

INFLUENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO, SECTOR LA PRADERA II, GUAYAQUIL

INFLUENCE OF VEHICLE FLOW ON CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATERIAL, LA PRADERA II SECTOR, GUAYAQUIL

Cristian Lara-Basantes¹, Tomás Hernández-Paredes^{1,4}, JeanCarlo Andrade², Guido Patricio Santillán Lima³, Rómulo Cabezas¹

¹Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador

²Carrera de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, Universidad Indoamérica, Quito, Ecuador

³Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

⁴Carrera de Ingeniería en Petróleo, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador

Email: clara@uagraria.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
29/12/2023

Aceptado:
13/05/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
15(1):21-28

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.458

Resumen

La presente investigación se centra en conocer la influencia del flujo vehicular en las horas pico con respecto a las concentraciones a nivel del suelo de material particulado con 10 y 2,5 micras de diámetro (PM₁₀ y PM_{2,5}) en la zona norte del sector La Pradera II, Guayaquil-Ecuador. Para registrar el flujo vehicular se empleó el método de conteo manual y para medir las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} se utilizó un monitor de calidad de aire marca Dylos modelo DC1700; esto se llevó a cabo en tres días de la semana (martes, jueves y domingo) durante cuatro semanas, en siete puntos y en dos jornadas horarias (diurna y nocturna). Se calcularon los promedios a los valores obtenidos para representarlos en series temporales, histogramas, test de normalidad y correlación de Spearman. Los resultados mostraron que, en muchos casos no se observan correlaciones significativas, especialmente en la jornada diurna, donde en ocasiones, las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} no son directamente proporcionales al número de vehículos. Mientras que en la jornada nocturna existen correlaciones que varían entre positivas débiles y moderadas, indicando que los aumentos en las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} se asocian a incrementos leves y moderados del número de vehículos. Gran parte de estas variaciones son atribuidas al dinamismo que poseen las partículas ante factores no contemplados en este estudio, tales como: meteorológicos, de diseño urbano y características propias de cada vehículo.

Palabras clave: Correlación, calidad de aire, Dylos, PM₁₀, PM_{2,5}, vehículos

Abstract

The present investigation focuses on knowing the influence of vehicular flow during peak hours with respect to ground-level concentrations of particulate matter with 10 and 2.5 microns in diameter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in the northern area of the sector. La Pradera II, Guayaquil-Ecuador. To record the vehicle flow, the manual counting method was used and to measure the concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5}, a Dylos air quality monitor model DC1700 was used; this was carried out on three days of the week (Tuesday, Thursday and Sunday) for four weeks, at seven points and in two time shifts (day and night). The averages were calculated from the values obtained to represent them in time series, histograms, normality test and Spearman correlation. The results showed that, in many cases, no significant correlations are observed, especially during the daytime, where sometimes the concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} are not directly proportional to the number of vehicles. While at night there are correlations that vary between weak and moderate positive, indicating that increases in PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations are associated with slight and moderate increases in the number of vehicles. A large part of these variations are attributed to the dynamism that the particles possess due to factors not contemplated in this study, such as: meteorological, urban design and characteristics of each vehicle.

Keywords: Correlation, air quality, Dylos, PM₁₀, PM_{2,5}, vehicles.

INTRODUCCIÓN

La forma en como el ser humano se moviliza es uno de los mayores retos que las ciudades en crecimiento deben afrontar, donde generalmente el aumento de su parque automotor no va de la mano con la creación de normativas e infraestructuras necesarias para mejorar la vialidad (Cabrera-Arana *et al.*, 2015). En las ciudades densamente pobladas, las emisiones de Material Particulado (PM por sus siglas en inglés) hacia la atmósfera se originan principalmente a causa del flujo vehicular (UNICEF, 2020). Mayer (1999) indica que los niveles de contaminación en el aire de las ciudades aumentan por la combinación entre el incremento de la población y los cambios del uso del suelo para aumentar áreas urbanas. Así también, Rojas (2007) sostiene que uno de los aspectos determinantes en la calidad de vida de un centro urbano, es la calidad de aire que los pobladores respiran y Pérez (2017) reafirma que la existencia de PM en el aire afecta directamente en la salud de los seres humanos, animales e incluso plantas.

En los humanos, la presencia de PM en el aire, especialmente de PM_{2,5} (material particulado con un diámetro menor o igual a 2,5 micras) y de PM₁₀ (material particulado con un diámetro menor o igual a 10 micras) conduce a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y afectaciones a los ojos debido al diámetro que poseen las partículas; mientras más pequeña es la partícula, mayor es su capacidad de penetrar en el cuerpo humano y de generar afectaciones graves, principalmente en el sistema respiratorio donde se encuentran los alvéolos pulmonares, lo que puede producir eventualmente cáncer y conllevar a la muerte (UNICEF, 2020). El PM con un diámetro igual o menor a 10 micras es uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos del mundo y que en las urbes es emanado principalmente por los vehículos con motor que operan con combustibles fósiles. A nivel mundial, alrededor de 3,7 millones de personas mueren a causa de problemas respiratorios y cardiovasculares ocasionados por las concentraciones de PM presentes en las ciudades, siendo este contaminante el autor de una de cada nueve muertes en el mundo (OPS/OMS, 2016).

En las urbes con una población densa existen varios factores que intervienen en las variaciones de las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀, entre los cuales, a más del tamaño y la conformación del parque automotor como principal factor, también influye la geometría de las calles, el número de edificaciones contiguas, la altura de los edificios y el viento en términos de velocidad y dirección (Manzi *et al.*, 2003; Lipp, 2014). Teniendo en cuenta que los vehículos pesados como camiones o buses generan mayores emisiones de PM_{2,5} y PM₁₀, por contar con motores de alta potencia, deficiencia en su estado técnico y falta de mantenimiento (Torres y Vitale, 2018).

Desde hace varios años, la ciudad de Guayaquil perteneciente a la provincia del Guayas ha presentado un intenso tráfico vehicular, debido al crecimiento exponencial de su parque automotor, lo que estaría relacionado a su crecimiento demográfico y a la falta de opciones adecuadas de transporte público. Es común en la ciudad que varios sectores sufran a diario de congestamientos vehiculares, principalmente en horas pico, que corresponden en su mayoría al inicio y fin de las jornadas laborales y estudiantiles (Ashhad *et al.*, 2020) y donde se estarían generando gran cantidad de partículas a nivel de inmisión, es decir, a nivel del suelo (Morales-Pinzón y Arias, 2013; Verdezoto *et al.*, 2020). Solamente en el periodo de 2002 al 2010, en la provincia del Guayas se reportaron cerca de 233 000 casos de infecciones respiratorias agudas, atribuidas en gran medida al PM, encontrándose la mayor parte de este problema en el cantón Guayaquil (MAE, 2010).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC) en el 2010, la población del cantón Guayaquil se posicionaba en alrededor de 2,4 millones de habitantes y la proyección hasta el 2020 se estimaba que aumentaría hasta 2,7 millones, estos valores corresponden entre el 60% al 67% del total de habitantes de la provincia del Guayas (alrededor de 37 millones en los 2010 y 4,4 millones en el 2020), siendo por muchos años uno de los cantones más poblados del país (INEC, 2010). Por otro lado, la cantidad total de vehículos a motor matriculados en la provincia aumentó de 0,48 millones en el 2016 hasta 0,66 millones en el 2022, de los cuales 0,43 millones correspondían solo al cantón Guayaquil en el 2022 (INEC, 2022).

Con estos antecedentes, en el presente trabajo se analiza si las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} en la zona norte del sector La Pradera II están directamente relacionadas con el flujo vehicular existente en horas pico. De esta manera, se busca comprender mejor la fuente y la magnitud de la contaminación por este tipo de partículas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la zona norte del sector La Pradera II, ubicado el sureste de la ciudad de Guayaquil, entre la Avenida Domingo Comín y el sector de La Pradera III, cerca de las terminales portuarias (Figura 1). Este sector posee un importante flujo vehicular, principalmente en horas pico, debido a la presencia de industrias, locales comerciales, instituciones educativas, parques y estaciones de Metrovía (Sistema de Transporte Público Municipal), conectadas por una vía principal de doble sentido (Av. Domingo Comín) y calles de un solo sentido, donde transitan desde automotores pequeños de dos a cuatro ruedas, hasta buses y vehículos de carga pesada.

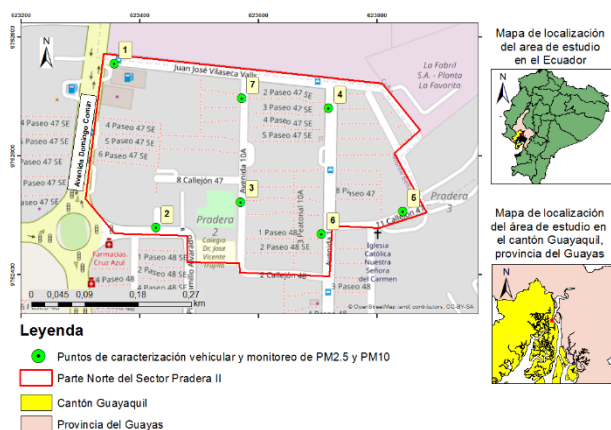


Figura 1. Ubicación del área de estudio con los puntos de caracterización vehicular y monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Caracterización y monitoreo

Dentro del área de estudio se establecieron 7 puntos considerando criterios como accesibilidad y seguridad (Figura 1), donde de manera simultánea se procedió a caracterizar el flujo vehicular y monitorear la concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$, en un lapso de 10 minutos por cada punto seleccionado durante 2 horas aproximadamente, considerando tiempos de traslado de un punto a otro. Esto fue realizado en dos jornadas del día (07h00 a 09h00 – jornada diurna y 18h00 a 20h00 – jornada nocturna), en 4 semanas continuas, donde no existan feriados. Se consideraron estos horarios por ser los periodos iniciales y finales de la jornada laboral y estudiantil del sector, donde usualmente se presencia mayor flujo vehicular. En el Cuadro 1 se describen las semanas cuando se realizó la caracterización del flujo vehicular y el monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$, los días seleccionados y su simbología.

Cuadro 1. Semanas y días de caracterización vehicular y monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Semana	Día	Simbología
Semana 1 (del 17 al 23 de octubre de 2022)	Martes	M1
	Jueves	J1
	Domingo	D1
Semana 2 (del 24 al 30 de octubre del 2022)	Martes	M2
	Jueves	J2
Semana 3 (del 07 al 13 de noviembre del 2022)	Domingo	D2
	Martes	M3
Semana 4 (del 14 al 20 de noviembre del 2023)	Jueves	J3
	Domingo	D3
Semana 4 (del 14 al 20 de noviembre del 2023)	Martes	M4
	Jueves	J4
Semana 4 (del 14 al 20 de noviembre del 2023)	Domingo	D4

Nota: Las fechas corresponden a la época seca de la ciudad de Guayaquil. No fue considerada la semana del 31 de noviembre al 06 de diciembre del 2022 por tener días de feriado nacional.

Para la caracterización del flujo vehicular se utilizó la metodología de conteo manual, ideal para conteos de poco

tiempo de duración establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (2016). Este método permitió contar los vehículos que transitaron por cada punto seleccionado de forma visual, donde se registró la información en una hoja de conteo. En esta hoja se tomaron en cuenta los vehículos según su función y características (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de vehículos según su función y características (Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México, 2016)

Vehículos de Pasajeros		Vehículos de Carga
Tipo A	Tipo B	Tipo C
Automóviles, motocicletas y automóviles con remolque	Autobuses de 2 a 4 ejes	Camiones unitarios de 2 a 3 ejes, camión con remolques, tractores con 3 ejes y semirremolque de 2 a 3 ejes, otros tractores con 1 o 2 ejes con semirremolque de 2 ejes y remolques de 4 ejes, y otros tractores con semirremolque y remolque

En cuanto al monitoreo de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , se empleó la metodología de analizadores automáticos, que proporciona una medición de alta resolución y en tiempo real, mediante métodos electro ópticos como absorción de rayos ultravioletas o infrarrojos (Dirección General de Salud Ambiental de Perú, 2005). Estas mediciones se llevaron a cabo en cada punto seleccionado, con el monitor de calidad de aire Dyllos - Modelo DC1700-PM ($PM_{2.5}/PM_{10}$) AQM, el cual contiene una pantalla LCD con un gráfico de barras que indica al instante las lecturas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en $\mu g/m^3$ y permite descargar los datos almacenados junto con el tiempo real de medición desde su software incorporado Dyllos Logger 3.0 (Dyllos Corporation, 2022). El monitor fue colocado sobre un trípode a una altura de 1,5 m.

Se empleó estadística descriptiva a los datos obtenidos, calculando el promedio aritmético entre todos los puntos de monitoreo de cada día y en ambas jornadas, por cada variable analizada (concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$, número de Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga). Estos datos se representaron en gráficos de series temporales, tanto para la jornada diurna como nocturna, con el propósito de visualizar y analizar sus variaciones a lo largo del tiempo, constituyendo un paso inicial hacia la representación gráfica de las tendencias y patrones temporales de las variables bajo observación, permitiendo identificar patrones específicos en los distintos periodos de monitoreo, así como para comprender que tanto influye el flujo vehicular en las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Así también, se confeccionaron histogramas y test de normalidad para los datos ambas jornadas. Los histogramas ayudaron a representar la distribución de las variables bajo análisis; este enfoque permitió visualizar la frecuencia con la que se presentan distintos valores, brindando una perspectiva general de la forma de

distribución de cada variable. El test de normalidad ayudó a evaluar los resultados, mediante la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95%, con el fin de discernir si los datos presentan características paramétricas o no paramétricas; este enfoque metodológico fortalece la comprensión de la naturaleza de los datos y contribuye a la robustez del análisis estadístico.

Finalmente, se aplicó el método estadístico no paramétrico de Spearman para conocer las correlaciones entre las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ con respecto a la cantidad de Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga; la correlación cercana a cero denota una relación prácticamente inexistente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el gráfico 1 y 2 se indica el promedio de las variables de cada día en la jornada diurna y nocturna, respectivamente, representados en series temporales.

En la jornada diurna, durante las dos primeras semanas a pesar del aumento y descenso considerable del número de vehículos, se observa que las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ no varían de forma significativa y se mantienen en rangos de $41,2 \mu\text{m}^3$ a $52,1 \mu\text{m}^3$ para PM_{10} y entre $22,2 \mu\text{m}^3$ a $29,2 \mu\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$. En el M3 y D3 existen discrepancias notables: el M3 presenta un aumento significativo del número de ambos tipos de vehículos, sin embargo, también se tuvo el descenso más importante en las concentraciones de PM_{10} con $23,0 \mu\text{m}^3$ y $PM_{2.5}$ con $13,1 \mu\text{m}^3$, el D3 por el contrario, presentó una disminución importante de vehículos y un aumento en las concentraciones de PM_{10} con $57,1 \mu\text{m}^3$ y $PM_{2.5}$ con $31,0 \mu\text{m}^3$. En la cuarta semana se evidenciaron valores directamente proporcionales en todos los días, cuando el número de vehículos aumentó y disminuyó, las concentraciones también lo hicieron; en el J4 se registraron los valores más altos de PM_{10} y $PM_{2.5}$, con $87,2 \mu\text{m}^3$ y $42,4 \mu\text{m}^3$, respectivamente (Gráfico 1).

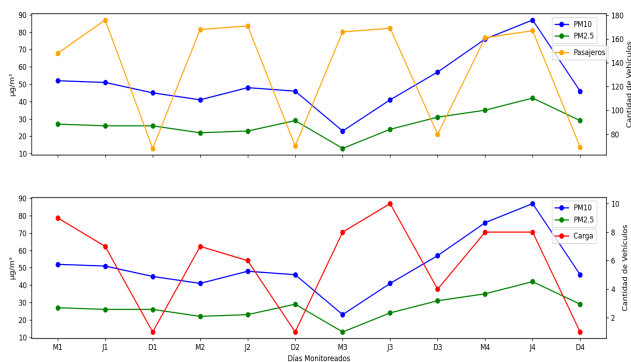


Gráfico 1. Serie de datos temporales – Jornada Diurna

En la jornada nocturna, la primera y segunda semana presenta días con disminuciones y aumentos en el número de vehículos, que están a la par con las concentraciones de

PM_{10} y $PM_{2.5}$, mucho más marcado en PM_{10} donde se registran valores que fluctúan entre $36,3 \mu\text{m}^3$ a $89,1 \mu\text{m}^3$, mientras que el $PM_{2.5}$ presenta valores entre $20,3 \mu\text{m}^3$ a $44,0 \mu\text{m}^3$. Por otro lado, la mayoría de los días de la tercera y cuarta semana presenta varias discrepancias, los valores de PM_{10} y $PM_{2.5}$ no varían significativamente en relación al aumento y disminución del número de ambos tipos de vehículos; el PM_{10} presenta concentraciones entre $35,0 \mu\text{m}^3$ a $72,2 \mu\text{m}^3$ y el $PM_{2.5}$ entre $20,0 \mu\text{m}^3$ a $31,0 \mu\text{m}^3$, estas discrepancias no existen en M3 y D4, donde al aumentar y disminuir el número de vehículos, los valores de ambos tipos de PM, también lo hacen (Gráfico 2).

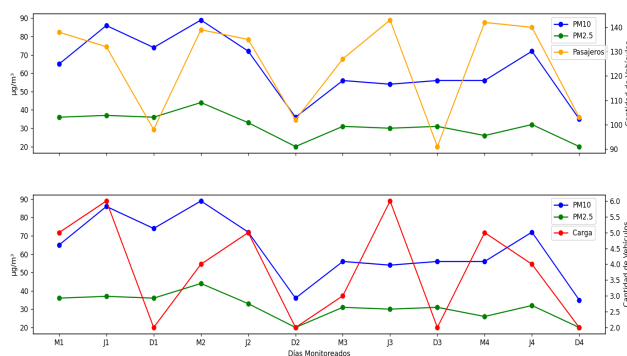


Gráfico 2. Serie de datos temporales – Jornada Nocturna

El gráfico 3 indica la distribución del PM_{10} y $PM_{2.5}$ con respecto a los vehículos de pasajeros y de carga en la jornada diurna, mediante histogramas. El histograma del PM_{10} muestra una distribución relativamente simétrica y centrada alrededor de los valores intermedios, la forma de la distribución parece ser aproximadamente normal, con una ligera asimetría hacia la derecha; los datos están más concentrados en el rango medio de valores. El histograma del $PM_{2.5}$ muestra una distribución que tiende a la derecha, indicando una mayor concentración de valores más bajos, esto podría sugerir que la mayoría de las observaciones tienden a ser más bajas, con algunos valores más altos presentes; la distribución podría considerarse sesgada a la derecha. El histograma de Vehículos de Pasajeros muestra una distribución que parece ser bimodal, lo que sugiere la presencia de dos grupos distintos, este patrón podría deberse a diferentes condiciones de tráfico durante el periodo diurno; hay una mayor concentración de observaciones con un rango entre 45 a $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} (4 observaciones) y un rango entre 22 a $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$ (6 observaciones). El histograma de Vehículos de Carga muestra una distribución sesgada a la derecha, con la mayoría de las observaciones en el extremo inferior del rango y algunos valores más altos presentes; la concentración de observaciones tiende a ser más baja para vehículos de carga durante la jornada diurna.

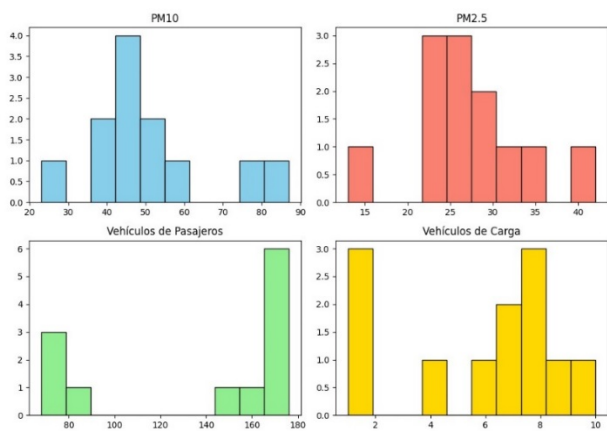


Gráfico 3. Histogramas – Jornada Diurna

Por otro lado, el test de normalidad de la jornada diurna se presenta en el cuadro 3. Se puede asumir que, los datos de PM_{10} y $PM_{2,5}$ siguen una distribución normal: el p-valor de ambos es mayor que el nivel de significancia de 0,05, lo que sugiere que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Mientras que los datos de Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga, se puede decir que no siguen una distribución normal: el p-valor es menor que 0,05, lo que sugiere que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Cuadro 3. Test de normalidad Shapiro-Wilk – Jornada Diurna

Variables	W	p-valor
PM_{10}	0,8926	0,1271
$PM_{2,5}$	0,9588	0,7671
Vehículos de Pasajeros	0,7234	0,0014
Vehículos de Carga	0,8583	0,0466

Los histogramas de distribución de PM_{10} y $PM_{2,5}$ con respecto a los vehículos de pasajeros y de carga en la jornada nocturna, se muestran en el gráfico 4. El histograma de PM_{10} muestra una distribución simétrica y relativamente centrada, la forma de la distribución parece ser normal, lo que indica una dispersión equitativa de los valores alrededor de la media; no se observa una asimetría significativa hacia la derecha o la izquierda. El histograma de $PM_{2,5}$ muestra una distribución que tiende a la derecha, sugiriendo una concentración más alta de valores bajos; esto podría indicar que las concentraciones durante la noche tienden a tener valores más bajos de $PM_{2,5}$, pero con algunos valores más altos presentes; existe una mayor concentración de observaciones con un rango entre 51 a $56 \mu g/m^3$ para PM_{10} (4 observaciones) y un rango entre 29 a $34 \mu g/m^3$ para $PM_{2,5}$ (3 observaciones). El histograma de Vehículos de Pasajeros muestra una distribución que parece ser unimodal, con una concentración alrededor de un valor específico; esto indica que hay una frecuencia más alta de un número específico de vehículos de pasajeros durante la noche. El histograma de vehículos de carga muestra una distribución sesgada a la derecha, la

mayoría de las observaciones se encuentran en el extremo inferior del rango, con algunos valores más altos presentes; esto sugiere que, durante la noche, la frecuencia de vehículos de carga tiende a ser más baja, pero hay momentos con valores más altos.

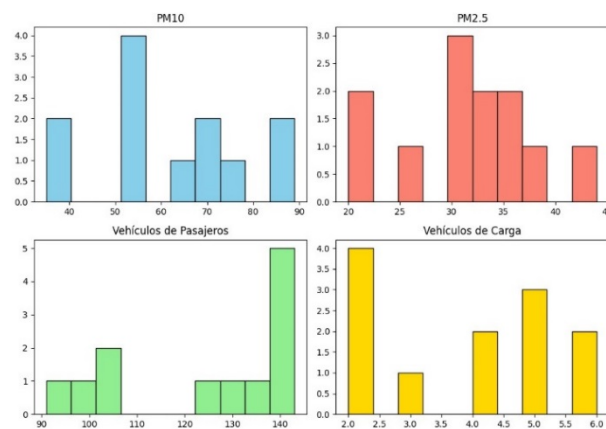


Gráfico 4. Histogramas – Jornada Nocturna

El test de normalidad de la jornada nocturna se indica en el cuadro 4. Se puede decir que, los datos de PM_{10} y $PM_{2,5}$ siguen una distribución normal: el p-valor en ambos es mayor que el nivel de significancia de 0,05, lo que sugiere que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Los datos de los Vehículos de Pasajeros podrían no seguir una distribución normal, ya que el p-valor es menor que el nivel de significancia, sugiriendo que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Sin embargo, los datos de los vehículos de carga siguen una distribución normal: el p-valor es mayor que 0,05, lo que significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Cuadro 4. Test de normalidad Shapiro-Wilk – Jornada Nocturna

Variables	W	p-valor
PM_{10}	0,9422	0,5275
$PM_{2,5}$	0,9447	0,5616
Vehículos de Pasajeros	0,8154	0,0141
Vehículos de Carga	0,8626	0,0526

En el gráfico 5 se presenta la correlación de Spearman del PM_{10} con respecto a los vehículos de pasajeros y vehículos de carga en la jornada diurna. La relación entre el PM_{10} versus vehículos de pasajeros es de -0,01, indicando una ausencia significativa de correlación entre ambos. En cuanto a la relación de PM_{10} versus Vehículos de Carga, se observa una correlación de 0,08, indicando una correlación débil pero positiva. Esto sugiere una asociación leve entre las concentraciones de PM_{10} y la cantidad de vehículos de carga.

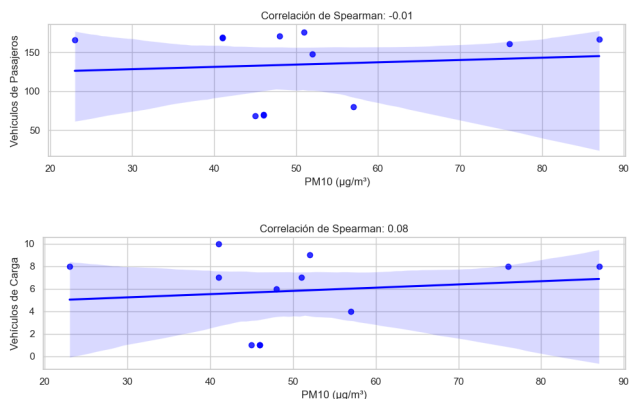


Gráfico 5. Correlación de Spearman - PM₁₀ vs Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga – Jornada Diurna.

En el mismo contexto, en el gráfico 6 se analizan las relaciones de PM_{2,5} con vehículos de pasajeros y vehículos de carga. La correlación de Spearman para PM_{2,5} versus Vehículos de Pasajeros es de -0,41, sugiriendo una correlación negativa moderada durante el periodo diurno. Este resultado indica que, a medida que la cantidad de vehículos de pasajeros disminuye, las concentraciones de PM_{2,5} tienden a aumentar. En el caso de PM_{2,5} versus vehículos de carga, la correlación es de -0,12, indicando una correlación negativa débil, siendo esta relación más tenue en comparación con los vehículos de pasajeros.

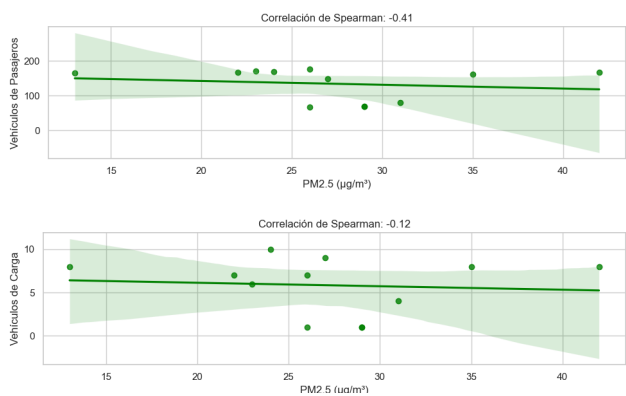


Gráfico 6. Correlación de Spearman – PM_{2,5} vs Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga – Jornada Diurna.

En el gráfico 7 se presenta la correlación de Spearman del PM₁₀ con respecto a los vehículos de pasajeros y vehículos de carga en la jornada nocturna. La relación entre el PM₁₀ versus vehículos de pasajeros es de 0,13, indicando una correlación positiva débil. Esto sugiere que mayores concentraciones de PM₁₀ se asocian con un aumento leve en la cantidad de vehículos de pasajeros durante el periodo nocturno. En cuanto a la relación de PM₁₀ versus vehículos de carga, se observa una correlación de 0,30, indicando una correlación moderada y positiva. Esto sugiere que un aumento en las concentraciones de PM₁₀ se asocia con un aumento moderado en la cantidad de vehículos de carga durante el periodo nocturno.

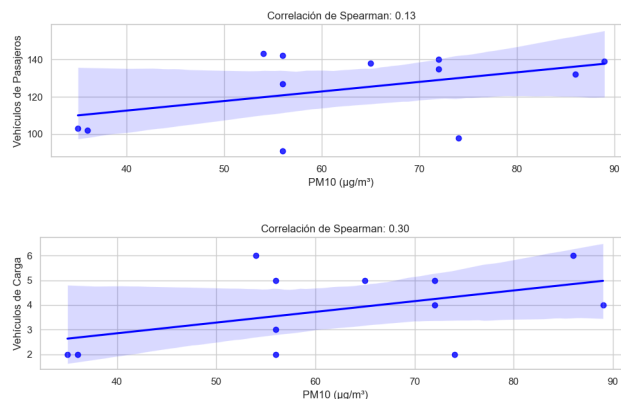


Gráfico 7. Correlación de Spearman – PM₁₀ vs Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga – Jornada Nocturna.

Asimismo, en el gráfico 8 se exploran las relaciones entre el PM_{2,5} con vehículos de pasajeros y vehículos de carga durante el periodo nocturno. La correlación de Spearman para PM_{2,5} versus vehículos de pasajeros es de 0,09, evidenciando una correlación positiva débil. Esta relación es más débil en comparación con la jornada diurna. En el caso de PM_{2,5} versus Vehículos de Carga, la correlación es de 0,33, indicando una correlación moderada y positiva. La asociación es más fuerte en comparación con el caso diurno.

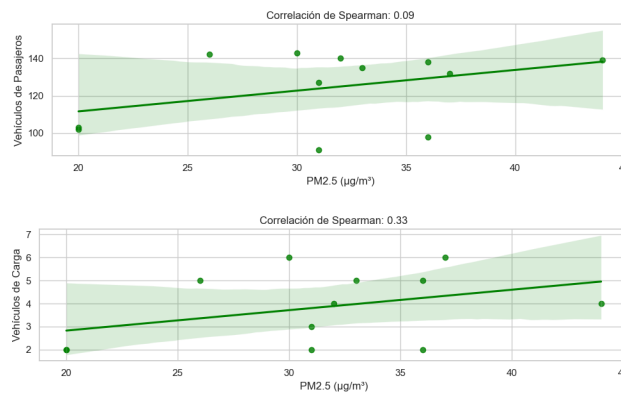


Gráfico 8. Correlación de Spearman – PM_{2,5} vs Vehículos de Pasajeros y Vehículos de Carga – Jornada Nocturna.

Este tipo de correlaciones entre la cantidad de vehículos y las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}, que varían desde no significativas, débiles, moderadas, negativas y positivas, junto con las discrepancias identificadas en las series temporales, pueden atribuirse a la complejidad del comportamiento del PM₁₀ y PM_{2,5} a nivel de inmisión ante otros factores no contemplados en este estudio. Según Ediangbonya *et al.*, (2013), Rincón *et al.*, (2023) y Ramos (2023) existe una relación entre las concentraciones de PM y otras variables como las condiciones meteorológicas del lugar, tales como: velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar y precipitaciones, principalmente. Lo que en parte podría explicar dichas variaciones en la época seca, donde generalmente existe

una correlación mayor entre el $PM_{2.5}$, la temperatura y la velocidad del viento, que, en época de lluvia, pareciera que las partículas son arrastradas por el agua. Además, si el esparcimiento del PM estuviera únicamente influenciado por el viento, el contaminante se movería en función de su dirección.

Asimismo, aunque las condiciones meteorológicas son fundamentales para entender el comportamiento de las partículas, Manzi *et al.* (2003) y Lipp (2014) indican también, la importancia de considerar otros aspectos del entorno, esta vez del diseño urbanístico, como: la geometría que tienen las calles, la cantidad de infraestructuras contiguas, la altura de las edificaciones, la presencia de plaza y parques e incluso la existencia o no del arbolado urbano. La zona norte del sector La Pradera II cuenta con varios de estos aspectos, la geometría de las calles es bastante irregular, de doble sentido y el número de carriles varían de dos hasta cuatro, además, cuenta con gran cantidad de pasajes peatonales entre cada manzana, donde los únicos vehículos que pueden transitar son motocicletas, lo que denota la gran cantidad de infraestructuras contiguas. La altura de las edificaciones corresponde en su mayoría a viviendas de uno o dos plantas de construcción, sin embargo, en ocasiones se logran observar de hasta cuatro plantas. También se observan áreas recreativas como los parques: Cdla. La Pradera D28, el Polideportivo, Virgen de Fátima, Cristo Redentor y Factoría; aquí la presencia del arbolado fue mayor, en comparación con las avenidas.

Finalmente, no hay que dejar de lado las características descritas por Hatzopoulou *et al.* (2013) y Torres y Vitale (2018) que son propias de cada vehículo, como: tipo y edad del motor, estado técnico, peso y velocidad del vehículo, así como el estilo de conducción estarían afectando a la cantidad y al tipo de partículas emitidas al aire.

CONCLUSIONES

Los resultados indican variaciones en las asociaciones entre las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ con la presencia de ambos tipos de vehículos en función de la jornada de muestreo. Mientras que durante el día no se observan correlaciones significativas, durante la noche se evidencian relaciones más marcadas, particularmente en el caso de los vehículos de carga. Estos hallazgos ofrecen perspectivas valiosas sobre la dinámica entre el flujo vehicular y las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en distintos momentos del día, donde los parámetros meteorológicos se comportan diferente en el día que en la noche.

Evidentemente el flujo vehicular es una de las fuentes de emisiones de este tipo de partículas, sin embargo, no es el único factor que influye en las concentraciones a nivel del suelo presentes en la zona norte del sector La Pradera II.

Debido al diámetro que poseen las partículas, su dinamismo está sujeto a otras variables, principalmente meteorológicas, de diseño urbano y a las características propias de cada vehículo. Lo que explica que, en ocasiones, las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ son inversamente proporcionales a la cantidad de vehículos.

La necesidad de incorporar más variables para perfeccionar el análisis del comportamiento de las partículas en horas con alto flujo vehicular, es fundamental, para proporcionar una visión más integral de la complejidad de las interacciones entre la calidad del aire y el tráfico vehicular, enriqueciendo la comprensión dinámica del PM_{10} y $PM_{2.5}$ en este sector de la ciudad de Guayaquil.

LITERATURA CITADA

- Ashhad, T., Cabrera, F., y Roa, O. 2020. Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica*, 21(2):4-23. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960>
- Cabrera-Arana, G., Velásquez-Osorio, N., y Orozco-Arbelaez, A. 2015. Movilidad: Aporte para su discusión. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 33(3):429-434. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v33n3a13>
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental de Perú). 2005. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos.
- Dylos Corporation. 2022. Dylos - Modelo DC1700-PM $PM_{2.5}/PM_{10}$ AQM - Monitor de calidad del aire. Obtenido de Expert Environmental (Sitio Web).
- Ediagbonya, T., Ukpebor, E., y Okieimen, F. 2013. La influencia de los parámetros meteorológicos sobre las partículas respirables e inhalables durante la estación húmeda. *Revista de Ciencias Aplicadas y Gestión Ambiental*, 17(4):441-448. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v17i4.1>
- Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Dugum, H., Pickett, G., Miranda, L., Kulka, R., Andersen, R., y Goldberg, M. 2013. The impact of traffic volume, composition, and road geometry on personal air pollution exposures among cyclists in Montreal, Canada. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 23:46-51. DOI: <https://doi.org/10.1038/jes.2012.85>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. Ecuador en Cifras. Obtenido de Ecuador en Cifras: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/poblacion-y-migracion/>

- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador). 2022. Ecuador en Cifras. Obtenido de Ecuador en Cifras: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización). 2016. Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 2656: Clasificación Vehicular. Quito.
- Lipp, D. 2014. El cañon urbano su incidencia en la contaminación del aire. Congreso Internacional de Geografía, (págs. 123-128). San Juan, Argentina.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2010. Plan Nacional de la Calidad del Aire. Obtenido de Plan Nacional de la Calidad del Aire: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Manzi, V., Belalcázar, L., Giraldo, E., Zárate, E., y Clappier, A. 2003. Estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá. *Revista De Ingeniería*, 1(18):18-25. DOI: <https://doi.org/10.16924/revinge.18.3>
- Mayer, H. 1999. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 33(24-25):4029-4037. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00144-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00144-2)
- Morales-Pinzón, T., y Arias, J. 2013. Contaminación vehicular en la conurbación Pereira-Dosquebradas. *Revista Luna Azul*, (37):101-129.
- OPS/OMS (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud). 2016. Calidad del Aire Ambiente. Obtenido de Calidad del Aire Ambiente: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire/calidad-aire-ambiente>
- Pérez, J. 2017. La calidad del aire en Colombia: un problema de salud pública, un problema de todos. *Biosalud*, 16(2):5-6. DOI: <https://doi.org/10.17151/biosa.2017.16.2.1>
- Ramos, R. 2023. Relación entre el material particulado (PM10), los parámetros meteorológicos y la concentración de esporas fúngicas en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima. *Ecología Aplicada*, 22(1):35-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v22i1.1927>
- Rincón, G., Morantes, G., Roa-López, H., Cornejo-Rodríguez, M., Jones, B., y Cremades, L. 2023. Spatio-temporal statistical analysis of PM₁ and PM_{2.5} concentrations and their key influencing factors at Guayaquil city, Ecuador. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 37:1093–1117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02310-2>
- Rojas, N. 2007. Aire y problemas ambientales de Bogotá. Foro Nacional Ambiental. Documento de Políticas Públicas, 18, (págs. 1-12). Bogotá.
- STC (Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México). 2016. Manual para obtener los volúmenes de tránsito en carreteras. P 13.
- Torres, B., y Vitale, C. 2018. Contaminación atmosférica por material particulado en avenidas de La Habana con alto flujo vehicular. *Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente*, 38(74):10-18.
- UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund). 2020. El aire que respiramos: Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador. Quito: UNICEF Ecuador.
- Verdezoto, T., Montes, F., y Medina, O. 2020. Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica*, 21(2):4-23. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960>