



Caracterización y determinación de concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) en la comunidad de Gatazo Grande Cantón Colta por suceso industrial

Characterization and determination of sedimentable particulate matter (MPS) concentrations in the community of Gatazo Grande Cantón Colta by industrial event

Caracterização e determinação de concentrações de material particulado sedimentável (MPS) na comunidade de Gatazo Grande Cantón Colta por evento industrial

Félix Marcelo Paguay Martínez ^I
felchemelos@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3028-9805>

Guido Patricio Santillán Lima ^{II}
psantillan@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3693-2155>

Daniela Margoth Caichug Rivera ^{III}
danielarivera@quimica.exactas.unlp.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9755-1508>

Correspondencia: felchemelos@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de diciembre de 2022 * **Aceptado:** 12 de enero de 2023 * **Publicado:** 17 de febrero de 2023

- I. Investigador independiente, Guayaquil, Ecuador.
- II. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. CEDECOR (Centro de Estudio de Compuestos Orgánicos), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina.

Resumen

Gatazo Grande es caracterizado por sus actividades agrícolas, tienen una zona de influencia directa por actividades primarias e industriales. La fuente de emisión de MP es una gran problemática, ya que no existe un monitoreo que permita cuantificar los efectos de emisiones de material particulado (PM). La investigación permitió determinar la concentración de PM ($10\mu\text{m}$ y $2.5\mu\text{m}$); mediante el uso del equipo Dust Track II; estimando los valores de los 14 puntos de monitoreo. Se tomaron muestras en los diferentes puntos de monitoreo, se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, en dos horas 07:30-10:00 y 13:00 – 15:30. Determinando una concentración de PM del punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de $0,5072 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de $1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$; la comparación de la concentración del PM_{2,5} y PM₁₀ con respecto a la OMS y el TUSLMA, concluye que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia.

Palabras Clave: Material particulado; fuentes de emisión; Dust Track II; actividad industrial.

Abstract

Gatazo Grande is characterized by its agricultural activities, they have a zone of direct influence by primary and industrial activities. The PM emission source is a great problem, since there is no monitoring that allows quantifying the effects of particulate material (PM) emissions. The investigation allowed to determine the concentration of PM ($10\mu\text{m}$ and $2.5\mu\text{m}$); through the use of Dust Track II equipment; estimating the values of the 14 monitoring points. Samples were taken at the different monitoring points, a filtering of the data obtained in a period of 10 days of monitoring alternated in a period of four days of interval was carried out, in two hours 07:30-10:00 and 13:00 – 3:30 p.m. Determining a PM concentration of the monitoring point MP7, spatially close to the emission source, with a value of $0.5072 \text{ mg/cm}^2/\text{month}$, exceeds the LP, but does not exceed the LP proposed by TULSMA of $1 \text{ mg/cm}^2 / \text{month}$; the comparison of the concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ with respect to the WHO and the TUSLMA, concludes that all the values obtained exceed

the LMP of the WHO 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, but do not exceed the LPM of the TULSMA, however what it demonstrates that PM concentration levels are high due to the large amounts of material emanating from industrial activities, which transport air pollutants long distances.

Keywords: particulate matter; emission sources; Dust Track II; industrial activity.

Resumo

Gatazo Grande é caracterizado por suas atividades agrícolas, eles têm uma zona de influência direta por atividades primárias e industriais. A fonte de emissão de MP é um grande problema, pois não há monitoramento que permita quantificar os efeitos das emissões de material particulado (MP). A investigação permitiu determinar a concentração de PM ($10\mu\text{m}$ e $2,5\mu\text{m}$); através do uso de equipamentos Dust Track II; estimando os valores dos 14 pontos de monitoramento. As coletas foram feitas nos diferentes pontos de monitoramento, foi realizada uma filtragem dos dados obtidos em um período de 10 dias de monitoramento alternados em um período de quatro dias de intervalo, em duas horas 07:30-10:00 e 13:00 - 3:30 da tarde. Determinar uma concentração de PM do ponto de monitoramento MP7, especialmente próximo à fonte emissora, com valor de 0,5072 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mês}$, ultrapassa o LP, mas não supera o LP proposto pelo TULSMA de 1 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mês}$; a comparação da concentração de PM_{2,5} e PM₁₀ em relação à OMS e ao TUSLMA, conclui que todos os valores obtidos excedem o LMP da OMS 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas não excedem o LPM do TULSMA, porém o que demonstra que os níveis de concentração de MP são elevados devido às grandes quantidades de materiais emanados das atividades industriais, que transportam poluentes atmosféricos por longas distâncias.

Palavras-chave: assunto particular; fontes de emissão; Pista de Poeira II; atividade industrial.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) manifiesta que el material particulado (PM) se presenta con niveles críticos de concentración con mayor frecuencia, lo cual afecta la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades, esto debido al aumento en la densidad de la población y el progreso de las industrias en general (Gaviria, Muñoz & Gonzáles, 2012). La contaminación del aire genera un riesgo medioambiental que afecta a la salud y se considera como el causante de muchas enfermedades respiratorias y cardiovasculares a nivel mundial, incluso el cáncer (OMS, 2018).

La gran cantidad de aserraderos existentes es motivo de preocupación, es necesario determinar las concentraciones de PMV y PMS de 10, 4 y 2,5 micrómetros, generado por la industria de la madera, e indagar sus principales afectaciones a la salud de las personas que viven aledañas a esta actividad. (Santillán Lima, G. P., Lara Basantes, C. A., & Caichug Rivera, D. M. (2022)). El objetivo es determinar la concentración de material particulado volátil y sedimentable en Gatazo Grande, mediante el uso del equipo Dust Track II, Se establecerán 14 estaciones de monitoreo, la misma que nos va a permitir conocer el grado de contaminación del aire que afecta a la población, plantas y animales de esta área.

La fuente de emisión de MP es una gran problemática, la escasa información proporcionada en este sector que pueda contemplar un plan de mitigación de los efectos del MP; en la actualidad la fusión de la UCEM, creó un enfoque de modernización, que logró un incremento en la capacidad de abastecimiento de material de construcción (cemento) hacia los diferentes mercados nacionales e internacionales, en una producción actual de 330 mil toneladas anuales, con una expectativa de producción de un millón de toneladas a final del año (Álvarez, Zurita, & Gallegos, 2019).

La característica de valle, la distribución especial del territorio, junto con los efectos de climáticos como la dirección y la velocidad del viento, ha contribuido para que la dispersión del MP, se extienda en este lugar, creando un efecto adverso sobre la salud de los pobladores. La presente investigación plantea cuantificar la concentración del PM presente en la atmósfera durante un mes, teniendo en cuenta su comportamiento en el espacio y tiempo, lo que permite comprobar la calidad del aire en el área de estudio, para estimar el grado de exposición a este tipo de partículas.

1. Contaminación del aire

Los contaminantes del aire provienen de varias fuentes y cada una tienen características diferentes en dependencia de su composición, fuente y condiciones bajo las cuáles fueron producidas, es así, que los gases más comunes son: óxidos de sulfuro (principalmente dióxido de sulfuro (SO_2), óxidos de nitrógeno como el dióxido de nitrógeno (NO_2), hidrocarburos reactivos (frecuentemente denominados compuestos orgánicos volátiles) y el monóxido de carbono (Schraufnagel, 2019)

Material particulado (MP), es un término utilizado para describir pequeños materiales sólidos o líquidos que pueden variar considerablemente de tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas (Erazo, 2013). Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material sedimentable (partículas $> 30 \mu g$) y

partículas suspendidas que generalmente se dividen en PM10 y PM2.5; que son partículas más pequeñas que 10 y 2.5 micrómetros de diámetro respectivamente ($\mu\text{m} = \text{micrómetro}$) (Díaz, 2015).

1.1. Clasificación de material particulado

El PM sólido se clasifica con relación a su proceso de formación y el diámetro de partícula presente en la atmósfera (Escudero, 2017). El MP según su fuente, varía en composición, toxicidad y tamaño, pudiendo clasificarse en:

- **Partículas gruesas:** Principalmente derivadas de la suspensión de polvo, suelo u otros materiales provenientes de caminos, de la agricultura, de minería, de tempestades, de volcanes, entre otros.
- **Partículas finas:** Que se derivan de la emisión de procesos de combustión de vehículos (gasolina o diésel), la quema de maderas, la quema de carbón y procesos industriales.
- **Partículas ultra finas:** Que son definidas por tener un diámetro aerodinámico menor a 0,1 μm , proceden de la combustión como reacciones fotoquímicas atmosféricas. Forman un agregado de PM2.5, porque su vida es muy corta (Salinas, 2012).

Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material particulado sedimentable (partículas $> 30 \mu\text{g}$) y material particulado volátil que generalmente se dividen en PM10 y PM2.5, que son partículas más pequeñas de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro respectivamente ($\mu\text{m} = 0.0001 \text{ mm}$) (Díaz, 2015).

1.2. Diámetros del Material particulado

Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se los clasifica en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. Por lo general se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas”, que están relacionados con el mecanismo de formación de las partículas: nucleación, Aitken, acumulación y moda gruesa (Arciniégas, 2012).

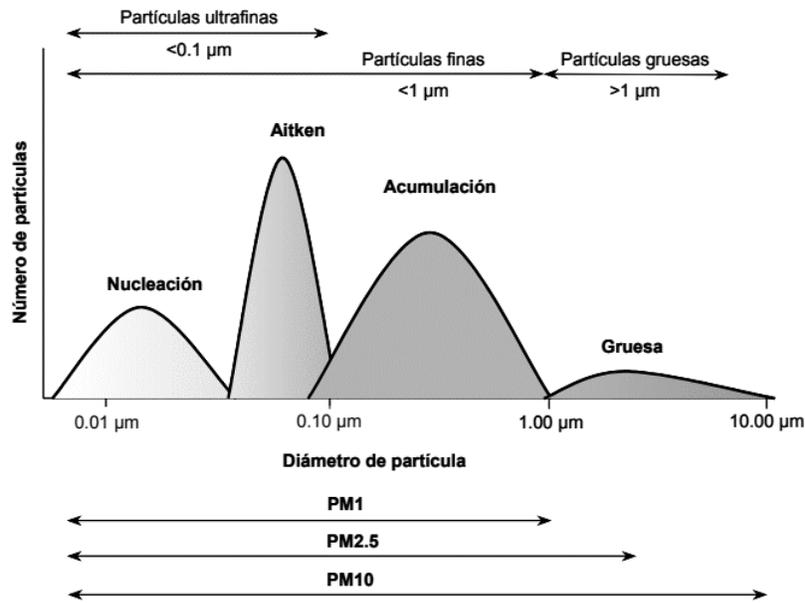


Figura 1. Distribución de las partículas según su diámetro.

Fuente: (Arciniégas, 2012)

Se consideran de origen primario aquellas partículas que son emitidas directamente a la atmósfera y secundarias aquellas que se dan de la formación de reacciones químicas ya sea entre gases a través de condensación o entre un gas y una partícula a través de la adsorción y/o coagulación (Figura 2) (Cáceres, 2015)

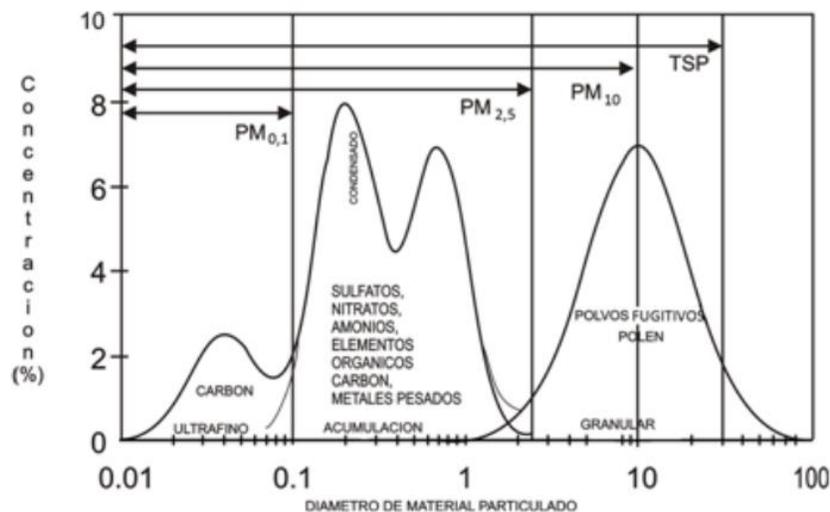


Figura 2. Distribución de las partículas en la atmósfera donde se muestran las partículas finas y gruesas

Fuente: (Cáceres, 2015)

1.3. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes

- **Dirección del viento:** Cuando es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores (Turner & Schulze, 2010).
- **Temperatura:** Si la temperatura de la emisión es mayor que la del medio se dispersa con más facilidad (Seinfeld, 2014).
- **Velocidad del viento:** Desempeña un papel muy importante, el viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante (Tyson & Scheper, 2015).
- **Precipitaciones:** Producen un efecto de lavado, que favorecen la dispersión y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales (Tyson & Scheper, 2015).

1.4. Norma de Emisión de Contaminantes

Es el valor que indica la descarga máxima permisible de contaminantes hacia el aire, el Ministerio del Ambiente se basa estos valores mediante el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) Libro VI Anexo 4 (MAE, 2012). Para efectos de esta norma se establece como contaminantes comunes del aire los siguientes:

- Partículas Sedimentables
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones
Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrones
- Óxidos de Nitrógeno: NO y NO_2
- Dióxido de Azufre (SO_2)
- Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono (TULSMA, 2012)

2. Efectos del Material Particulado en la Salud y el medio ambiente

Algunos estudios realizados en ciudades industrializadas han mostrado que el material particulado contiene concentraciones considerables de elementos como C , S , V , Ni , Pb , Zn , Fe , Cu , Cr y en menores proporciones de Cd , Sn , Ce , Mo , W , Zr , Ca , As , Sb , Mn , Hg , Bi , Ti , Sr , Se y algunos elementos de las tierras raras (Eu , La , Y y Tb) (Duque, 2017).

Los contaminantes atmosféricos riesgosos para la salud humana son el material particulado inhalable (PM10; PM2.5 y PM0.1) y compuestos químicos gaseosos tales como dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y monóxido de carbono. (Oyarzún, 2010)

El material particulado puede influenciar el clima entre ellos se encuentra El carbono negro (BC) u hollín, el cual en la atmosfera absorbe la radiación de onda corta (luz visible), interviene en la transferencia de energía y obstaculiza la llegada de la luz del sol al suelo. Estos efectos disminuyen la visibilidad y alteran el balance o equilibrio de energía en la parte superior de la tropósfera, lo que se denomina forzamiento radiactivo. (Castillo, 2015)

2. METODOLOGÍA

1. Fase Metodológica

La metodología se basa en dos fases, considerando la fase de campo y otra de laboratorio, logrando establecer un modelo de dispersión del material particulado ver Figura 3.

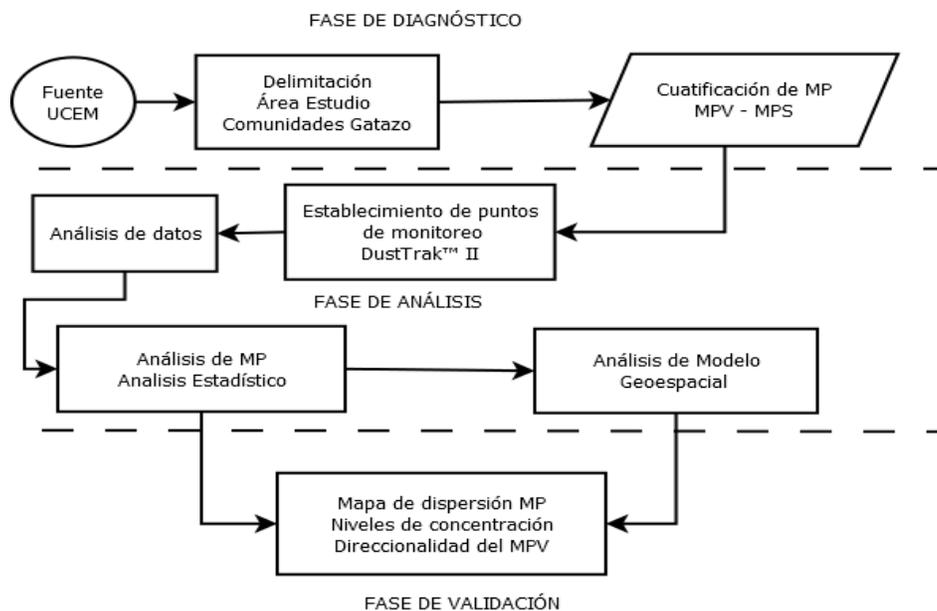


Figura 3. Diagrama de la fase metodológica.

Elaborado por: El Autor.

El equipo para el monitoreo *in-situ*, equipos sedimentadores para material particulado sedimentable (MPS) y el uso del equipo Dust Track II para (MPV) las cuales deben ser colocados en varios puntos de muestreo, (catorce en específico) para la cual se debe tomar la ubicación GPS,

posteriormente representarlos mediante un mapa de concentración y dispersión de MPS Y MPV; tomando en cuenta la dirección y velocidad del viento.

3. Área de estudio.

Gatazo Grande corresponden a una pendiente que varía entre 0-20% que corresponden a zonas casi planas y onduladas, el mapa categoriza a la zona con la mayor parte de suelos INCEPTISOLES y ENTISOLES, de textura arena franca, existiendo también la presencia de afloramiento rocoso y roca intrusiva (cangahua), el rango de precipitación varía entre 500-750 mm de lluvia anual, considerado como un tipo de clima pluiestacional, la temperatura varía en un rango de dos rangos 10-12 en la zona occidental de área de estudio, mientras que la mayor proporción establece una temperatura media de 12-14 °C (Figura 4) (IGM, 2014).

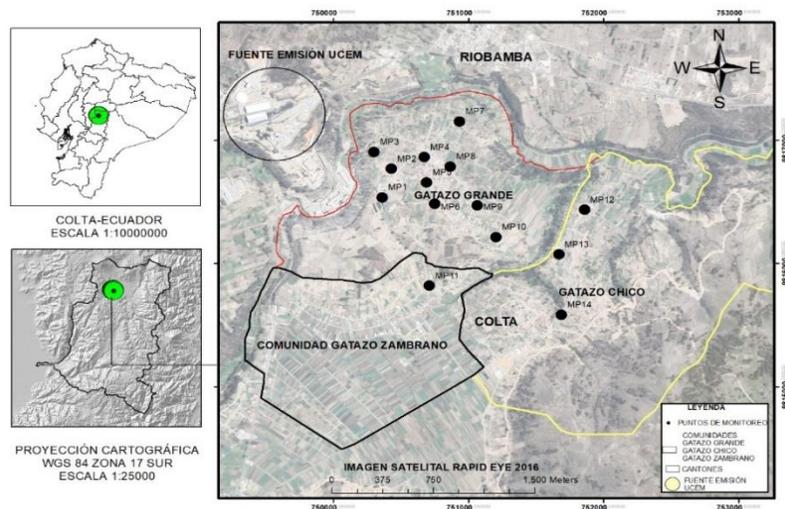


Figura 4. Mapa del área de estudio (Área de Influencia).

Elaborado por: El Autor.

4. Visita de campo – Establecimiento puntos de monitoreo.

El proyecto macro ejecutado por la Universidad Nacional de Chimborazo, donde ya se realizaron estudios anteriores en la zona nororiental de influencia comprendido en las comunidades de Calpi y las comunidades de San Juan y la cabecera parroquia de Calpi (Andi & Vega, 2019), se estableció 14 puntos de monitoreo.

Tabla 1. Puntos de monitoreo sector Gatazo, material particulado.

Puntos de Monitoreo	Coordenadas		Código	Sector
	ESTE	NORTE		
1	750360	9816536	MP1	Gatazo Grande
2	750428	9816768	MP2	Gatazo Grande
3	750300	9816906	MP3	Gatazo Grande
4	750673	9816863	MP4	Gatazo Grande
5	750689	9816659	MP5	Gatazo Grande
6	750750	9816484	MP6	Gatazo Grande
7	750933	9817152	MP7	Gatazo Grande
8	750866	9816787	MP8	Gatazo Grande
9	751065	9816471	MP9	Gatazo Grande
10	751204	9816214	MP10	Gatazo Grande
11	750710	9815821	MP11	Gatazo Zambrano
12	751859	9816437	MP12	Gatazo Chico
13	751670	9816074	MP13	Gatazo Chico
14	751689	9815585	MP14	Gatazo Chico

Elaborado por: El autor

El registro se lo realizó con el GPS 60 CSX de alta precisión, GARMIN, estableciendo los distintos puntos de muestreo de los equipos de MPS y MPV. Posteriormente estos datos geográficos servirán para establecer criterios para generar un modelo geoespacial de dispersión del PM, mediante el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

5. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS

La zona de estudio donde se implementaron los 14 equipos de muestreo se consideraron efectos como la vulnerabilidad a la afectación de las personas, centros poblados y zonas de aglomeración y concurrencia masiva, ejemplo: escuelas, centro de salud, parque central, industrias, etc., esto nos dará una estimación muy cercana a la realidad de las comunidades de la zona de influencia de las industrias (Arciniégas, 2012).

Como segunda fase colocamos papel filtro en una caja Petri, por lo que, considerando su peso inicial y el peso final luego de la recolección de PMS, además el área del papel. La caja Petri debe permanecer durante un mes en el que duran las mediciones, tomando como consideración zonas de mayor recepción posible de PMS (Santillán, 2016).

6. Monitoreo de PMS

El monitoreo se llevará a cabo durante un mes. Según el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, hace referencia a que, para la obtención de una muestra representativa, el muestreo se debe llevar a cabo durante 30 días de forma continua, siendo así que la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por treinta días ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$) (MAE, 2017). Una vez obtenido el muestreo respectivo, los papeles filtro serán puestos en el interior de la estufa a 50°C durante 24 horas, necesario para eliminar la presencia de humedad adquirido en el proceso de recolección de la muestra, posteriormente el papel filtro será pesado en la balanza analítica SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0,0001 g. Finalmente se procederá a calcular el polvo atmosférico sedimentable (PAS) mediante diferencias de peso entre la final e inicial, y dividiendo para el área del papel filtro donde se acumula la muestra, obteniendo el resultado en unidades de $\text{mg/cm}^2/\text{mes}$ según el procedimiento de (Marcos & Valderrama, 2012).

7. Análisis estadístico y modelo Geoespacial

1.1. Tratamiento Estadístico

Una vez que se obtiene la información, se realizaron análisis estadísticos de la cuantificación de niveles de concentración en software estadístico para datos de MPS - MPV (PM 2.5 y PM10). De esta manera se realiza una comparación de los límites superior e inferior, estableciendo valores máximos permisibles para polvos atmosféricos sedimentables (PAS), según la organización mundial de la salud (OMS) y los límites máximos permisibles de la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULSMA).

1.2. Análisis del coeficiente de correlación.

En el análisis estadístico, el coeficiente de correlación de Pearson se define como una medida lineal entre dos variables aleatorias numéricas “cuantitativas”. La diferencia de los análisis de covarianza; la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables. Podemos definir

el coeficiente de correlación de Pearson como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de los puntos de monitoreo y la concentración de PM (Ochoa-Martínez, 2019).

$$P(x, y) = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{(E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)])^2}{\sigma_X^2 \sigma_Y^2}$$

Donde:

σ_{XY} : es la covarianza de (X, Y).

σ_X : es la desviación estándar de la variable X

σ_Y : es la desviación estándar de la variable Y

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1], indicando el signo el sentido de la relación:

Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante. Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa. Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Para el análisis geoestadístico, se obtendrán datos de velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio como son la ESPOCH, DAC, y la UNACH de este modo se determinará la dispersión de MP influido, con el método de interpolación KRIGING la cual se desarrolla con un software de sistemas de información geográfica (SIG) (Lara, 2018).

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Muestreo del material particulado sedimentable en la comunidad Gatazo Grande.

Se procede a realizar el análisis de los datos, del material particulado sedimentable PM10 y PM2.5; estimando los valores de los puntos de monitoreo (Figura 2).

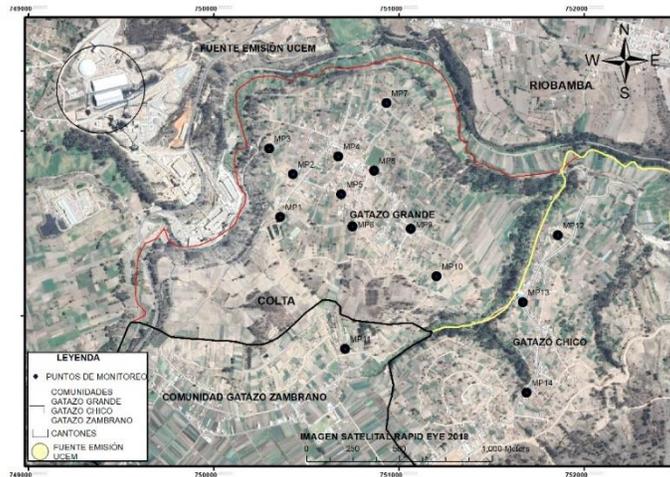


Figura 5. Mapa del área de estudio (Área de Influencia).

Elaborado por: El Autor.

1.1. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Se estableció una tabla resumen con los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos en dos horas 07:30-10:00 y 13:00 – 15:30 (Tabla 2 A-B).

Tabla 2. Promedio $PM\ 2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Puntos de Monitoreo	Promedio MP 2.5	
	A 07:30-10:00	B 13:00-15:30
MPV 01	0.032	0.0317
MPV 02	0.033	0.0318
MPV 03	0.031	0.0316
MPV 04	0.033	0.0319
MPV 05	0.034	0.0336
MPV 06	0.031	0.0319
MPV 07	0.032	0.0304
MPV 08	0.035	0.0338
MPV 09	0.035	0.0341
MPV 10	0.032	0.0321
MPV 11	0.032	0.0316
MPV 12	0.032	0.0328
MPV 13	0.034	0.033
MPV 14	0.033	0.0345

Puntos de monitoreo MPV $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El autor

La Figura 6-A representa a el promedio de material particulado de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0328, la desviación estándar con un valor de 0.0012, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.004, un valor mínimo de 0.0312 y un máximo de 0.0352.

Los valores analizados en las horas de la tarde (Figura 6-B) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0325, la mediana con 0.032, la desviación estándar posee un valor de 0.0011 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0041, su valor mínimo es de 0.0304 y un máximo de 0.0345.

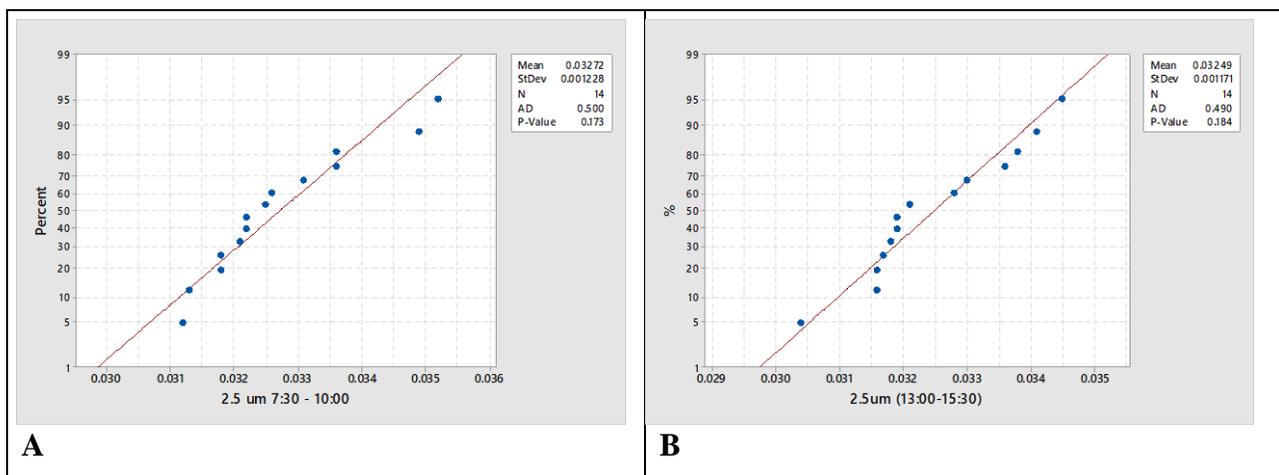


Figura 6. Gráfica de normalidad de MPV 2.5µg/cm³ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El Autor.

1.2. Análisis de correlación MPV 2.5.

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas en las que no existe una barrera

física de la principal fuente, Mientras que los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas (Tabla 3-A).

Tabla 3. Matriz de correlación PM 2.5µg/cm³

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.00													
MPV 02	0.56	1.00												
MPV 03	0.70	0.30	1.00											
MPV 04	0.94	0.62	0.69	1.00										
MPV 05	0.38	-0.34	0.71	0.34	1.00									
MPV 06	0.84	0.65	0.80	0.90	0.42	1.00								
MPV 07	0.92	0.72	0.71	0.95	0.28	0.94	1.00							
MPV 08	0.25	0.58	0.23	0.19	-0.17	0.40	0.47	1.00						
MPV 09	0.59	0.06	0.24	0.65	0.25	0.36	0.41	-0.56	1.00					
MPV 10	0.95	0.66	0.57	0.91	0.16	0.84	0.90	0.28	0.61	1.00				
MPV 11	0.86	0.77	0.63	0.78	0.06	0.77	0.85	0.50	0.30	0.89	1.00			
MPV 12	0.93	0.64	0.68	0.94	0.22	0.84	0.93	0.30	0.58	0.93	0.91	1.00		
MPV 13	0.36	0.30	0.49	0.44	0.33	0.70	0.43	0.10	0.24	0.49	0.34	0.35	1.00	
MPV 14	0.64	0.30	0.26	0.77	0.25	0.56	0.58	-0.34	0.85	0.64	0.30	0.58	0.35	1.00

A

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.00													
MPV 02	0.30	1.00												
MPV 03	0.63	0.79	1.00											
MPV 04	0.22	0.89	0.78	1.00										
MPV 05	0.13	0.15	0.07	0.05	1.00									
MPV 06	-0.03	0.44	0.47	0.72	-0.14	1.00								
MPV 07	0.03	0.54	0.54	0.78	-0.24	0.92	1.00							
MPV 08	0.39	0.44	0.66	0.53	-0.20	0.20	0.22	1.00						
MPV 09	0.41	0.61	0.47	0.68	0.17	0.43	0.56	-0.02	1.00					
MPV 10	0.69	0.82	0.86	0.90	0.20	0.49	0.48	0.49	0.71	1.00				
MPV 11	0.27	0.67	0.68	0.75	0.06	0.24	0.41	0.81	0.34	0.54	1.00			
MPV 12	0.37	0.71	0.82	0.79	0.14	0.66	0.59	0.71	0.24	0.76	0.65	1.00		
MPV 13	0.32	0.44	0.50	0.40	-0.55	0.02	0.35	0.56	0.22	0.27	0.63	0.24	1.00	
MPV 14	0.43	0.53	0.39	0.59	0.18	0.32	0.43	-0.05	0.98	0.67	0.29	0.14	0.16	1.00

B

MPV 2.5µg/cm³ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El Autor

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 13:00-15:30, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP6, MP9, MP14. Demostrando la acción del viento que transporta grandes distancias de la zona de influencia, mientras que los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles (Tabla 3-B).

1.3. Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$

Se elaboró una base de datos, donde se resumen los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos de tiempo en la jornada de monitoreo de 13:00 – 15:30.

Tabla 4. Promedio PM 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Puntos de Monitoreo	Promedio MP 10	
	A	B
	07:30-10:00	13:00-15:30
MPV 01	▼ 0.0333	▼ 0.034
MPV 02	▼ 0.0342	▼ 0.033
MPV 03	▼ 0.0335	▼ 0.0334
MPV 04	▬ 0.0358	▬ 0.0356
MPV 05	▼ 0.0342	▼ 0.0347
MPV 06	▬ 0.0357	▬ 0.0357
MPV 07	▼ 0.0334	▼ 0.0334
MPV 08	▼ 0.0341	▬ 0.0355
MPV 09	▬ 0.0353	▬ 0.0356
MPV 10	▼ 0.0332	▼ 0.0334
MPV 11	▼ 0.0342	▼ 0.0346
MPV 12	▬ 0.0358	▬ 0.0353
MPV 13	▬ 0.0354	▬ 0.0363
MPV 14	▲ 0.0385	▲ 0.0379

Puntos de monitoreo MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El autor.

La tabla 4-A representa a el promedio de material particulado de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0347, la desviación

estándar con un valor de 0.0014, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.005, un valor mínimo de 0.0332 y un máximo de 0.0385, con un total acumulado mensual de 0.4866 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Los valores analizados en las horas de la tarde (Figura 7-B) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0349, la desviación estándar posee un valor de 0.0013 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0049, su valor mínimo es de 0.033 y un máximo de 0.0379, con un total acumulado mensual de 0.4884 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

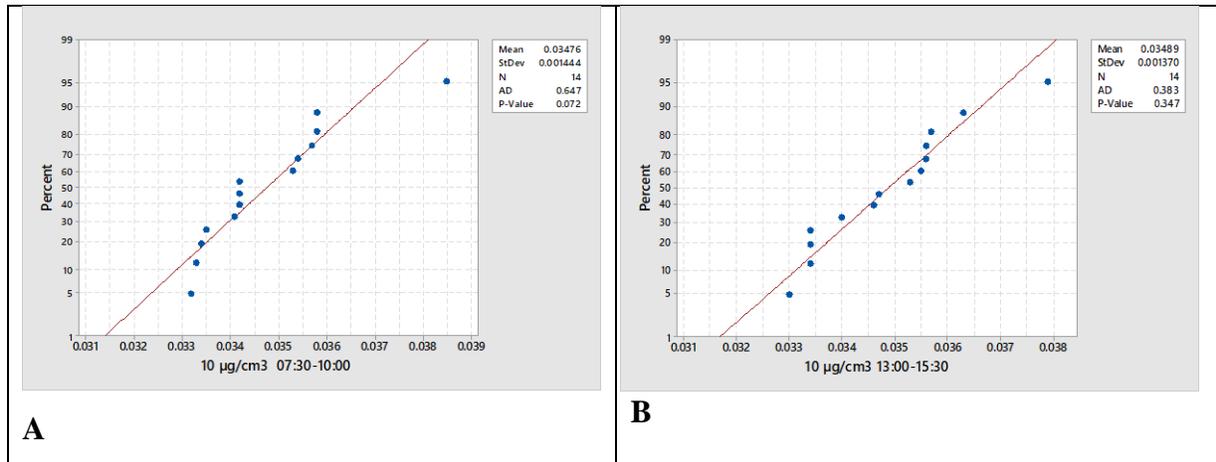


Figura 7. Gráfica de normalidad de MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborador por: El Autor

1.4. Análisis de correlación MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas donde no existe una barrera física, mientras que los puntos MP12 y MP13, donde existe una barrera física de la principal fuente, tienen una correlación inversamente proporcional (Tabla 3-A).

Tabla 5. Promedio PM 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.000													
MPV 02	0.671	1.000												
MPV 03	0.681	0.522	1.000											
MPV 04	0.884	0.704	0.817	1.000										
MPV 05	0.090	-0.078	0.491	0.220	1.000									
MPV 06	0.392	0.504	0.344	0.305	0.168	1.000								
MPV 07	0.870	0.567	0.710	0.835	0.481	0.329	1.000							
MPV 08	-0.008	-0.074	0.544	0.098	0.360	0.009	-0.068	1.000						
MPV 09	0.206	-0.488	0.289	0.048	0.445	-0.599	-0.033	0.498	1.000					
MPV 10	0.894	0.712	0.413	0.748	-0.008	0.415	0.819	-0.313	-0.496	1.000				
MPV 11	0.493	0.761	0.364	0.357	-0.010	0.289	0.409	0.189	-0.464	0.557	1.000			
MPV 12	0.540	0.401	0.637	0.776	0.010	0.258	0.383	0.183	0.239	0.301	-0.126	1.000		
MPV 13	0.074	0.122	0.091	-0.022	-0.102	-0.440	0.132	-0.038	0.112	0.289	-0.533	-0.486	1.000	
MPV 14	-0.433	-0.339	0.145	-0.253	0.114	0.167	-0.511	0.655	0.385	-0.691	-0.388	0.258	-0.620	1.000

A

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.000													
MPV 02	0.360	1.000												
MPV 03	0.835	0.467	1.000											
MPV 04	0.660	0.098	0.804	1.000										
MPV 05	0.588	0.145	0.385	0.491	1.000									
MPV 06	0.461	0.242	0.783	0.575	0.105	1.000								
MPV 07	0.771	0.286	0.593	0.651	0.853	0.112	1.000							
MPV 08	-0.117	-0.845	-0.258	0.151	0.173	-0.073	0.038	1.000						
MPV 09	-0.129	-0.340	-0.470	0.259	0.094	-0.593	-0.044	0.066	1.000					
MPV 10	0.713	0.474	0.757	0.761	0.454	0.511	0.675	-0.128	-0.244	1.000				
MPV 11	0.625	-0.251	0.472	0.476	0.308	0.530	0.260	0.357	0.144	0.349	1.000			
MPV 12	0.081	0.159	0.328	0.475	0.127	0.469	0.234	0.262	-0.630	0.568	0.061	1.000		
MPV 13	-0.163	-0.570	-0.533	-0.141	0.045	-0.746	0.113	0.472	0.725	-0.185	0.033	-0.248	1.000	
MPV 14	-0.459	-0.675	-0.339	-0.137	-0.135	0.090	-0.373	0.725	-0.266	-0.358	-0.041	0.212	-0.038	1.000

B

MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Elaborado por: El Autor

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP2, MP3, MP4, MP5 y MP7; cercanos a la fuente de emisión, son transportadas por acción del viento sin importar las barreras físicas que se encuentran en la zona de influencia, mientras que los puntos MP8, MP1 y MP13, tienen una baja correlación, debido las construcciones o barreras físicas limitan la concentración de material particulado (Tabla 5-B).

1.5. Concentración y análisis descriptivo del PMS

Culminado el registro de campo, durante los treinta días, se obtuvieron los datos que corresponden al peso de cada punto de monitoreo (Tabla 6), obteniendo en los meses de enero-febrero de 2020,

de esta manera podemos establecer los límites permisibles LMP propuesto por la OMS y el TULSMA.

Tabla 6. Concentración PMS en los puntos de monitoreo.

PUNTOS	Ubicación geográfica (UTM)		Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	(Pf-Pi) mg	MPS (mg/cm ² /mes)
	ESTE	NORTE				
MP1	750360	9816536	447.6	478.8	↑ 31.2	0.4696
MP2	750428	9816768	447.8	469.0	↓ 21.2	0.3191
MP3	750300	9816906	453.6	474.3	↓ 20.7	0.3115
MP4	750673	9816863	449.6	470.9	↓ 21.3	0.3206
MP5	750689	9816659	456.4	475.8	↓ 19.4	0.2920
MP6	750750	9816484	450	473.7	↓ 23.7	0.3567
MP7	750933	9817152	438	471.7	↑ 33.7	0.5072
MP8	750866	9816787	446.1	474.0	→ 27.9	0.4199
MP9	751065	9816471	436.1	456.0	↓ 19.9	0.2995
MP10	751204	9816214	440.8	465.9	→ 25.1	0.3778
MP11	750710	9815821	433.8	460.8	→ 27	0.4064
MP12	751859	9816437	438.4	464.8	→ 26.4	0.3973
MP13	751670	9816074	445.9	465.8	↓ 19.9	0.2995
MP14	751689	9815585	444.93	469.35	→ 24.42	0.3675

Elaborado por: El Autor

La comparación de los valores de concentración de PMS (tomados de la tabla 6) con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA, donde, el punto de monitoreo MP7, especialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de 0,5072 mg/cm²/mes, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes, que concuerda con los niveles de concentración cercanos a la fuente de emisión UCEM (Tabla 7), dentro de estudios análogos en la zona de influencia de empresa UCEM manifiestan un comportamiento distinto con niveles elevados, como que se puede estimar que la dirección y la velocidad del viento influyen de manera directa a la dispersión del MP (Andi & Vega, 2019).

Tabla 7. LP de MPS en los puntos de monitoreo.

PUNTOS	MPS (mg/cm ² /mes)	LMP OMS	LP	LMP TULSMA	LP
MP1	0.4696	0.5 (mg/cm ² /mes)	S	1 (mg/cm ² /mes)	S
MP2	0.3191		S		S
MP3	0.3115		S		S
MP4	0.3206		S		S
MP5	0.2920		S		S
MP6	0.3567		S		S
MP7	0.5072		N		S
MP8	0.4199		S		S
MP9	0.2995		S		S
MP10	0.3778		S		S
MP11	0.4064		S		S
MP12	0.3973		S		S
MP13	0.2995		S		S
MP14	0.3675		S		S

Elaborado por: El Autor (S= si se encuentra dentro del LP; N=no se encuentra dentro del LP)

La influencia de factores medio ambientales, cambian la movilidad de la concentración de material particulado, las características predominantes en esta escala de tiempo manifiestan según el boletín meteorológico del INHAMI 2020, en relación a la precipitación registrada en los equipos meteorológicos muestra una irregular disminución por debajo de los valores registrados en la misma época en el año 2019 (INAMHI, 2020), la misma dinámica lo tiene la temperatura, existe una disminución en el callejón interandino, que altera las condiciones de dispersión de contaminante, cambiando la direccionalidad y velocidad del viento; así también, los días soleados propician que el aire circundante se caliente y se produzca el movimiento vertical o convectivo en la atmósfera (Zhang, Cai, Wang, He, & Zheng, 2017).

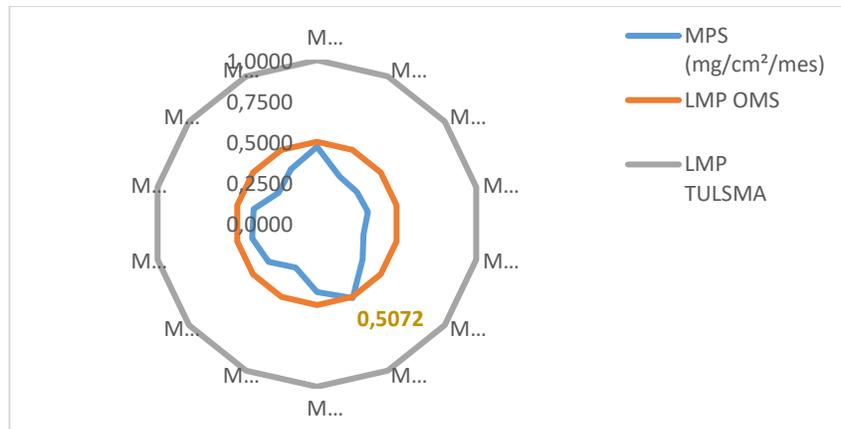


Figura 8. Comparación MPS frente a los LP OMS (Organización Mundial de la Salud) y TULSMA (Texto unificado legislación secundaria medio ambiental)

Elaborado por: El Autor

9. CONCLUSIONES

Se logró establecer en los puntos de monitoreo un análisis de correlación de $MP\ 2.5\ \mu g/m^3$ comprendido en las horas de la mañana (07:30-10:00), tienen una correlación fuerte en los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas. En la tarde (13:00 – 15:30) tiene una correlación fuerte en los puntos MP6, MP9, MP14, mientras que los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles.

La correlación de los datos $MPV\ 10\ \mu g/cm^3$ comprendidos en la tarde (13:00-15:30), tienen una correlación fuerte en los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; mientras que los puntos MP12 y MP13, existe una correlación inversa, debido a la lejanía de las fuentes de emisión.

La concentración de PMS del punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de $0.5072\ mg/cm^2/mes$, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de $1\ mg/cm^2/mes$; la comparación de la concentración del $PM_{2,5}$ y PM_{10} con respecto a la OMS y el TUSLMA, concluye que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS $25\ \mu g/m^3$, pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia.

El modelo de dispersión geoespacial, determinó un valor de precisión adecuado para poder elaborar los mapas de MPS y MPV, estableciendo una estrecha relación de la concentración con los factores climáticos y topográficos, de esta manera se puede realizar una aproximación a los efectos que tienen sobre la salud la constante emisión por parte de la actividad industrial, para tomar medidas adecuadas frente a la elaboración de planes de contingencia en las comunidades pertenecientes a Gatazo.

Referencias

1. Álvarez, A., Zurita, G., & Gallegos, N. (2019). Función de Producción de Cemento: Caso Unión Cementera Nacional - Planta Chimborazo. *Kairos*, 31-37.
2. Andi, J., & Vega, R. (2019). Determinación y Caracterización de Concentraciones de Material Particulado Sedimentable y Volátil en el Sector Calpi Cantón Riobamba por Incidencia Industrial. Riobamba.
3. Andi, S. J., & Vega, R. (2019). Andi Shiguango Juan Gabriel. Riobamba.
4. Arciniégas, C. (2012). Scielo. Obtenido de Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-
5. Cáceres, D. (2015). Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por la exposición a material particulado fino MP(2.5). Barcelona.
6. Castillo, J. (2015). Importancia de la Caracterización Fisicoquímica del Material Particulado Pm2.5 Por Su Asociación con Enfermedades Cardiovasculares (Presión Arterial, Aterosclerosis) Y Los Efectos En El Medio Ambiente. Bucaramanga.
7. Díaz, V. (2015). Informe de la Calidad del Aire en Quito. Obtenido de www.quitoambiente.gob.ec.
8. Duque, J. (2017). Sobre los efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud (Basado en el texto Clean the air for children, UNICEF, 2016).
9. Erazo, R. (2013). En Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosi, Mexico (págs. 22(1), 5-15). Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental.

10. Escudero, P. D. (2017). Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales tipo MIDUVI. Universidad Técnica de Ambato.
11. Gaviria, Muñoz & Gonzáles, C. F. (2012). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de. Revista Facultad Nacional de Salud Pública,, 30(3), 316–327.
12. IGM. (2014). Cartografía Base Ecuador 50000. Quito: IGM.
13. INAMHI. (2020). Boletín Climatológico. Quito: INAMHI.
14. Lara, C. A. (2018). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio La Esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos .
15. MAE. (2012). Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional. Quito.
16. Marcos, R. &. (2012). Contaminación del aire por material particulado. entro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF).
17. OMS. (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-airquality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-airquality-and-health).
18. Santillán, G. C. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. Revista Científica Perfiles.
19. Santillán Lima, G. P., Lara Basantes, C. A., & Caichug Rivera, D. M. (2022). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil por incidencia de aserraderos. Tesla Revista Científica, 2(1), 101–115. <https://doi.org/10.55204/trc.v2i1.20>
20. Schraufnagel, D. E.-H. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases. Chest, 155(2), 409–416.
21. Zhang, Y., Cai, J., Wang, S., He, K., & Zheng, M. (2017). Review of receptor-based source apportionment research of fine particulate matter and its challenges in China. Science of The Total Environment, 917-929.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).