quality standard; likewise, daily PM₁₀ concentrations did not exceed the permissible limit established by the standard. It was observed that there is no statistically significant difference (p>0.05) between the two seasonal periods evaluated, being season being 26.95±6.38 µg/m³ (n=25), and dry season 27.11±4.54 µg/m³ (n=23). By relating the monthly PM₁₀ concentrations with the meteorological variables, it was found that there is no significant correlation between them (p>0.05), which allows us to understand that the variation in the concentrations of inhalable particulate matter is mainly attributable to a greater influence of the fixed and mobile sources in the study area. The comparison of the Portoviejo atmospheric annual average of PM₁₀ with other cities in the world, establishes that its concentration is similar to the highly urbanized megacities, which infers that the levels of air pollution can become significant, showing an important alert about the accumulation of atmospheric pollutants in the study city.

Keywords: atmospheric particles, PM₁₀, inhalable particulate matter.

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE MATERIAIS PARTICULADOS PM₁₀ NA CIDADE DE PORTOVIEJO, EQUADOR.

RESUMO

Neste trabalho avaliou se a distribuição temporal de partículas atmosféricas PM₁₀ na cidade de Portoviejo Manabí-Ecuador durante o período de dezembro-2018 a novembro-2019, e a sua relação com alguns parâmetros meteorológicos. A coleta das amostras (n=48) foi realizada utilizando um equipamento de coleta de PM₁₀ Graseby Andersen GMW 10 inlet inhalable particulate matter PM₁₀, empregando filtros de microfibras de quartzo, durante 24 horas, e uma taxa de fluxo de ar de 40 pés³/min. A análise dos resultados mostrou que as concentrações médias anuais de PM₁₀ na cidade foram de 27,03±5,28 µg/m³, o que está abaixo do limite máximo anual permitido estabelecido pelo padrão de qualidade do ar equatoriano; da mesma forma, as concentrações diárias de PM₁₀ não excederam o limite permitido estabelecido pelo padrão. Observou-se que não há diferença estatisticamente significativa (p>0,05) entre os dois períodos sazonais avaliados, sendo o valor para a estação chuvosa 26,95±6,38 µg/m³ (n=25), e para a estação seca 27,11±4,54 µg/m³ (n=23). Ao relacionar as concentrações mensais de PM₁₀ com as variáveis meteorológicas, verificou-se que não há correlação significativa entre elas (p>0,05), o que nos permite entender que a variação nas concentrações de partículas inaláveis é principalmente atribuível a uma maior influência das fontes fixas e móveis na área de estudo. A comparação da média anual PM₁₀ da atmosfera de Portoviejo com outras cidades do mundo, estabelece que sua concentração é semelhante à de megacidades altamente urbanizadas, o que infere que os níveis de poluição do ar podem se tornar significativos, mostrando um alerta importante sobre o acúmulo de poluentes atmosféricos na cidade em estudo.

Palavras chave: partículas atmosféricas, PM₁₀, material particulado inalável.

Citaci3n sugerida: Vélez Mendoza, N., Cano, Y., Sánchez, L. (2022). Evaluaci3n de las concentraciones de material particulado PM₁₀ en la ciudad de Portoviejo, Ecuador. Revista Bases de la Ciencia, 7 (Nro Especial), Diciembre, 23-36 DOI: <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4240>





1 INTRODUCCIÓN

Diversos trabajos publicados recientemente, ponen de manifiesto el desafío que actualmente representa la contaminación atmosférica a nivel mundial, especialmente en los entornos urbanos Thürkow et al., (2021). Los contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire son diversos, principalmente los que se generan a partir de fuentes naturales y antropogénicas, donde ejerce gran influencia del crecimiento del urbanismo a nivel global, el incremento del parque automotriz e industrial, la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa y de bosques, la construcción, etc. (Kliengchuay et al., 2021).

El aumento de las concentraciones de contaminantes afecta a los ecosistemas en general, tanto directa como indirectamente (Sharma y Sharma, 2016). A nivel internacional existen organismos como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA (por sus siglas en inglés *United States Environmental Protection Agency*), que regula y considera como contaminantes críticos, las partículas suspendidas PM_{10} ($\leq 10 \mu m$) y $PM_{2.5}$ ($\leq 2.5 \mu m$) (EPA, 2021). Se define como el estado crítico de las partículas suspendidas, a su contribución en la mortalidad y morbilidad con incidencias sobre enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias (Sarnaglia et al., 2021). También existen otras partículas de menor tamaño como las PM_1 , con diámetro equivalente menores a 1 micrómetro y gran contenido de carbono y metales tóxicos, las cuales tienen fuertes efectos sobre el forzamiento radiactivo directo que incluyen no solamente aumentos en la temperatura sino, además, modificaciones en los patrones de lluvia y en la visibilidad, cuyo origen es principalmente antropogénico (Morantes et al., 2019).

Estudios recientes han demostrado que la exposición prolongada, por parte de la población, a contaminantes atmosféricos como las PM_{10} puede producir efectos nocivos sobre la salud, tales como enfermedades cardiovasculares, derrame cerebral, y relacionadas con la función pulmonar, entre otras, reduciendo la esperanza de vida de los habitantes del territorio afectado por la contaminación atmosférica con PM_{10} (Mueller et al., 2020; Pothirat et al., 2019; Neisi et al., 2017).

De acuerdo con cifras reportadas por el Estudio de la Carga Mundial de Enfermedades (Global Burden of Disease Study), la contaminación del aire es responsable en todo el mundo del 19% de las muertes cardiovasculares, el 24% de las muertes por cardiopatía isquémica y el 21% de las muertes por accidente cerebrovascular en 2015 (Coudon et al., 2021).

El efecto de la contaminación del aire sobre el ambiente ha sido una preocupación que se ha ido incrementado a nivel global. Los estándares de calidad del aire se establecen para indicar los niveles ambientales de contaminación que no pueden ser excedidos legalmente en una región geográfica dada

(Mueller et al., 2020; Coudon et al., 2021). En la legislación del Ecuador los límites máximos estipulados para las concentraciones de PM_{10} son 50 y 100 $\mu g/m^3$, correspondientes al promedio anual y diario respectivamente (Ministerio del Ambiente, 2015), los cuales han sido superados en algún momento, en ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca (Alemán et al., 2015).

Regalado et al. (2020) analizaron el comportamiento temporal de las concentraciones de PM_{10} y su relación con las principales variables meteorológicas en la ciudad de Loja, encontrando que existe una relación muy fuerte (nivel de significancia = 0,05) entre las variables meteorológicas como humedad relativa, precipitación, temperatura seca y temperatura de punto de rocío.

Respecto a la incidencia de la contaminación atmosférica en la salud de la población ecuatoriana, Pacheco et al. (2020) reportaron una relación positiva muy alta entre las concentraciones de dióxido de nitrógeno y la incidencia por COVID-19 en las ciudades más pobladas del país. Este estudio, aunque no se trate directamente de partículas suspendidas, es importante considerarlo porque reporta cifras recientes de afectaciones en la salud de la población, por actividades antrópicas que también generan material particulado.

Por otra parte, la dirección de ambiente del GAD-Portoviejo ha registrado en los años 2012-2014 que no se ha sobrepasado el límite permisible de las partículas atmosféricas según las normas ambientales ecuatorianas. La composición de material particulado PM_{10} no ha llegado más allá de 56,18 $\mu g/m^3/24h$ en el 2013, y ha sido mucho menor en el 2012. (GAD Portoviejo, 2015).

La composición de material particulado de Portoviejo tiene influencia de las actividades extractivas de material pétreo de las canteras de Picoazá, lo que es también un factor importante a considerar a la hora del análisis de calidad de aire. Sin embargo, no se registran alteraciones psicosociales ni afectaciones a la salud de manera directa sobre la población vinculadas a esta actividad, y como se observa tampoco a la producción directa de gases por el parque automotor de la ciudad (Azua, 2014).

El mayor aporte de material particulado al aire en Portoviejo se da en ciertas áreas de las parroquias aledañas del cantón, precisamente durante la estación seca que se presenta entre los meses de mayo a diciembre; en el periodo de invierno, entre enero y abril, también se pueden presentar concentraciones de partículas atmosféricas acentuadas por causa de flujos de lodo que ocurren en esta época, que posteriormente por acción del sol y el viento generan material particulado en suspensión (UCuenca EP, 2018).

En este trabajo se evaluó la distribución temporal durante un año, de las concentraciones de PM_{10} en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador, y su relación con algunos parámetros meteorológicos del área de estudio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Datos atmosféricos y meteorológicos

Este estudio está comprendido entre el período diciembre 2018 a noviembre 2019. Se emplearon datos correspondientes a valores de PM_{10} ($\mu g/m^3$), obtenidos en colaboración con el Gobierno Municipal del Cantón Portoviejo, mediante un equipo de recolección de muestras de partículas inhalables PM_{10} Graseby Andersen GMW 10 inlet. Estos datos se recolectaron mediante filtración de aire sobre filtros de microfibra de cuarzo durante aproximadamente 24 horas, a una velocidad de flujo de aire de 40 pies³/min. Los filtros fueron ambientados a las condiciones del sitio de estudio y las muestras recolectadas fueron pesadas utilizando una balanza analítica, con precisión y exactitud adecuada.

Condiciones Topográficas

En general el cantón Portoviejo presenta un relieve bastante irregular ya que sus montañas están cubiertas en buena parte por ceibos y bosques secos, la cabecera cantonal se encuentra a 37 metros sobre el nivel del mar y Portoviejo como tal cuenta dentro de su sistema orográfico con elevaciones que van desde 250 hasta 600 m. sobre el nivel del mar, y los más importantes son los cerros de Bálsamo que separan las cuencas hidrográficas del cantón (Macías Cedeño & Miele Segura, 2020).

Condiciones Meteorológicas

De manera general se puede mencionar que el clima en la ciudad de Portoviejo es bastante equilibrado, es así que la temperatura promedio es de 24 °C, aunque posee máximas relativas que pueden alcanzar los 36 °C. Por otra parte, la ciudad presenta datos promedios de precipitación que oscilan entre los 500 a 600 mm anuales, dentro de estos valores promedio no se encuentran considerados aquellos años que se estiman atípicos por efectos de las sequías extremas o años considerados como fenómenos del Niño. Es importante resaltar que la influencia directa de las corrientes oceánicas y eólicas globales no impacta de manera directa en el territorio de Portoviejo debido al sistema de relieve que posee, y por la estacionalidad climática que se tiene, un tercer factor es también la geomorfología y ubicación de la cuenta de los ríos Portoviejo y río Chico que permiten un amortiguamiento y disipación de estos vientos. Por lo tanto, los vientos predominantes que atraviesan la ciudad, tienen una dirección noroeste – sureste, ya que existen vientos frescos provenientes de la Costa, justamente en la dirección del valle del río Portoviejo se producen las corrientes de aire más importantes las que se presentan con mayor intensidad en un período que va desde julio hasta octubre, sobre todo las tardes (GAD Portoviejo, 2015).

Ubicación geográfica

En la **Figura 1** se puede observar la ubicación del sitio de recolección de muestras, así como de la estación meteorológica para la medición de parámetros climáticos considerados. La ciudad de Portoviejo tiene una población de aproximadamente 280.029 habitantes y una tasa de crecimiento de 23%, según lo establece el último censo realizado por el INEC (2010), lo que podría implicar un aumento en el número de viviendas y con ello la demanda de servicios que afectan el medio ambiente. La calidad del aire se midió en el terminal terrestre de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí en la República de Ecuador georreferenciado con las coordenadas -1.061906° de Latitud Norte y -80.459451° de Longitud Occidental.

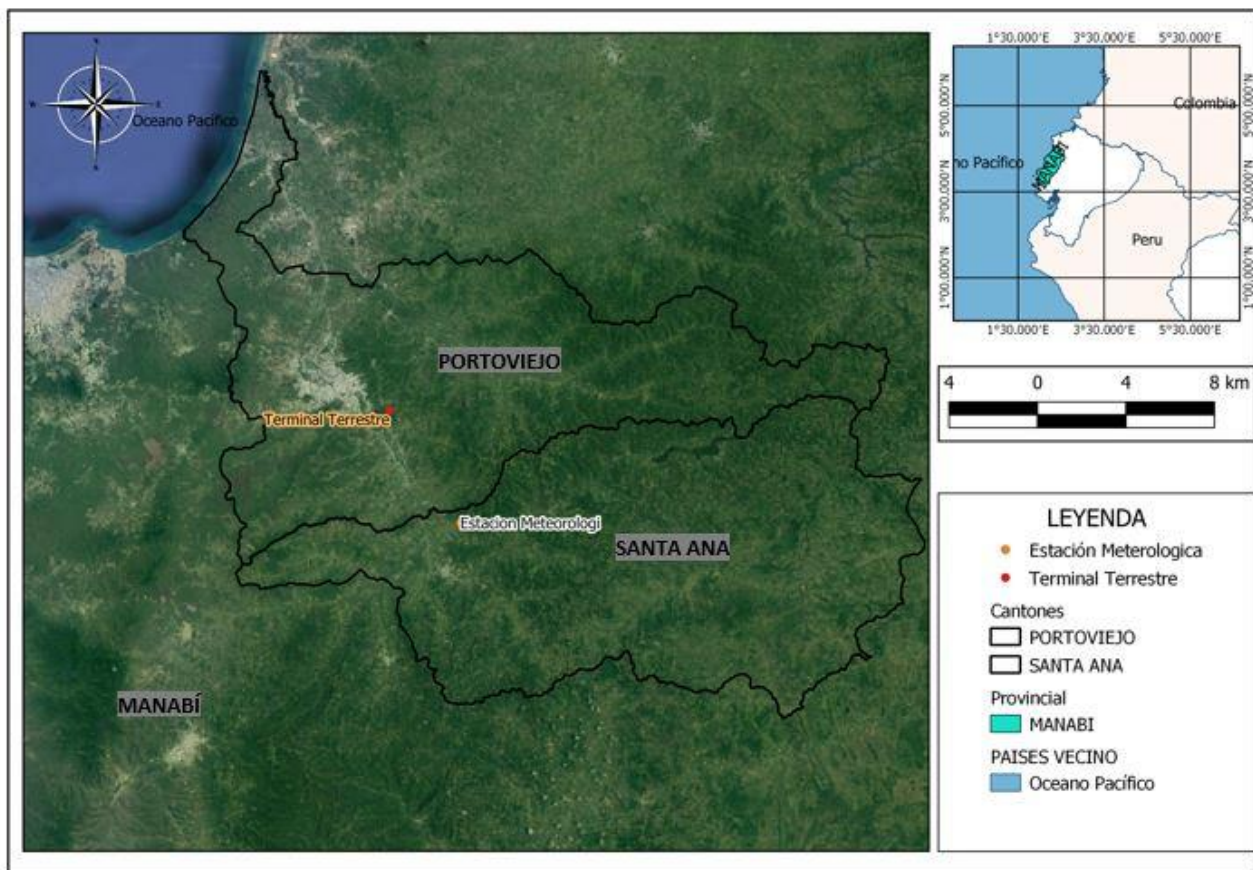


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona del Terminal Terrestre de la ciudad de Portoviejo y la Estación Meteorológica sitio donde se recolectaron los datos meteorológicos usados para el estudio de PM_{10} .

Fuente: Google Earth.

El punto de muestreo fue seleccionado tomando en cuenta la acumulación de transporte vehicular que acuden al terminal terrestre de la ciudad y, por ende, a la cantidad de generación de material particulado que se genera.

Los datos de las variables meteorológicas para el período de estudio, se obtuvieron en la Estación Meteorológica “La Teodomira”, ubicada en el campus experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, en la Parroquia Lodana del Cantón Santa Ana, en

las coordenadas -1.173451° de Latitud Norte y -80.387359° de Longitud Occidental. Las variables meteorológicas consideradas en este estudio fueron: precipitación, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento, para realizar análisis de correlación con la concentración de PM_{10} .

Los datos meteorológicos fueron obtenidos automáticamente, procesados estadísticamente y enviados para su validación al Centro de Datos del INAMHI, Quito. Los datos para esta investigación se obtuvieron gracias al convenio interinstitucional del INAMHI con la Universidad Técnica de Manabí.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de los datos calculando el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de Pearson de las concentraciones de material particulado (PM_{10}) para observar y describir su comportamiento.

Además, se realizó el análisis de correlación de Pearson, tomando como referencia un p-valor del 0,05 de significancia bilateral, entre las concentraciones de material particulado (PM_{10}) y las variables meteorológicas, para determinar la relación o dependencia que existe entre las mismas. Estos procesos se ejecutaron utilizando el software estadístico SPSS, versión: 25.0 marzo del 2017.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en la **Figura 2** se presentan los resultados de la evaluación del material particulado PM_{10} obtenidos en la ciudad de Portoviejo, en el período diciembre 2018 a noviembre 2019. También se muestran las fechas del muestreo con sus respectivas concentraciones de PM_{10} ($\mu g/m^3$) durante el período del estudio.

Como se observa en la **Figura 2**, la variabilidad de los niveles de partículas inhalables en la atmósfera es evidenciada por la desviación estándar (DE) calculada para el promedio anual de las concentraciones de las PM_{10} , $27,03 \pm 5,28 \mu g/m^3$, con un coeficiente de variación de Pearson de 20%, valor que cuando está por encima del 10% se considera como un elevado rango de dispersión de las variables con respecto a la media. Se estima que estas variaciones pueden estar relacionadas con diferentes actividades de fuentes antrópicas, tanto fijas, móviles, naturales, y en especial la variabilidad meteorológica a lo largo del año. En ningún caso, exceden el límite máximo permisible en la norma de calidad de aire ecuatoriana, que establece que durante 24 horas no se deberá exceder los $100 \mu g/m^3$, esto podría estar relacionado a factores que favorecen la dispersión de los contaminantes en la zona de estudio, como lo son principalmente la velocidad del viento y la topografía plana, ya que la ciudad no posee barreras geográficas importantes, entre otros factores.

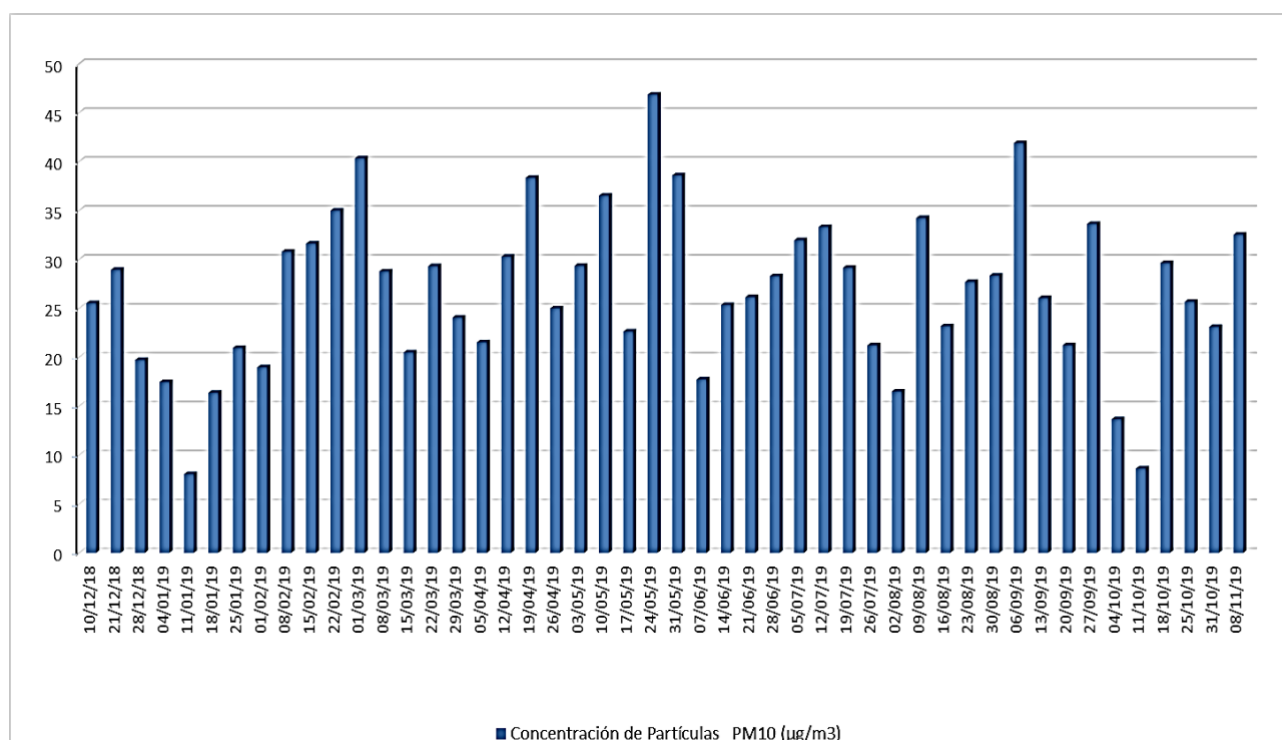


Figura 2. Concentraciones de PM₁₀ (µg/m³) en la ciudad de Portoviejo, durante el período diciembre 2018 - noviembre 2019 (n=48).

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, es importante realizar un monitoreo continuo de las PM₁₀, debido a que el valor mínimo es 8,06 µg/m³ y el máximo de los datos de concentraciones de material particulado es de 46,85 µg/m³, lo cual representa aproximadamente el 50 % del valor permitido, indicando esto que sino no se toman las previsiones correspondientes en la ciudad de Portoviejo podrían existir problemas de contaminación por material particulado inhalable PM₁₀ en el futuro próximo. Según Valle et al. (2013), este resultado ratifica el tipo de fuentes antrópicas y meteorológicas sobre las concentraciones de PM₁₀ en diferentes estaciones de una ciudad.

La **Tabla 1** muestra los promedios mensuales de las concentraciones de PM₁₀ en Portoviejo con sus desviaciones estándar (DE) y coeficientes de variación de Pearson (CV).

Como se puede observar, la desviación estándar de los valores promediados sobrepasa el 10 % del CV, lo que era de esperarse debido a que en estudios de evaluación ambiental no se manejan valores constantes de emisiones, a menos que sean producto de un proceso industrial puntualizado y se esté monitoreando la fuente de emisión específica.

Como se mencionó anteriormente, el promedio anual de concentración de PM₁₀ se estableció en 27,03±5,28 µg/m³, con un error absoluto de 1,52 µg/m³, estimado con respecto a la media de las concentraciones de material particulado (CV=20%). Este promedio anual, no excede el límite

máximo permisible anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido por la norma ecuatoriana de calidad ambiental del aire (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 1. Estadística descriptiva para las concentraciones mensuales de PM_{10} en la ciudad de Portoviejo, período diciembre 2018-noviembre 2019 (n=48).

Fecha	Promedios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Desviación Estándar (DE)	Coefficiente de Variación Relativo (CV)
Dic-18	24,73	4,66	18,84 %
Ene-19	15,71	5,47	34,82 %
Feb-19	29,10	6,99	24,02 %
Mar-19	28,60	7,49	26,19 %
Abr-19	28,79	7,32	25,43 %
May-19	34,79	9,22	26,50 %
Jun-19	24,38	4,60	18,87 %
Jul-19	28,92	5,42	18,74 %
Ago-19	26,00	6,60	25,38 %
Sep-19	30,70	9,05	29,48 %
Oct-19	20,14	8,71	43,25 %
Nov-19	32,54	1,52	4,67 %

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 2** se muestran las concentraciones de PM_{10} , así como las variables meteorológicas de temperatura, precipitación, porcentaje de humedad relativa y velocidad del viento, recolectadas en la ciudad de Portoviejo, en el mismo periodo de tiempo se realizó el muestreo del material particulado.

Tabla 2. Variables meteorológicas medidas en el período diciembre 2018-noviembre 2019 en la ciudad de Portoviejo (n=48).

Fecha	Precipitación	Temperatura Máxima	% Humedad Relativa	Velocidad media del viento
dic-18	65,00	35,90	77	0,6
ene-19	74,40	33,50	84	0,6
feb-19	208,70	34,00	85	0,5
mar-19	156,70	34,00	84	0,3
abr-19	91,00	34,50	79	0,5
may-19	56,30	34,00	82	0,4
jun-19	9,80	33,50	81	0,4
jul-19	9,60	34,50	82	0,6
ago-19	0,00	35,00	75	0,9
sep-19	0,00	34,00	74	1,1
oct-19	3,10	34,00	74	0,9
nov-19	4,80	34,20	75	0,8

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos de precipitación, los meses correspondientes a la estación lluviosa se consideran desde diciembre hasta mayo, con valores superiores a 50 mm, siendo los meses de febrero y marzo los más lluviosos del período de muestreo (Pacheco et al., 2019).

De la misma manera, los meses desde junio a noviembre, fueron los meses de menor precipitación, porque corresponden a la estación seca. El promedio de concentración de PM_{10} para el período concerniente a la estación lluviosa presenta un valor de $26,95 \pm 6,38 \mu g/m^3$ ($n=25$) y, para la estación seca de $27,11 \pm 4,54 \mu g/m^3$ ($n=23$), mostrando que no existen diferencias de medias significativas en la concentración de material particulado PM_{10} (p-valor de prueba t: $0,96 > 0,05$), provocadas por el cambio de estación período evaluado permitiendo advertir que la concentración de PM_{10} no está afectado por la estación lluviosa y seca en esta zona de estudio.

Al evaluar la correlación de Pearson, que existe entre los promedios mensuales de concentración de PM_{10} de la ciudad de Portoviejo y las variables meteorológicas, se observa que no hay una relación entre las variables (**Tabla 3**).

Tabla 3. Correlación de Pearson entre el promedio de concentración del material particulado PM_{10} mensual y las variables meteorológicas medidas por mes, en la ciudad de Portoviejo, Estación meteorológica La Teodomira, periodo dic 2018-nov 2019 ($n=12$).

	Precipitación (mm)	Temperatura máxima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)
Correlación de Pearson	0,070	-0,121	-0,041	-0,094
Significancia (bilateral)	0,828	0,709	0,900	0,773

Fuente: Elaboración propia.

La significación bilateral (p-valor) que muestra el grado de compatibilidad entre el valor poblacional propuesto y la información muestral disponible, es mayor que 0,05 lo que significa que no hay una asociación lineal entre los elementos de las muestras evaluadas, tal como se evidencia en la **Tabla 3**.

La correlación entre los promedios mensuales de PM_{10} y las variables meteorológicas: precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad de vientos, no afectaron la concentración atmosférica del material particulado en la ciudad de Portoviejo (los p-valores son $> 0,05$).

Desde el punto de vista de Pacheco et al. 2020, la variable meteorológica de más alta entropía es la temperatura seguida por la magnitud de la velocidad del viento, lo que indica que estas juegan un rol

activo en la aparición de particulado atmosférico en alguna zona de muestreo. Sin embargo, en este estudio no se encontró correlación estadísticamente significativa de las PM_{10} con respecto a ninguno de los parámetros meteorológicos, fortaleciendo la hipótesis de la posible presencia de una mayor influencia de las fuentes fijas y móviles presentes en el sitio de muestreo, sobre las concentraciones de particulado inhalable en la ciudad.

Se realizó una comparación de los valores anuales de concentración de PM_{10} de la ciudad de Portoviejo con otras ciudades del mundo: Querol (2018) reporta que entre las ciudades urbanas con menores concentraciones promedio anual de PM_{10} a nivel mundial (por debajo de los $20 \mu g/m^3$) se encuentran Ottawa, Toronto, Lisboa, Montreal, San Francisco, Kansas, New York, Washington, Bilbao, Madrid y Sídney; mientras altas concentraciones promedio anual de PM_{10} , entre 40 y $80 \mu g/m^3$, corresponden a San Salvador, Teherán, Tegucigalpa, ciudad de Guatemala, Bogotá, Hong Kong, Río de Janeiro, Tel Aviv, Kingston, Caracas, Seúl, Bangkok, ciudad de México y Beirut. Con respecto a los valores promedio de concentración anual de PM_{10} similares a la ciudad de Portoviejo (entre 20 y $30 \mu g/m^3$) se encuentran ciudades urbanas como Sevilla, Tokio, Roma, París, San José, Frankfurt, Buenos Aires, Montevideo, Barcelona, Berlín, Chicago y Los Ángeles. Esta comparación permite establecer que la concentración anual de PM_{10} de la ciudad de Portoviejo se encuentra entre los valores aceptables a nivel mundial, aunque es importante mantener un monitoreo de estas partículas, ya que su concentración está al mismo nivel que los encontrados en megaciudades muy urbanizadas, indicando una importante acumulación de contaminantes atmosféricos en la ciudad, que puede aumentar en la medida que se desarrolle comercialmente y crezca en número de habitantes. Esta comparación realizada con las grandes ciudades puede inferir que los niveles de contaminación del aire pueden llegar a ser significativos debido a que estas ciudades son urbes, donde el tráfico vehicular es constante y de alto volumen, así como las actividades industriales, lo que deteriora la calidad del aire en aquellas ciudades.

3. CONCLUSIONES

Como respuesta a los objetivos planteados en esta investigación, se determinó el promedio anual de las concentraciones de PM_{10} en la ciudad de Portoviejo (diciembre 2018 - noviembre 2019): $27,03 \pm 5,28 \mu g/m^3$, el cual muestra que se encuentra por debajo del límite máximo permisible anual establecido por la norma ambiental ecuatoriana. Las concentraciones diarias de PM_{10} encontradas en el estudio realizado tampoco sobrepasaron el límite establecido por la normativa ambiental vigente. El promedio de concentración de PM_{10} para las estaciones lluviosa y seca presentaron valores promedio sin diferencias significativas, con un p-valor de prueba t: $0,96 > 0,05$.

Al correlacionar las concentraciones mensuales de PM_{10} con las variables meteorológicas, se concluye que la variación de las concentraciones del material particulado inhalable es atribuible a una

mayor influencia de las fuentes fijas y móviles de la zona de estudio, más que a las variables meteorológicas de la ciudad, debido a que no existe correlación estadísticamente significativa entre ellas (p-valores de correlación de Pearson $> 0,05$).

La comparación del particulado atmosférico inhalable ($<10 \mu\text{m}$) de Portoviejo con otras ciudades del mundo, permite establecer que la concentración anual de PM_{10} se encuentra dentro de valores aceptables a nivel mundial, aunque su concentración es comparable con megaciudades muy urbanizadas, lo que puede mostrar una alerta importante sobre la acumulación de contaminantes atmosféricos en la ciudad de estudio.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ingeniero Miguel Estévez Moreira, jefe técnico de medio ambiente del Municipio de Portoviejo, así como al Ingeniero Carlos Julio Mina Nausin, técnico regional de la Red Nacional de Observación Hidrometeorológica -INAMHI-, por su valiosa colaboración al aportar los datos actualizados de las PM_{10} del muestreo 2018-2019 y las variables meteorológicas de la zona de recolección de muestra.

5 DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

6 REFERENCIAS

- Alemán, A. A., Orellana, M. R., Alvear, N. G., Arévalo, G. G., Valle, I. G., Moscoso, N. B. (2015). Caracterización química del material particulado PM_{10} de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. *Revista de toxicología*, 32 (2), 121-126. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91942717009.pdf>
- Azua, J. M. (2014). Estudio De Impacto Ambiental Expot Fishcorp S.a. <https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/EIA-JENMER-3.pdf>
- Celi, S. (2018). Análisis del sistema de transporte público privado de la ciudad de Quito – Ecuador. *Revista Espacios*. 39 (19), 1-10. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n19/18391901.html#uno>
- Coudon, T., Nguyen, C. V., Volta, P., Grassot, L., Couvidat, F., Soulhac, L., Salizzoni, P. (2021). Retrospective Modeling of NO_2 and PM_{10} Concentrations over the Lyon Metropolitan Area (France), 1990–2010—Performance Evaluation, Exposure Assessment and Correlation between Pollutants. *Atmosphere*, 12(2), 239. <https://doi.org/10.3390/atmos12020239>
- EPA. (2021). Nonattainment Areas for Criteria Pollutants (Green Book). <https://www.epa.gov/green-book/green-book-pm-10-1987-area-information>
- GAD Portoviejo. (2015). Diagnóstico por componentes ambiental, sociocultural, económico, institucional y diagnóstico integrado. Plan de Desarrollo Del Cantón Portoviejo, 149. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360000200001_FASE_1_DIAGNOSTICO_PDGDAD_PORTOVIEJO_06-04-2016_11-10-05.pdf
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda>. Fecha de consulta: 12/05/2021



- Kliengchuay, W., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Meeyai, A. C., & Tantrakarnapa, K. (2021). Influence of the meteorological conditions and some pollutants on PM₁₀ concentrations in Lamphun, Thailand. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-020-00598-2>
- Macías Cedeño, L. E., & Miele Segura, K. A. (2020). Evaluación de áreas verdes existentes en la zona urbana del cantón Portoviejo”. 67. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2227>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4 Norma de Calidad del aire ambiente o niveles de inmisión Quito-Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Morantes-Quintana, G. R., Rincón-Polo, G., Pérez-Santo domingo, N. A. (2019). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de PM₁. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 179-194. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.13>
- Mueller W., Loh M., Vardoulakis S., Johnston H.J., Steinle S., Precha N., Kliengchuay W., Tantrakarnapa K., Cherrie J.W. (2020). Ambient particulate matter and biomass burning: an ecological time series study of respiratory and cardiovascular hospital visits in northern Thailand. *Environ Health* 19:77. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00629-3>
- Neisi A, Vosoughi M, Idani E, Goudarzi G, Takdastan A, Babaei AA, et al. (2017) Comparison of normal and dusty day impacts on fractional exhaled nitric oxide and lung function in healthy children in Ahvaz, Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 24:12360–71. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8853-4>
- Pacheco, H., Díaz-López, S., Jarre, E., Pacheco, H., Méndez, W., Zamora-Ledezma, E. (2020). NO₂ levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health. *Urban Climate*, 34, 100674. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100674>
- Pacheco, H., Montilla, A., Méndez, W., Hipatia-Delgado, M., & Zambrano, D. (2019). Causes and consequences of the extraordinary rainfall of 2017 on the Ecuadorian coast: The case of the province of Manabí. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 48 (2), 45-70. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.766>
- Pothirat C, Chaiwong W, Liwsrisakun C, et al. (2019). Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. *J Thorac Dis*. 11(7):3070–83. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.07.37>
- Querol X. (2018). La calidad del aire en las ciudades: un reto mundial. Editorial: Fundación Gas Natural Fenosa. 1era Edición. Madrid, España. ISBN: 978-84-09-01905-2. Pp. 300. <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Regalado, A., Paccha, E., Álvarez, O., & Montañó, T. (2020). Comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ en la ciudad de Loja-Ecuador y su relación con variables meteorológicas. *Journal of Science and Research*, 5(1), 137-148. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/755>
- Sarnaglia, A.J., Godoi, L.G., Rodrigues, M.C. (2021). Estimating critical level of PM₁₀ to affect hospital infant admissions in Vitória, Brazil. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-021-01979-1>
- Sharma R.C., Sharma N. (2016) Influence of Some Meteorological Variables on PM₁₀ and NO_x in Gurgaon, Northern India. *Am J Environ Prot*. 4(1):1–6. <https://doi.org/10.12691/env-4-1-1>
- Thürkow, M., Kirchner, I., Kranenburg, R., Timmermans, R. M. A., Schaap, M. (2021). A multi-meteorological comparison for episodes of PM₁₀ concentrations in the Berlin agglomeration area in Germany with the LOTOS-EUROS CTM. *Atmospheric Environment*, 244, 117946. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117946>
- UCuenca EP. (2018). “Estudios Integrales de Factibilidad y Diseño Definitivo de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial de las Parroquias Urbanas y Parroquias Rurales del Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí.” Portoaguas, 21.1, 75–115. https://ucuencaep.com.ec/proyecto_dieciocho
- Valle U., Vinasco S., Pablo J., Nastar C., Teresita R., Espacial V., Concentraciones Y. T. D. E., En D. E. P. M., Área E. L., & Valle U. (2013). Variación Espacial Y Temporal De Concentraciones De PM₁₀ En El Área Urbana De Santiago De Cali, Colombia. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 12, 129–141. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231130851011.pdf>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Nila Vélez Mendoza	Diseño de la introducción, marco teórico y metodológico, tabulación y graficación de resultados obtenidos por medio de los instrumentos de medición, redacción de la discusión y conclusión de los resultados.
Yulixis Cano	Revisión de la tabulación y graficación de los datos y la estadística; mejoras en la redacción de la discusión de resultados y la conclusión del trabajo, así como la redacción en general.
Ligbel Sánchez	Revisión de la tabulación y graficación de los datos y la estadística; mejoras en la redacción de la discusión de resultados y la conclusión del trabajo, así como la redacción en general.