



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

### CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

---

## “EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y PM 2,5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS”

---

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Ambiental

**Autora:**

Carrera Tello Estefany Marcela

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

**Carrera Tello Estefany Marcela** con cédula de ciudadanía No. **1723155733**, declara ser autora del presente proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y PM 2,5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS”** siendo el **Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.** Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 26 de febrero del 2024



Carrera Tello Estefany Marcela

**Estudiante**

CC: **1723155733**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CARRERA TELLO ESTEFANY MARCELA** con cédula de ciudadanía **1723155733** estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominarán **LA CEDENTE**; y, de otra parte, Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **LA CEDENTE** son una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y PM 2,5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

**Inicio de la carrera:** abril 2019 - agosto 2019

**Finalización de la carrera:** octubre 2023 – marzo 2024

**Aprobación en Consejo Directivo:**

**Tutor:** Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

**Tema:** “**EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y PM 2,5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, se someterán a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 26 días del mes de febrero del 2024.



Carrera Tello Estefany Marcela  
**LA CEDENTE**

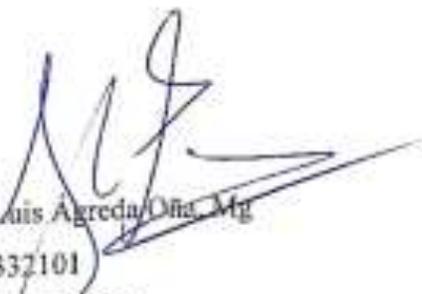
Dr. Idalia Pacheco Tigselema.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad del Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM 2.5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS”** de Carrera Tello Estefany Marcela, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 20 de febrero, 2024



Ing. José Luis Agreda Oña Mg

CC: 0401332101

**DOCENTE TUTOR**

## AVALDE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: de Carrera Tello Estefany Marcela, con el título del Proyecto de Investigación: "EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM 2.5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS", ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de agosto del 2023



Ing. Vladimir Ortiz Bustamante Mg.  
CC: 0502188451  
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos  
CC: 0501444582  
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Mg. Daza Guerra Oscar Rene  
CC: 9400689790  
LECTOR 3 (MIEMBRO)

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento por el apoyo y la guía que me han brindado durante el desarrollo de mi tesis. Su dedicación y compromiso han sido fundamentales para alcanzar este logro académico.*

*En primer lugar, quiero agradecer a mi madre por su compromiso con la excelencia académica. su rigurosidad y exigencia me han impulsado a dar lo mejor de mí y a superar mis propias expectativas. Gracias a ti, he aprendido a ser más disciplinada y a buscar siempre la calidad en mi trabajo.*

*Quiero agradecer a mi hermana por tu paciencia y motivación constante. Tus palabras de aliento y ánimo me han dado la confianza necesaria para continuar avanzando, incluso cuando me encontraba frente a desafíos y momentos de duda. Tu apoyo incondicional ha sido una fuente de inspiración para mí.*

*Por último, pero no menos importante, quiero agradecer al amor de mi vida por tu tiempo y disposición para escuchar mis ideas y orientarme en la dirección correcta. Tu amor y conocimientos han sido invaluable para enriquecer mi vida y ayudarme a superar los obstáculos que se han presentado en el camino.*

***Carrera Tello Estefany Marcela***

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Sandra Tello, quien ha sido mi mayor apoyo y fortaleza a lo largo de toda mi vida. Gracias por creer en mí y por inculcarme valores de perseverancia y dedicación. Este logro no habría sido posible sin su amor incondicional y su constante apoyo emocional y financiero.*

*A mi hermana Thais Carrera, quienes siempre han estado a mi lado, animándome y motivándome a seguir adelante. Gracias por su comprensión y por ser mi red de apoyo en los momentos de estrés y presión. tu confianza en mí ha sido un impulso invaluable para alcanzar mis metas.*

*A el amor de mi vida Diego Pusda, quien siempre ha estado ahí para escucharme, brindarme palabras de aliento y celebrar mis logros. Gracias por tu apoyo incondicional y por ser una fuente constante de alegría y motivación. Sin ti, este camino habría sido más difícil de recorrer.*

*A Johanna, Danny, Danny y Valentina, mi familia, les agradezco por su amor incondicional, por estar siempre a mi lado y por brindarme el apoyo emocional y el aliento necesario para enfrentar los desafíos que se presentan en el camino.*

*A Rosa Puco y Alexis Coba, mis amigos, les agradezco por su compañía, por escucharme y por brindarme su apoyo en cada etapa de este proceso. Sus palabras de aliento, sus ideas, sus chistes y su presencia han sido un verdadero regalo que ha enriquecido mi carrera y mi vida.*

*Este logro es también de ustedes, pues sin su apoyo, ánimo y amor, no habría sido posible llegar hasta aquí. Gracias por ser parte de mi vida y por ser una inspiración constante.*

***Carrera Tello Estefany Marcela***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 10 Y PM 2,5 EN LA PARROQUIA MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS”**

**Autora:**  
Carrera Tello Estefany Marcela

**RESUMEN**

En la contaminación del aire se destacan las partículas en suspensión, también conocidas como Material Particulado (PM), dado que son los contaminantes más comunes que están presentes en la atmósfera. Por lo que, esta investigación analiza PM 10 y PM 2.5 en la parroquia de Machachi, en el cantón Mejía. El monitoreo de material particulado se realizó en cuatro puntos localizados en sitios accesibles de alto y bajo flujo vehicular, mediante el equipo E-BAM que permitió la toma de muestra durante 24 horas. La metodología realizada está basada en la interpolación de análisis geoestadístico, la validación y selección del modelo de estimación de cada hora de monitoreo y la aplicación de álgebra de mapas, a través del sistema de información geográfica ArcGIS. En este software se aplicaron dos métodos de interpolación: IDW y Kriging ordinario, obteniendo valores de PM10 y PM 2.5 en toda el área de estudio. Los datos de concentración de material particulado PM10 no sobrepasa el límite máximo permisible ( $100 \mu\text{gm}^3$  en un promedio de 24 horas) según la Normativa 097-A, obteniéndose como concentración promedio del punto uno  $14 \mu\text{gm}^3$ , el segundo punto  $16 \mu\text{gm}^3$ , el tercer punto  $11 \mu\text{gm}^3$  y el último punto es de  $10 \mu\text{gm}^3$ . En cuanto a los valores obtenidos del monitoreo de PM 2.5 se determinó que no sobrepasan el límite máximo permisible ( $50 \mu\text{gm}^3$  en un promedio de 24 horas) según la Normativa 097-A, definiéndose para el punto uno  $12 \mu\text{gm}^3$  y en el segundo punto  $13 \mu\text{gm}^3$  el tercer punto de muestra es de  $12 \mu\text{gm}^3$  y el último punto es de  $9 \mu\text{gm}^3$ . Lo que se encuentra en un nivel aceptable de calidad de aire. Se determinó que el método de interpolación que más se ajusta a PM10 es KRIGING -Esférico, caso contrario en PM2,5 que el método de interpolación que más se ajusta es IDW. Como medidas de mitigación se encuentran las siguientes alternativas: vegetación urbana, carshing, plan de monitoreo de material particulado, entre otras.

**Palabras clave:** ArcGIS, Interpolación, IDW, Kriging, Material Particulado, Vehículos

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: "EVALUATION OF PARTICULATE MATTER PM10 AND PM 2.5 IN MACHACHI PARISH, CANTON MEJÍA, TO GENERATE A COMPARISON MAPPING OF AIR QUALITY IN AFFECTED AREAS".**

**AUTHOR:**

Carrera Tello Estefany Marcela.

**ABSTRACT**

In air pollution, suspended particles, also known as Particulate Matter (PM), are the most common pollutants present in the atmosphere. Therefore, this research analyses PM 10 and PM 2.5 in the parish of Machachi, in the canton of Mejía. The monitoring of particulate matter was carried out at four points located in accessible places with high and low vehicular flow, using E-BAM equipment that allowed sampling during 24 hours. The methodology used was based on the interpolation of geostatistical analysis, the validation and selection of the estimation model for each hour of monitoring and the application of map algebra, using the ArcGIS geographic information system. Two interpolation methods were applied in this software: IDW and ordinary Kriging, obtaining PM10 and PM 2.5 values for the entire study area. The PM10 particulate matter concentration data does not exceed the maximum permissible limit ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in a 24-hour average) according to Regulation 097-A, obtaining as average concentration of point one  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , the second point  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , the third point  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and the last point is  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . As for the values obtained from the monitoring of PM 2.5 it was determined that they do not exceed the maximum permissible limit ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in a 24-hour average) according to Regulation 097-A, being defined for point one  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and in the second point  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  the third sample point is from  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and the last point is from  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . It was determined that the interpolation method that best fits to PM10 is KRIGING - Spherical, otherwise in PM2.5 the interpolation method that best fits is IDW. Mitigation measures include the following alternatives: urban vegetation, carshing, particulate matter monitoring plan, among others.

**Keywords:** Particulate Matter, PM2.5/PM10 ratio, Air Quality, Monitoring

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xxiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xxiii
1.- INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3.- BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	3
4.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
5.- OBJETIVOS .....	4
5.1 Objetivo General .....	4
5.2 Objetivo Específico .....	4
6.- ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	5
7.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	6

7.1	La atmósfera .....	6
7.1.1	Contaminación atmosférica .....	6
7.2	Material particulado.....	7
7.2.1	Clasificaciones del material particulado.....	7
7.2.2	Calidad del aire en torno al material particulado .....	8
7.2.3	Efectos del material particulado en la salud .....	9
7.3	Norma ecuatoriana de calidad de aire.....	10
7.4	Aplicación de geoestadística para el modelamiento de datos.....	11
7.4.1	Análisis exploratorio de datos .....	12
7.4.2	Análisis estructural de datos .....	13
7.4.3	Predicciones.....	13
7.5	Modelación de variabilidad espacial .....	14
7.6	Técnicas de Interpolación Espacial .....	15
7.6.1	Kriging.....	15
7.6.2	Kriging ordinario .....	16
7.6.3	IDW .....	18
7.7	Variogramas y semi - variogramas.....	20
7.8	Diagramas de datos caja y bigotes.....	23
7.8.1	Validación Cruzada .....	24
7.8.2	E-BAM. Plus de Met One.....	26
8.-	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS .....	27
9.-	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	29
9.1	Enfoque de investigación.....	29
9.2	Métodos de investigación .....	29
9.2.1	Método estadístico.....	29
9.2.2	Método Analítico.....	29
9.2.3	Método Deductivo .....	30
9.2.4	Diseño experimental.....	30
9.3	Técnicas de investigación.....	30
9.3.1	Investigación documental .....	30
9.3.2	Investigación de campo .....	31
9.3.3	La observación.....	31
9.3.4	Instrumentos .....	31

9.3.5	Equipos .....	31
9.4	Desarrollo de la propuesta .....	32
9.4.1	Población y muestra.....	32
9.4.2	Ubicación.....	32
9.4.3	Puntos de monitoreo .....	33
9.5	Metodología para la interpolación .....	40
9.5.1	Interpolación de datos en ArcMap.....	41
9.5.2	Metodología para la validación cruzada .....	41
10.-	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	42
10.1	Material particulado gráficas y estadísticas .....	42
10.2	Comparación con la Normativa Vigente Acuerdo Ministerial 097-A para PM 10 límites promedio de concentración en 24 horas.....	53
10.3	Comparación con la Normativa Vigente .....	54
10.3.1	Acuerdo Ministerial 097-A para PM.2.5 límites promedio de concentración en 24 horas 54	
10.3.2	Interpolación gráficas y comparación PM 10.....	55
10.3.3	Interpolación gráficas y comparación 2,5.....	79
10.3.4	Validación 2,5.....	106
10.4	Comportamientos Finales .....	109
10.5	Medidas de prevención ante la contaminación por material particulado PM. 10 y PM 2,5	112
11.-	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	118
11.1	Impactos técnicos.....	118
11.2	Impactos sociales .....	118
11.3	Impactos ambientales.....	118
12.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
12.1	Conclusiones.....	119
12.2	Recomendaciones .....	120
13.-	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	121
14.-	ANEXOS .....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> <i>Beneficiarios Directos del Proyecto</i> .....	3
<b>Tabla 2:</b> <i>Beneficiarios Indirectos del Proyecto</i> .....	3
<b>Tabla 3</b> <i>Objetivos planteados</i> .....	5
<b>Tabla 4:</b> <i>Estándares establecidos por la legislación ecuatoriana</i> .....	11
<b>Tabla 5:</b> <i>Kriging Ordinario</i> .....	18
<b>Tabla 6:</b> <i>Funciones matemáticas para variogramas</i> .....	22
<b>Tabla 7:</b> <i>Puntos de Monitoreo</i> .....	33
<b>Tabla 8</b> <i>Tabla de monitoreo P1</i> .....	35
<b>Tabla 9</b> <i>Tabla de monitoreo P2</i> .....	36
<b>Tabla 10:</b> <i>Tabla de monitoreo P3</i> .....	37
<b>Tabla 11</b> <i>Tabla de monitoreo P4</i> .....	38
<b>Tabla 12</b> <i>Tabla de monitoreo P4</i> .....	39
<b>Tabla 13:</b> <i>Concentración de límites vigentes PM<sub>2.5</sub></i> .....	41
<b>Tabla 14:</b> <i>Interpolación 8a.m.</i> .....	55
<b>Tabla 15:</b> <i>Interpolación 9a.m.</i> .....	56
<b>Tabla 16:</b> <i>Interpolación 10a.m.</i> .....	57
<b>Tabla 17:</b> <i>Interpolación 11a.m.</i> .....	58
<b>Tabla 18:</b> <i>Interpolación 12 a.m.</i> .....	59
<b>Tabla 19:</b> <i>Interpolación 1p.m.</i> .....	60
<b>Tabla 20:</b> <i>Interpolación 2p.m.</i> .....	61
<b>Tabla 21:</b> <i>Interpolación 3p.m.</i> .....	62
<b>Tabla 22:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	63

<b>Tabla 23:</b> <i>Interpolación 5p.m.</i> .....	64
<b>Tabla 24:</b> <i>Interpolación 6p.m.</i> .....	65
<b>Tabla 25:</b> <i>Interpolación 7p.m.</i> .....	66
<b>Tabla 26:</b> <i>Interpolación 8p.m.</i> .....	67
<b>Tabla 27:</b> <i>Interpolación 9p.m.</i> .....	68
<b>Tabla 28:</b> <i>Interpolación 10p.m.</i> .....	69
<b>Tabla 29:</b> <i>Interpolación 11a.m.</i> .....	70
<b>Tabla 30:</b> <i>Interpolación 12p.m.</i> .....	71
<b>Tabla 31:</b> <i>Interpolación 1a.m.</i> .....	72
<b>Tabla 32:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	73
<b>Tabla 33:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	74
<b>Tabla 34:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	75
<b>Tabla 35:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	76
<b>Tabla 36:</b> <i>Interpolación 6a.m.</i> .....	77
<b>Tabla 37:</b> <i>Interpolación 7a.m.</i> .....	78
<b>Tabla 38:</b> <i>Interpolación PM.2, 5 8a.m.</i> .....	79
<b>Tabla 39:</b> <i>Interpolación PM.2, 5 9a.m.</i> .....	80
<b>Tabla 40:</b> <i>Interpolación PM 2,5 10a.m.</i> .....	81
<b>Tabla 41:</b> <i>Interpolación PM 2,5 11a.m.</i> .....	82
<b>Tabla 42:</b> <i>Interpolación PM 2,5 12a.m.</i> .....	82
<b>Tabla 43:</b> <i>Interpolación PM 2,5 1p.m.</i> .....	84
<b>Tabla 44:</b> <i>Interpolación PM 2,5 2p.m.</i> .....	85
<b>Tabla 45:</b> <i>Interpolación PM 2,5 3p.m.</i> .....	86
<b>Tabla 46:</b> <i>Interpolación PM 2,5 4p.m.</i> .....	87

<b>Tabla 47:</b> <i>Interpolación PM 2,5 5p.m.</i> .....	88
<b>Tabla 48:</b> <i>Interpolación PM 2,5 6p.m.</i> .....	89
<b>Tabla 49:</b> <i>Interpolación PM 2,5 7p.m.</i> .....	90
<b>Tabla 50:</b> <i>Interpolación PM 2,5 8 p.m.</i> .....	91
<b>Tabla 51:</b> <i>Interpolación PM 2,5 9p.m.</i> .....	92
<b>Tabla 52:</b> <i>Interpolación PM 2,5 10p.m.</i> .....	93
<b>Tabla 53:</b> <i>Interpolación PM 2,5 11p.m.</i> .....	94
<b>Tabla 54:</b> <i>Interpolación PM 2,5 12p.m.</i> .....	95
<b>Tabla 55:</b> <i>Interpolación PM 2,5 1a.m.</i> .....	96
<b>Tabla 56:</b> <i>Interpolación PM 2,5 2a.m.</i> .....	97
<b>Tabla 57:</b> <i>Interpolación PM 2,5 3a.m.</i> .....	98
<b>Tabla 58:</b> <i>Interpolación PM 2,5 4a.m.</i> .....	99
<b>Tabla 59:</b> <i>Interpolación PM 2,5 5a.m.</i> .....	100
<b>Tabla 60:</b> <i>Interpolación PM 2,5 6a.m.</i> .....	101
<b>Tabla 61:</b> <i>Interpolación PM 2,5 7a.m.</i> .....	102
<b>Tabla 62:</b> <i>Interpolación PM. 10; 8:00 a 10:00a.m.</i> .....	103
<b>Tabla 63:</b> <i>Interpolación PM 10 de 11:00 a 1:00pm</i> .....	103
<b>Tabla 64:</b> <i>Interpolación PM. 10, de 2:00 a 4:00pm</i> .....	103
<b>Tabla 65:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 4:00 a 6:00</i> .....	104
<b>Tabla 66:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 7:00 a 9:00pm</i> .....	104
<b>Tabla 67:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 10:00 a 12:00a.m</i> .....	104
<b>Tabla 68:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 1:00 a 3:00a.m</i> .....	105
<b>Tabla 69:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 4:00 a 7:00a.m.</i> .....	105
<b>Tabla 70:</b> <i>Interpolación PM 2,5; 8:00 a 10:00a.m.</i> .....	106

<b>Tabla 71:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 11:00 a 1:00pm</i> .....	106
<b>Tabla 72:</b> <i>Interpolación PM. 10, de 2:00 a 4:00pm</i> .....	106
<b>Tabla 73:</b> <i>Interpolación PM 10 de 5:00 a 7:00</i> .....	107
<b>Tabla 74:</b> <i>Interpolación PM 10 de 8:00 a 10:00pm</i> .....	107
<b>Tabla 75:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 11:00 a 1:00a.m</i> .....	107
<b>Tabla 76:</b> <i>Interpolación PM. 10 de 2:00 a 4:00hr</i> .....	108
<b>Tabla 77:</b> <i>Interpolación PM.2,50 de 5:00 a 7:00hr</i> .....	108
<b>Tabla 78:</b> Comportamiento de los Contaminantes PM 10 y PM.2,5.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Pautas de Calidad de aire en PM 2,5</i> .....	8
<b>Figura 2:</b> <i>Calidad de aire en Ecuador 2023</i> .....	9
<b>Figura 3:</b> <i>Las PM. en la salud</i> .....	10
<b>Figura 4:</b> <i>Gráfico de dispersión es <math>z(x+h)</math></i> .....	15
<b>Figura 5:</b> <i>Grafica de Kriging Ordinario</i> .....	17
<b>Figura 6:</b> <i>IDW, gráfica con distribución de puntos en un área de estudio</i> .....	20
<b>Figura 7:</b> <i>Semivariograma</i> .....	21
<b>Figura 8:</b> <i>Caja y bigotes de datos de partida y con transformación logarítmica</i> .....	23
<b>Figura 9:</b> <i>Validación Cruzada</i> .....	24
<b>Figura 10:</b> <i>Proceso de validación</i> .....	25
<b>Figura 11:</b> <i>El E-BAM. Plus de Met One</i> .....	26
<b>Figura 12:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	32
<b>Figura 13:</b> <i>Puntos de Monitoreo</i> .....	34
<b>Figura 14:</b> <i>Metodología de Interpolación</i> .....	40
<b>Figura 15:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM 10</b> (24 HORAS) punto 1</i> .....	42
<b>Figura 16:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM 2,5</b> (24 HORAS) punto 1</i> .....	43
<b>Figura 17:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM10</b> (24 HORAS) punto 2</i> .....	44
<b>Figura 18:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM2.5</b> (24 HORAS) punto 2</i> .....	45
<b>Figura 19:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM10</b> (24 HORAS) punto 3</i> .....	46
<b>Figura 20:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM 2,5</b> (24 HORAS) punto 3</i> .....	47
<b>Figura 21:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM 10</b> (24 HORAS) punto 4</i> .....	48
<b>Figura 22:</b> <i>Datos del Material Particulado <b>PM.2,5</b> (24 HORAS) punto 4</i> .....	49

<b>Figura 23:</b> Datos del Material Particulado PM 10 (24 HORAS) <i>punto de validación</i> .....	51
<b>Figura 24:</b> Datos del Material Particulado PM.2,5 (24 HORAS) <i>punto de validación</i> .....	52
<b>Figura 25:</b> <i>Concentración de limites vigentes PM 10</i> .....	53
<b>Figura 26:</b> <i>Concentración de limites vigentes PM.2.5</i> .....	54
<b>Figura 27:</b> <i>Comportamiento diario del PM10 en el área de estudio.</i> .....	109
<b>Figura 28:</b> <i>Comportamiento diario del PM10 en el área de estudio.</i> .....	110
<b>Figura 29:</b> Comportamiento de contaminantes .....	112
<b>Figura 30:</b> <i>Vegetación Urbana</i> .....	114
<b>Figura 31:</b> Carsharing .....	115
<b>Figura 32:</b> <i>Mediciones periódicas de Material Particulado</i> .....	116
<b>Figura 33:</b> <i>Control Vehicular</i> .....	117
<b>Figura 34:</b> Colocación del instrumento .....	125
<b>Figura 35:</b> Selección de Puntos de Muestreo .....	125
<b>Figura 36:</b> Puntos de Muestreo día dos .....	125
<b>Figura 37:</b> Puntos de Muestreo día uno.....	125
<b>Figura 38:</b> Puntos de Muestreo día dos .....	126
<b>Figura 39:</b> Puntos de Muestreo día tres .....	126
<b>Figura 40:</b> Estudiante Investigadoras .....	126
<b>Figura 41:</b> Verificación de la máquina.....	126
<b>Figura 42:</b> <i>Creación de Carpetas</i> .....	127
<b>Figura 43:</b> <i>Shapefile a trabajar</i> .....	127
<b>Figura 44:</b> <i>Menú Add File</i> .....	128
<b>Figura 45:</b> <i>Short Integer de PM</i> .....	128
<b>Figura 46:</b> <i>Short integer de puntos de monitoreo.</i> .....	129

<b>Figura 47:</b> <i>Guardar datos</i> .....	129
<b>Figura 48:</b> <i>Integer ArcTool Box</i> .....	131
<b>Figura 49:</b> <i>IDW</i> .....	132
<b>Figura 50:</b> <i>Grafica IDW</i> .....	132
<b>Figura 51:</b> <i>Extract Values to point</i> .....	133
<b>Figura 52:</b> <i>Selecciona el raster de IDW</i> .....	134
<b>Figura 53:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	135
<b>Figura 54:</b> <i>Valor obtenido IDW</i> .....	135
<b>Figura 55:</b> <i>Registro de valores en Exel</i> .....	135
<b>Figura 56:</b> <i>Propiedades de IDW</i> .....	136
<b>Figura 57:</b> <i>Seleccionamos la desviación estándar</i> .....	136
<b>Figura 58:</b> <i>Desviación Estándar</i> .....	137
<b>Figura 59:</b> <i>Spatial Analyst Tools</i> .....	138
<b>Figura 60:</b> <i>Semivariogram model</i> .....	138
<b>Figura 61:</b> <i>Extract Values to point</i> .....	139
<b>Figura 62:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	139
<b>Figura 63:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	140
<b>Figura 64:</b> <i>Registro de datos Kiging exponencial</i> .....	140
<b>Figura 65:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	141
<b>Figura 66:</b> <i>Carga de mapas</i> .....	141
<b>Figura 67:</b> <i>Selección de herramienta</i> .....	142
<b>Figura 68:</b> <i>Extensiones de la herramienta</i> .....	142
<b>Figura 69:</b> <i>Analizamos los datos</i> .....	143
<b>Figura 70:</b> <i>Catálogo de ArcGIS</i> .....	143

<b>Figura 71:</b> <i>Catálogo de ArcGIS</i> .....	144
<b>Figura 72:</b> <i>Selección de herramienta</i> .....	145
<b>Figura 73:</b> <i>Selección de herramienta</i> .....	145
<b>Figura 74:</b> <i>Desviación Estándar</i> .....	146
<b>Figura 75:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	146
<b>Figura 76:</b> <i>Extracción y ejecutar de Puntos</i> .....	147
<b>Figura 77:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	148
<b>Figura 78:</b> <i>Establecer los atributos</i> .....	148
<b>Figura 79:</b> <i>Copia de datos a Exel</i> .....	149
<b>Figura 80:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	150
<b>Figura 81:</b> <i>Selección de krigrig esférico</i> .....	150
<b>Figura 82:</b> <i>Ubicación de la Investigación</i> .....	151

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Modelación de variabilidad espacial <b>7.1</b> .....	14
Kriging ordinario <b>7.2</b> .....	16
Kriging <b>7.3</b> .....	16
Distancia ponderada <b>7.4</b> .....	19
índice P <b>7.5</b> .....	19
Media Aritmética <b>9.1</b> .....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> <i>Registro fotográfico</i> .....	125
<b>Anexo 2:</b> <i>Interpolación de datos en ArcMap</i> .....	127
<b>Anexo 3:</b> <i>Metodología de interpolación por método IDW</i> .....	131
<b>Anexo 4:</b> <i>Metodología de interpolación por método Kriging Exponencial</i> .....	138
<b>Anexo 5:</b> <i>Metodología de interpolación por método Kriging esférica</i> .....	146

## **1.- INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

Evaluación de material particulado PM 10 Y PM 2,5 en la parroquia Machachi cantón Mejía para generar un mapeo de comparación de calidad de aire en zonas afectadas

### **Lugar de ejecución:**

Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

### **Institución, unidad académica y carrera que auspicia**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

### **Nombres de equipo de investigación:**

**Tutor:** Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg

**Estudiante:** Srta. Carrera Tello Estefany Marcela.

**Lector 1:** Ing. Vladimir Ortiz Mg.

**Lector 2:** Ing. Manuel Patricio Clavijo Cevallos

**Lector 3:** Ing. Oscar Rene Daza Guerra

### **Área de Conocimiento:**

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

### **Línea de investigación:**

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

### **Sub-línea de Investigación de la Carrera:**

Impactos ambientales

### **Línea de Vinculación de la Facultad:**

**Servicios:** Impactos ambientales y desastres naturales

## 2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad la contaminación por partículas se ha incrementado. En este contexto, la Agencia de Protección ambiental (EPA) afirma: “El tamaño de las partículas se encuentra directamente vinculado con el potencial para provocar problemas de salud, estas partículas provocan mayores problemas, debido a que pueden llegar a la profundidad de los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo” (EPA, 2023). Este material particulado como el  $PM_{2,5}$  puede afectar la visibilidad, dañar la piel y causar un daño ambiental al suelo y al agua.

La investigación se realiza con el objetivo de analizar la también llamada contaminación por partículas o material particulado (MP) en la parroquia Machachi, cantón Mejía, que mezclan diferentes elementos como el polvo, el metal, los compuestos orgánicos, el moho y diferentes químicos en partículas menores a  $PM_{10}$  partículas inhalables que tienen diámetros de 10 micrómetros y menores; y  $PM_{2,5}$  partículas inhalables finas que tienen diámetros de 2,5 micrómetros y menores (EPA en español, 2023).

La investigación brinda aportes técnicos y teóricos con respecto al estudio de partículas contaminantes, con la finalidad de implementar planes de contingencia para la mitigación de material particulado; además, así como medidas de seguridad para los moradores del sector. Se establece en la investigación una metodología técnica para la toma de muestras con una selección adecuada de los sitios de muestreo y los datos acorde a las normativas vigentes de Acuerdo Ministerial 097-A por medio de la experimentación y establecer la calidad de aire de la zona y los picos altos de concentraciones para un futuro plan de contingencia.

El proyecto beneficia a la colectividad de la parroquia Machachi, cantón Mejía, así como a estudiantes de ingeniería ambiental que necesitan referentes para realizar proyectos similares.

Por otra parte, el proyecto es práctico y relevante por la forma en la que se utilizarán las herramientas técnicas para ejecutar el proyecto, pues, se realizarán cálculos por medio de herramientas digitales como son programas de Excel, ArcGIS, para cálculos bajo medidas aritméticas.

### 3.- BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Tabla 1:**

*Beneficiarios Directos del Proyecto.*

<b>Parroquia</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
<b>Machachi</b>			
Población	15.579	17.235	32.814

**Fuente:** <https://www.censoecuador.gob.ec/>

**Tabla 2:**

*Beneficiarios Indirectos del Proyecto.*

<b>Cantón Mejía</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
Población	48.864	53.030	101.894

**Fuente:** [https://www.censoecuador.gob.ec](https://www.censoecuador.gob.ec/)

### 4.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel mundial los índices de contaminación afectan a toda la población, existe contaminación auditiva, visual, la polución del aire y del agua. La contaminación urbana es un factor que se debe analizar por separado debido a los efectos negativos para la salud humana. Algunas nuevas afecciones son el daño al cerebro, pues, de nueve personas, 10 respiran aire sucio como sulfatos, nitratos y hollín (Pesantes, 2023).

En la contaminación del aire se destacan las partículas en suspensión, también conocidas como Material Particulado (PM.), son los contaminantes más comunes que están presentes en la atmósfera, estas partículas tienen un diámetro inferior a 2.5 micras (PM2.5) (Stephen, y otros, 2018). Entre las ciudades con aire más contaminado se encuentra Nueva Delhi, Beijing, que manejan 282 microgramos, casi 56 veces más que lo recomendado, además de siete millones de muertes ocasionadas por partículas de polvo.

En Ecuador, según la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) Guayaquil supera los niveles de polución en el aire con 66 microorganismos por metro cúbico, por lo que es necesario realizar controles de calidad de aire; en 2021 se estableció que lo recomendable es menos de 15 microorganismos por metro cúbico (López, 2024).

En Quito se han tomado desde las 2020 medidas para mejorar la calidad de aire, sin embargo, estas alternativas solo se quedaron como borradores de ordenanzas municipales, considerando que se debe establecer un mejor monitoreo de aire. Se considera también que en 2020 debido a las restricciones vehiculares por la pandemia el aire de Quito mejoro un 50% (Velasco, 2021).

En el cantón Mejía las emisiones son generadas por fuentes móviles (carros, vehículos pesados, motos, actividad industrial) y fijas (chimeneas o cocinas de leñas). La cabecera cantonal Machachi es una zona agrícola, ganadera y rural, pero posee vías de primer orden, por lo menos 33 000 vehículos circulan por la vía E35 y por el peaje de Machachi, mientras que se incrementó el 6% del parque automotor propio de la zona.

## **5.- OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo General**

Evaluar los niveles de concentración de material particulado PM 10 Y PM 2,5 en puntos estratégicos en la parroquia Machachi del cantón Mejía a través de un plan de monitoreo para cuantificar el nivel de contaminación y la calidad de aire.

### **5.2 Objetivo Específico**

- Establecer los puntos óptimos de monitoreo de aire en el sector de la investigación.
- Cuantificar las concentraciones de PM 10 y PM2,5 e implementar un modelo de predicción de sus concentraciones a través del análisis geoestadístico.
- Comparar las concentraciones de PM 10 y PM2,5. Con los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos por la Normativa Ecuatoriana. y su posible mitigación.

## 6.- ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 3**

*Objetivos planteados*

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultado</b>
Establecer los puntos óptimos de monitoreo de aire en el sector de la investigación.	Selección de los lugares óptimos de puntos de muestreo Seleccionar los contaminantes a analizar	Investigación de campo con respecto al monitoreo de calidad de aire. Investigación documental	Obtención de puntos de muestro
Cuantificar las concentraciones de PM 10 y PM.2,5 e implementar un modelo de predicción de sus concentraciones a través del análisis geoestadístico.	Monitoreo de la cantidad de material particulado con el equipo especializado.	Investigación cuantitativa para el análisis geoestadístico de los datos	Datos estadísticos de la calidad del aire. Análisis e interpretación de resultados. Modelo de predicción de concentración de PM 10 y PM.2.5
Comparar las concentraciones de PM 10 y PM.2,5 con los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos por la Normativa Ecuatoriana. y su posible mitigación	Identificación de las actividades para la prevención del impacto ambiental.	Metodología de prevención ambiental para materiales particulados	Análisis e interpretación de resultados.

**Elaborado por:** Carrera.

## **7.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1 La atmósfera**

El concepto de atmosfera parte de la mezcla de gases y partículas líquidas que se entremezclan, sus principales componentes son: el nitrógeno, el oxígeno, el argón, el dióxido y monóxido de carbono, entre otros.

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, (2023):La atmósfera constituye la capa gaseosa que rodea la litosfera y la hidrosfera. Se entiende por contaminación atmosférica la presencia de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para personas, medio ambiente y demás bienes (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023; par. 4).

La atmósfera tiene como función proteger la vida en la Tierra al evitar el paso directo de la radiación solar, el calor y tienen unos 100 kilómetros de altura, las capas de la atmósfera son cinco: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera (Milo, 2023).

La atmósfera ha cambiado desde el siglo XVIII debido a la revolución industrial, lo que ha producido contaminación atmosférica que dañan el ecosistema; la mayoría se producen por el uso de combustibles fósiles.

#### **7.1.1 Contaminación atmosférica**

Se basa en la presencia de contaminantes que alteran la calidad del aire y causa riesgos a la salud con enfermedades como: el asma, enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, enfermedades respiratorias, entre otros.

Según la OMS (2019):

Los aparatos domésticos de combustión, los vehículos de motor, las instalaciones industriales y los incendios forestales son fuentes habituales de contaminación de aire, los contaminantes son las partículas en suspensión, el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (OMS, 2019; párr.2).

La OMS en los últimos años ha establecido diferentes directrices de calidad de aire con el objetivo de mitigar los problemas de la salud. OMS (2021) afirma que “las partículas en suspensión de PM 10 y PM.2,5 son de especial relevancia para la salud pública, las PM 10 son capaces de penetrar profundamente en los pulmones, pero las PM2,5 pueden incluso entrar en el torrente sanguíneo y a los órganos” (párr.6).

## 7.2 Material particulado

Es un conjunto de partículas sólidas líquidas que se encuentran en el aire y se conforman por el polvo, humo, hollín, polen, partículas derribadas de diferentes procesos productivos. (Chacón, 2021).

Esto lo menciona Guerrero, Arellano, & Rocha (2019):

Partícula es un término que se emplea para describir las materias sólidas y las gotas pequeñas de líquido, divididas finamente. Algunas son tan grandes que pueden verse como: los polvos, los humos, el hollín, las cenizas volátiles, la neblina y el aerosol. Muchos de esos contaminantes pueden ser dispersados y arrastrados por el aire, y contener óxido de hierro, plomo, fluoruros y arsénico, en general los metales tóxicos (Guerrero, Arellano, & Rocha; 2019; p.43)

El material particulado se identifica por su diámetro y distribución granulométrica, esta se puede clasificar de diferentes maneras y en la investigación se identificarán en PM. 10 y PM 2,5.

### 7.2.1 Clasificaciones del material particulado

Las PM. se clasifican como partículas finas microscópicas que son respirables estos contaminantes pueden ser monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono.

Prana, (2022) menciona:

- **PM10:** Estas son partículas ultrafinas con un tamaño de 1 micra o menos. Ejemplos: Patógenos aerotransportados, bacterias, virus;
- **PM2.5:** Estas son partículas finas respirables con un tamaño de 2.5 micras o menos. Ejemplos: Humo, humo de tabaco, neblina;

- **PM 10:** Las partículas inhalables con un tamaño de 10 micras o menos entran en esta categoría. Ejemplos: polvo arrastrado por el viento, esporas de moho, polen, (Prana, 2022).

Luego de analizar el tipo de material particulado, sus tamaños y composición se procede a analizar como estos materiales modifican el material particulado.

### 7.2.2 Calidad del aire en torno al material particulado

El Valor de Índice de Calidad de aire (ICA) se mide en niveles de 0 a 500 partículas contaminantes que perjudican la salud. Estos se definen en seis categorías de peligrosidad que van en asenso cualitativo.

#### Figura 1:

*Pautas de Calidad de aire en PM 2,5*



**Nota:** <https://www.pranaair.com/es/what-is-particulate-matter-pm/>

Estos niveles representan la calidad de aire en torno a AQI (Índice de calidad de aire), A nivel cualitativo, el rango del ICA está dividido en seis tramos:

- **Buena:** Color verde (ICA de 0 a 50)
- **Moderada:** Color amarillo (ICA de 51 a 100)
- **Pobre:** Color naranja (ICA de 101 a 150)
- **Malsano:** Color rojo (ICA 151 a 200)
- **Severo:** Color morado (ICA 201 a 300)

- **Peligrosa:** Color marrón (ICA superior a 300)

## Figura 2:

*Calidad de aire en Ecuador 2023*

Ecuador - Nivel de contaminación del aire de los estados							
ESTADOS	Estado	AQI-US	PM2.5	PM10	Temp	Humid	
Azuay	MODERATE	61	8	0	18	65	
Galapagos	GOOD	17	4	4	29	79	
Pichincha	MODERATE	58	16	13	18	55	

**Nota:** <https://www.aqi.in/es/dashboard/ecuador>

Existen diferentes niveles para considerar la calidad de aire, sin embargo, se considera saludable que los PM 2,5 sean de 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o menos, y si supera 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas el aire se considera peligroso.

### 7.2.3 Efectos del material particulado en la salud

Estudios científicos han determinado que la contaminación de partículas finas produce diferentes problemas de salud asociados a órganos respiratorios como la nariz, la faringe, pulmones y tráquea, así lo menciona:

Castillo & Rodríguez, (2016):

- **Nariz:** Es el primer filtro donde ingresan las partículas por medio de las fosas nasales y son manifestadas por medio de estornudos, mucosidades, etc.
- **Tráquea, faringe y laringe:** Las partículas ingresan por vía salivar o vía esofágica, irrita la laringe y tráquea.
- **Alvéolos:** Las partículas que han alcanzado la región alveolar, se depositan en las paredes de los pulmones, producen enfermedades como alergias, gripe, entre otras.

La disminución de calidad de aire puede afectar la salud como se observa en la siguiente figura

**Figura 3:***LasPM. en la salud*

**Nota:** <https://www.pranair.com/es/what-is-particulate-matter-pm/>

Estas partículas tienen la capacidad de invadir el sistema inmunológico y dañar los sistemas respiratorios cardiovasculares en niños y adultos.

### 7.3 Norma ecuatoriana de calidad de aire

Se trata de la entidad encargada de establecer la estructura, funcionamiento, los procesos, la determinación de procedimientos y la implementación de las medidas derivadas con el fin de garantizar la calidad del aire en Ecuador de conformidad con diversos artículos y normativas. El objetivo fundamental del Plan Nacional de Calidad del Aire es garantizar una administración ambiental adecuada.

- **Art. 219 De la calidad del aire.** - Corresponde a características del aire ambiente como el tipo de sustancias que lo componen, la concentración de estas y el período en el que se presentan en un lugar y tiempo determinado; estas características deben garantizar el equilibrio ecológico, la salud y el bienestar de la población (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 48)

Acuerdo Ministerial 097-A en el Registro Oficial - Edición Especial N° 387, (2015), pág.55 menciona:

- **Material particulado fino (PM.2.5)** Es el material sólido o líquido, cuyas partículas presentan un diámetro menor a 2.5 micras. El promedio aritmético de la concentración de PM 2,5 de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El promedio aritmético de

monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Ministerio Del Ambiente, 2015).

- **Material particulado PM 10** Es el material sólido o líquido, cuyas partículas presentan un diámetro menor a 10 micras. La fracción correspondiente a tamaños entre 2.5 y 10 micras. El promedio aritmético de la concentración de PM 10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Ministerio Del Ambiente, 2015).

La Constitución Política de la República establece que el Estado garantizará el derecho de la población a habitar en un entorno saludable y ecológicamente equilibrado, lo que garantizará un desarrollo sostenible. El ministerio del Ambiente se esforzará por garantizar que este derecho no sea afectado y garantizar la preservación de la naturaleza, conforme a los límites establecidos por la Organización mundial de la salud.

**Tabla 4:**  
*Estándares establecidos por la legislación ecuatoriana*

Contaminante	Tiempo de exposición al contaminante	Máxima concentración permitida
<b>Partículas Sedimentables</b>	<b>30 días</b>	<b>1mg/cm2/mes</b>
	1 año	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM 10</b>	24horas	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 año	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM.2,5</b>	24horas	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 año	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**Nota:** (Ministerio Del Ambiente, 2015).

#### 7.4 Aplicación de geoestadística para el modelamiento de datos

La geoestadística estudia el comportamiento de datos temporal o espacialmente correlacionados, denominados fenómenos regionalizados, a partir de observaciones relacionadas por una función de proximidad. Es una técnica de predicción, estimación y simulación de datos orientada a la

interpolación espacial, o el arte de modelar datos espaciales (Cely, Siabato, Sánchez, & Rangel, 2022).

La geoestadística permite estimar valores cercanos a los puntos desconocidos, aunque se origina en los procesos de búsquedas de minerales, se puede usar en diferentes ámbitos como la industria minera, las ciencias medioambientales, las aplicaciones meteorológicas, edafológicas, cartográficas. Identifica el contexto general de algún fenómeno como el nivel de contaminación del suelo, el agua o el aire donde se involucra un contaminante, los estudios geoestadísticos son más accesibles y consumen menos gracias a las predicciones (ArcGISPro, 2023).

El término geoestadística comprende el análisis y el modelado de datos espaciales que están distribuidos en un sistema de coordenadas del espacio y/o tiempo. La teoría de variables regionalizadas, o Geoestadística, nació como una metodología inferencial para evaluar reservas de oro y se extendió rápidamente a otras observaciones espaciales donde los supuestos básicos de la estadística clásica no se cumplían (Santamaría, 2014, pág. 1).

La geoestadística contempla tres etapas principales como son: Análisis exploratorio, análisis estructural y predicciones. Según Mariana S. Santamaría, (2014) “Los tres pasos básicos de un estudio geoestadístico incluyen: análisis exploratorio de datos, análisis estructural (cálculo y modelado de variogramas) y predicciones (kriging o simulaciones)” (pág.1).

#### ***7.4.1 Análisis exploratorio de datos***

El análisis exploratorio puede explorar, visualizar, validar y preparar los datos. Este es un proceso conocido como ingeniería de datos; el análisis exploratorio de datos (EDA) utiliza estadísticas resumidas y herramientas gráficas para aprender sobre los datos y comprender qué se puede aprender de ellos (Retamoza, y otros, 2022).

Consiste en la aplicación de técnicas descriptivas al conjunto de datos disponible, con el fin de conocer su distribución e identificar datos erróneos, pero sin tener en cuenta su distribución geográfica. Es la etapa de aplicación de la estadística clásica (Santamaría, 2014, pág. 83).

Este análisis permite generar preguntas importantes e hipótesis por medio de valores atípicos, patrones, con la finalidad de probar estos datos con otros métodos estadísticos, más formales.

EDA, fue desarrollada por el matemático estadounidense John Tukey en los años 70, y es un método según International Business Machines (IBM), (2023) “Permite identificar errores obvios, así como comprender mejor los patrones en los datos, detectar valores atípicos o sucesos anómalos y encontrar relaciones interesantes entre las variables”(párr. 4).

#### **7.4.2 *Análisis estructural de datos***

Es una forma de organizar datos estadísticos por medios digitales con el uso de algoritmos y fórmulas matemáticas que permiten ejecutar operaciones, visualizarlas y acceder a la información de forma rápida.

Las estructuras de datos manejan grandes cantidades de información de manera eficiente creando grandes bases de datos. Por lo general, las estructuras de datos son clave para diseñar algoritmos eficientes. Algunos métodos formales de diseño de lenguajes de programación destacan las estructuras de datos, algoritmos, como el factor clave de organización en el diseño de software (Peláez, 2018, pág. 54).

Mientras que (Santamaría, 2014) afirma que:

El análisis estructural está compuesto por el cálculo del semivariograma experimental que es la herramienta geoestadística más importante en la determinación de las características de variabilidad y correlación del fenómeno estudiado, es decir, permite conocer cómo la variable cambia de una localización a otra (Santamaría, 2014, pág. 53)

El análisis estructural se basa en el análisis de datos por medio de predicciones, este concepto se analizará a continuación.

#### **7.4.3 *Predicciones***

Las estadísticas predictivas pretenden analizar qué puede pasar después, esto permite prever tendencias y establecer el comportamiento de los datos en los próximos días. Los científicos usan estos modelos para establecer un seguimiento de datos y generar predicciones precisas.

El análisis predictivo es el proceso de usar los datos para prever los resultados futuros. El proceso usa análisis estadísticos, aprendizaje automático, inteligencia artificial y modelos estadísticos para encontrar patrones que puedan predecir el comportamiento futuro. Las

organizaciones pueden usar datos históricos y actuales para prever tendencias y comportamientos en segundos, días o años hacia el futuro con una gran precisión (Google Cloud, 2020, pág. 6).

En conclusión, la predicción considera la estructura espacial correlacionada en información muestral que en la investigación serán los puntos muestrales y permitirá contestar la pregunta relacionada a la contaminación del aire.

### 7.5 Modelación de variabilidad espacial

En esta modelación se utilizan ecuaciones o variogramas que permiten mostrar similitudes y variedades entre los datos ingresados. Para esto se considera el plano cartesiano con variables x, y, z donde se obtiene las siguientes condiciones:

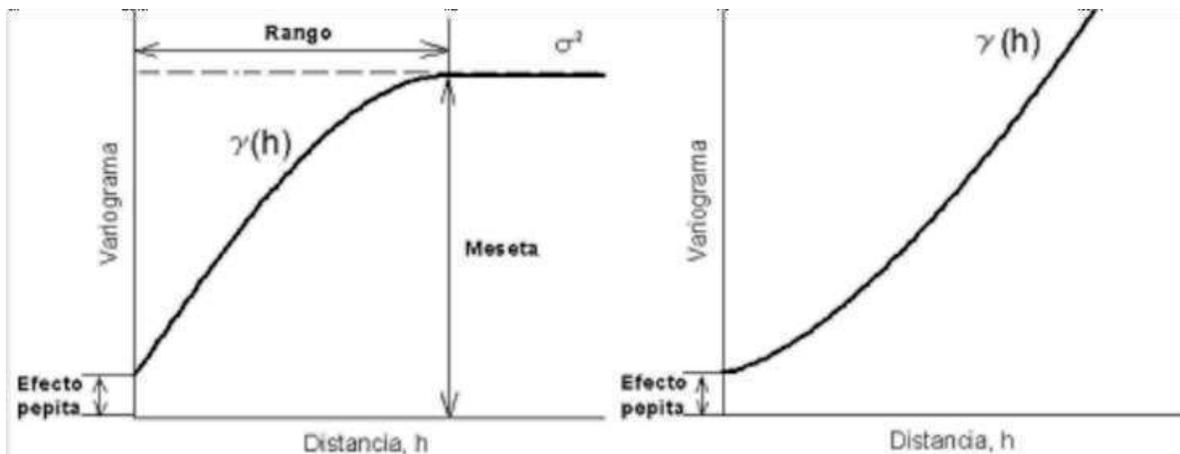
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad \mathbf{7.1}$$

Esta fórmula se deriva un variograma con gráfico de dispersión con los siguientes datos:

- Siendo  $Z(x_i)$  los valores muestrales en los puntos  $x_i$ , en los que se tienen datos tanto en  $x_i$  como en  $x_i+h$
- $N(h)$  es el número de pares de datos separados por una distancia  $h$  o los pares de valores contenidos en el intervalo  $(h_j - D, h_j, h_j + D)$ .

**Figura 4:**

Gráfico de dispersión es  $z(x+h)$



Nota: (Gavilánez, 2019) (García, 2004)

El valor de la variable o gráfico de dispersión es  $z(x+h)$  en esta grafica la curva se aleja de cero (0) lo que ocasiona un efecto pepita (valor nugget), donde el eje x representa la distancia, el eje y la correlación entre la ubicación de las mediciones.

## 7.6 Técnicas de Interpolación Espacial

Es un proceso que permite modelar variables espaciales, resuelve problemas de decisiones en el comportamiento de variables, en un lugar donde no se tienen antecedentes (Cely, Siabato, Sánchez, & Rangel, 2022).

Debido al alto coste de los sensores para la recolección de ciertos tipos de datos, como los meteorológicos o los de contaminación, la red de estos sensores suele ser pequeña y no estar homogéneamente repartida, dejando muchos puntos sin la posibilidad de disponer de datos reales. La interpolación espacial es el proceso por el cual se estiman los valores desconocidos de cualquier punto geográfico (Contreras, 2016, pág. 19).

### 7.6.1 Kriging

Uno de los métodos de interpolación geoestadísticas más habitual, el kriging o krigeado, se debe su nombre al geólogo D.G. Krige en el año 1941, se utilizó por primera vez para ser estimaciones de reservas de oro y luego se aplicaron en diferentes minas en París

La industria petrolera, hidrogeología, ecología y medio ambiente utilizan un sistema de ecuaciones en función de semivarianza, y lograr regularidad en la distribución de datos (Tumy, 2019).

La estimación de Kriging según Reyes, (2017) afirma: “puede ser puntual o zonal dependiendo de área a estimar. Se asume que los datos cercanos al punto conocido tienen un mayor peso o influencia sobre la interpolación, la misma que va disminuyendo conforme se aleja del punto de interés” (pág. 16).

Kriging puede variar dependiendo de las distancias geométricas, la varianza del error y la flexibilidad de la muestra también puede usarse como Kriging ordinario. La herramienta ajusta una función matemática que es útil cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos.

### 7.6.2 *Kriging ordinario*

Es una técnica de interpolación espacial que se utiliza en diferentes disciplinas como la medición del tiempo, la contaminación del aire, entre otras, gracias a la predicción precisa de datos, proporcionando un índice de confiabilidad.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i * Z(x_i)$$

**Donde:**

- $Z(x_i)$  = el valor medido en la ubicación n.º i
- $w_i$  = un peso desconocido para el valor medido en la ubicación n.º i
- $X_0$  = la ubicación de la predicción
- $N$  = el número de valores medidos

$$Z^{\wedge} = W_1 * Z_1 + W_2 * Z_2 + W_3 * Z_3 \quad \mathbf{7.3}$$

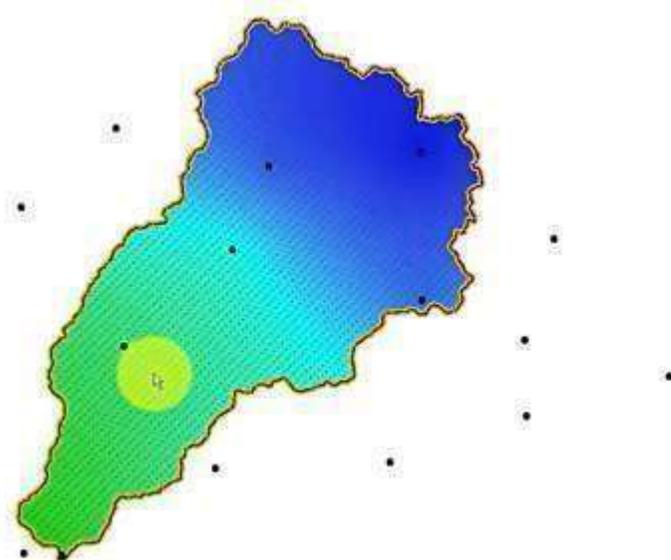
En Kriging, como factores de ponderación se calculan mediante la búsqueda de los valores de semivariograma para todas las distancias entre los puntos de entrada eso lo menciona Gavilanes (2019):

Mediante la búsqueda de valores de semi-variograma para todas las distancias entre un píxel de salida y todos los puntos de entrada. Por lo tanto, para calcular un valor de píxel de salida, primero, tres factores de ponderación  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  tienen que encontrarse (uno para cada valor del punto de entrada  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ), a continuación, estos factores de peso se pueden multiplicar con el punto de entrada correspondiente valores, y se suman. (Arcos, 2015, pág. 35)

Esta técnica consta de cinco pasos para su correcta ejecución: recopilación de datos, análisis exploratorio, selección del modelo e interpolación, todos estos se ejecutan mediante Kriging ordinario.

**Figura 5:**

*Grafica de Kriging Ordinario*



**Nota:** <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=kR3fuOZiAbM>

La distribución que se genera en la gráfica es estadística y se distribuye de menor a mayor densidad, por medio de la rampa de colores se puede apreciar los datos y su movimiento.

**Tabla 5:***Kriging Ordinario*

<b>KRIGING ORDINARIO</b>	<b>SE DEBE</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>Recopilar datos para trabajar con kriging ordinario</b>	Definir el área de estudio e identificar el tipo de datos necesarios o representativos, además de especificar el tiempo suficiente de recolección de datos.	Documentar de forma adecuada los datos	Garantizar la transparencia y la calidad de datos
<b>Análisis exploratorio de datos para kriging ordinario</b>	Identificar variables y correlaciones, se debe considerar la estacionariedad del proceso; esta implica que la distribución de los datos es constante.	Estadística descriptiva	Se puede utilizar diferentes mapas, gráficos y representación estadísticas
<b>Selección de modelo en kriging ordinario</b>	Seleccionar el modelo de variograma dependiendo de la correlación de datos y de su naturaleza.	Se debe seleccionar cuidadosamente el modelo de variograma.	Variograma esférico, gaussiano o exponencial
<b>Interpolación mediante kriging ordinario</b>	Implica la creación de una superficie continua a partir de los datos de muestra.	Cuanto mayor sea la densidad de muestreo, más precisos serán los resultados de la interpolación.	la precisión depende del tamaño y distribución de los datos, así como del modelo de variograma seleccionado.
<b>Validación y Verificación del modelo de kriging ordinario</b>	Evaluar la calidad de los resultados de la interpolación.	En la validación, se pueden utilizar diferentes técnicas como la validación cruzada	Estos pasos permiten evaluar la precisión y la confiabilidad de los resultados y detectar posibles errores o sesgos en el modelo

Fuente: (ARCGIS, 2023)

### 7.6.3 IDW

Las herramientas de interpolación IDW (distancia inversa ponderada) según ArCGIS Pro (2024) establece que:

Se limita al rango de valores utilizados para la interpolación. Dado que la IDW es un promedio de distancia ponderada, el promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior que la entrada mínima. Por lo tanto, no puede crear crestas o valles si estos extremos aún no se han muestreado (IDW (3D Analyst), 2024).

Este modelo de interpolación es similar al Kriging pues usa algoritmos simples que se relacionan con la distancia. Esta modelación se puede realizar por medio de un software para interpolar una superficie de ráster a partir de puntos utilizando una técnica de Distancia Inversa Ponderada (IDW).

El IDW es un promedio de la distancia ponderada denominada en inglés inverse distance weighted (IDW), el promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior en la entrada mínima (IDW (Spatial Analyst), s.f.). La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Por lo tanto, esta modelación que se realiza es para poder graficar donde están los puntos con mayor concentración de PM. 10 y PM 2,5, así como también los puntos más bajos de dichas concentraciones (ARCGIS, 2023).

$$w_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p}}$$

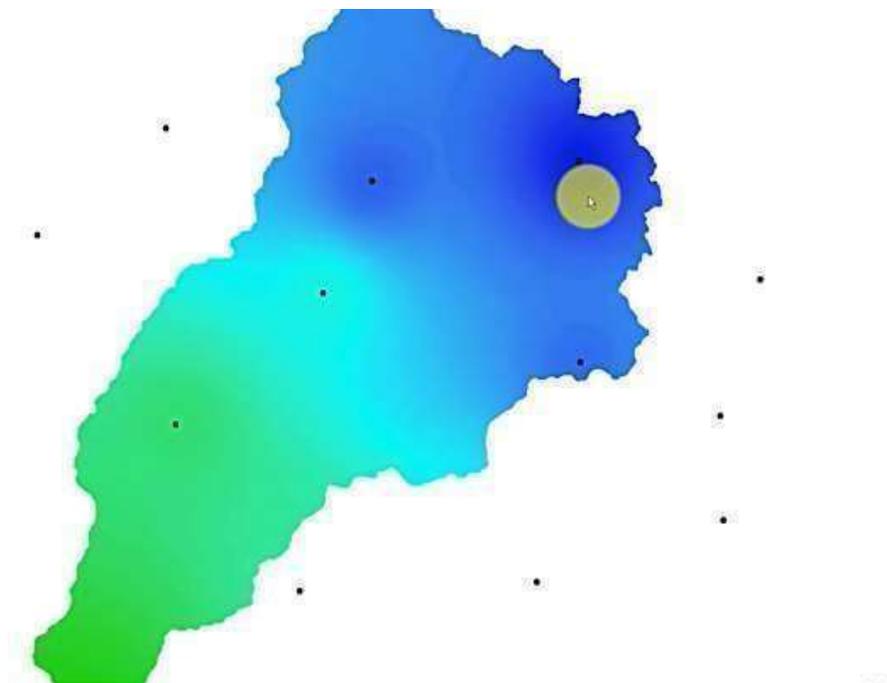
El valor que más se utiliza para el índice P es el número 2, de manera que los datos estén ponderados inversamente con el cuadrado de la distancia

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Los pesos de los lugares utilizados para la predicción se escalarán de tal forma que su suma sea igual a 1.

**Figura 6:**

*IDW, gráfica con distribución de puntos en un área de estudio*



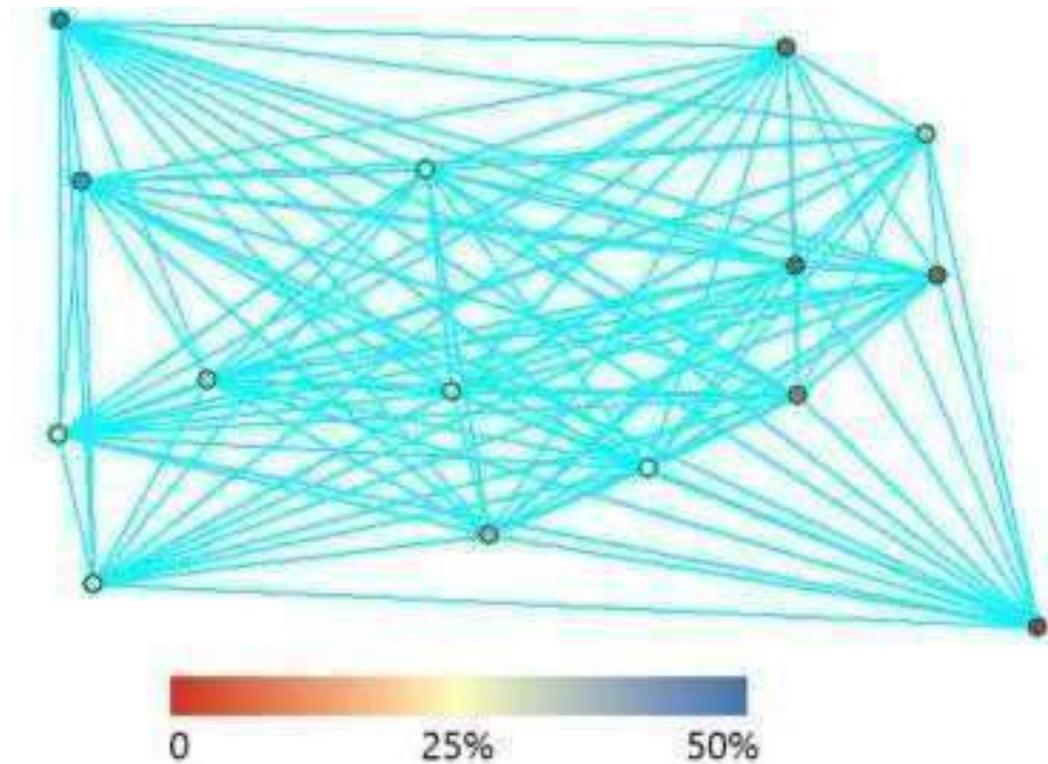
Nota: <https://acolita.com/como-funciona-semivariograma-INTERPOLACIÓN/>

Densidad de los puntos y su distancia entre cada núcleo que concentra valores más altos, estos puntos se conocen como ojos de buey que permite asignar pesos en base a estas distancias.

### **7.7 Variogramas y semi - variogramas**

Los variogramas y semivariogramas se relacionan con las distancias y las percepciones, en el caso de la investigación los valores del material particulado como la contaminación pueden variar dependiendo de las distancias.

Un semivariograma considera todos los puntos y su distancia con varianza. Por eso los semivariogramas tienen tantos puntos. Aquí hay un subconjunto del conjunto de datos anterior para ver todos los diferentes conjuntos de puntos que se están trazando en un semivariograma (Gabri, 2018, pág. 2)

**Figura 7:***Semivariograma*

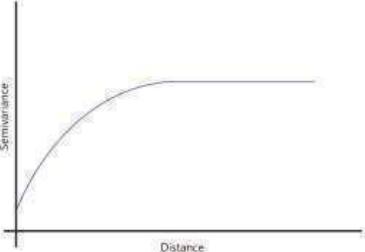
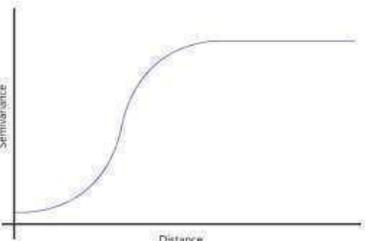
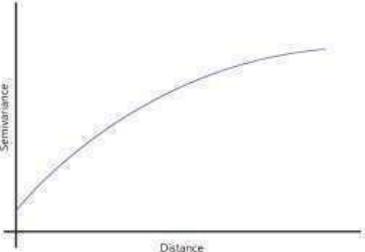
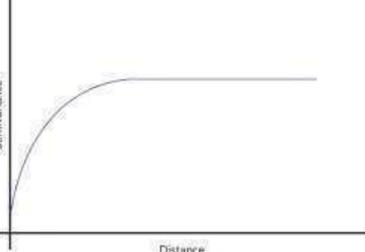
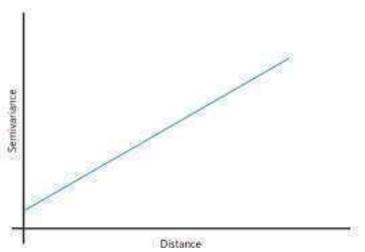
**Nota:** <https://acolita.com/como-funciona-semivariograma-INTERPOLACIÓN/>

En la gráfica se puede apreciar que un semivariograma muestra la correlación que tiene con los puntos cercanos a cada uno lo que forman un conjunto de datos que se relaciona por si covarianza. El rango y los umbrales de estas distancias sean cercanas o lejanas.

En los semivariogramas se pueden aplicar funciones matemáticas que poseen diferentes variabilidades, como lo son el modelo lineal, esférico, exponencial, gaussianos y circulares.

En la siguiente tabla se analiza las gráficas de estos variogramas.

**Tabla 6:***Funciones matemáticas para variogramas*

CONCEPTO	GRAFICAS
<p><b>Modelos Circulares:</b> Usa funciones matemáticas circulares</p>	
<p><b>Modelos Gaussianos:</b> Esta presenta una curva debido a las cortas distancias que hay entre los diferentes puntos.</p>	
<p><b>Modelos exponenciales:</b> Es similar al modelo esférico, donde los puntos decaen de forma gradual, y se disipa la final de forma infinita.</p>	
<p><b>Modelos esféricos:</b> Este modelo es el que se utiliza con frecuencia, se plantea una ecuación cuadrática.</p>	
<p><b>Modelos lineales:</b> La variabilidad aumenta con la distancia, se selecciona de forma arbitraria el umbral y el rango</p>	

**Nota:** Basado en Contreras, (2016)

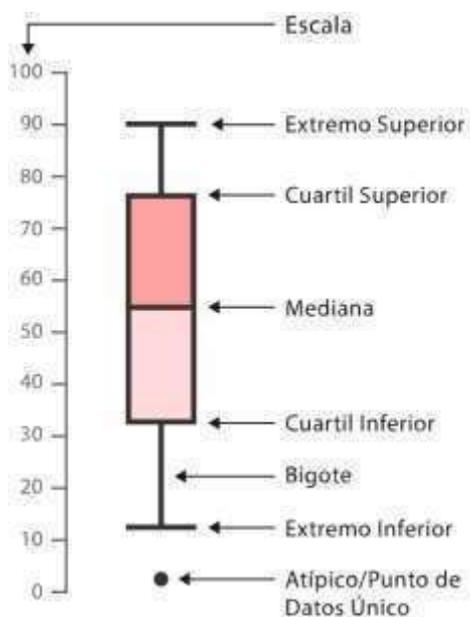
Cada fenómeno posee un semivariograma, esos valores ayudan a realizar la interpolación de kriging.

## 7.8 Diagramas de datos caja y bigotes

Los diagramas son utilizados en la geoestadística a través de cuartiles que muestran de forma visual diferentes datos numéricos. Las líneas que se extienden paralelas a las cajas se conocen como bigotes, y se usan para indicar variabilidad fuera de los cuartiles superior e inferior, estos diagramas se pueden representar de forma horizontal o vertical y se pueden realizar por medio de programas digitales como: ArcGIS, MiniTab, Variowin entre otros.

### Figura 8:

*Caja y bigotes de datos de partida y con transformación logarítmica*



**Nota:** [https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama\\_cajas\\_y\\_bigotes.html](https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_cajas_y_bigotes.html)

Estas graficas ocupan menos espacio a diferencia de un gráfico de densidad y esto es útil al comparar diferentes grupos de datos. Estas graficas permiten identificar el percentil 25 medio, el promedio y los valores atípicos.

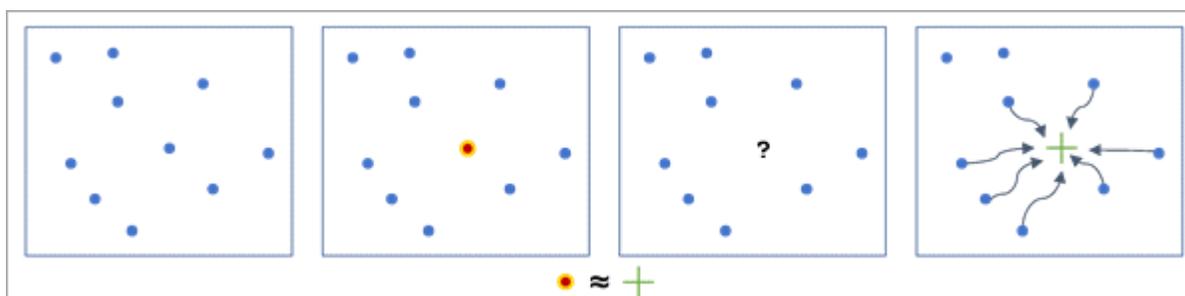
### 7.8.1 Validación Cruzada

El uso de la validación cruzada para evaluar los resultados de la interpolación requiere probar qué tan bien el modelo puede predecir valores en nuevas ubicaciones. Sin embargo, se puede hacer predicciones si no conoces las posiciones reales entre los puntos de forma precisa y fiable.

Existe un método común y ampliamente utilizado para evaluar la precisión y fiabilidad de la interpolación: la validación cruzada; este método utiliza todos los puntos de entrada para estimar los parámetros de un modelo de interpolación (como el semivariograma de kriging o el valor de potencia de ponderación de distancia inversa) este, elimina un único punto de entrada y utiliza el resto de los puntos para predecir el valor en la ubicación del punto oculto y el valor predicho se compara con el valor medido (ArcGISPro, 2023). (ARCGIS, 2023).

#### Figura 9:

##### Validación Cruzada



Nota: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm>

El siguiente diagrama muestra el proceso de validación después de la interpolación los puntos restantes se utilizan para predecir el valor del punto oculto.

#### Proceso de validación cruzada:

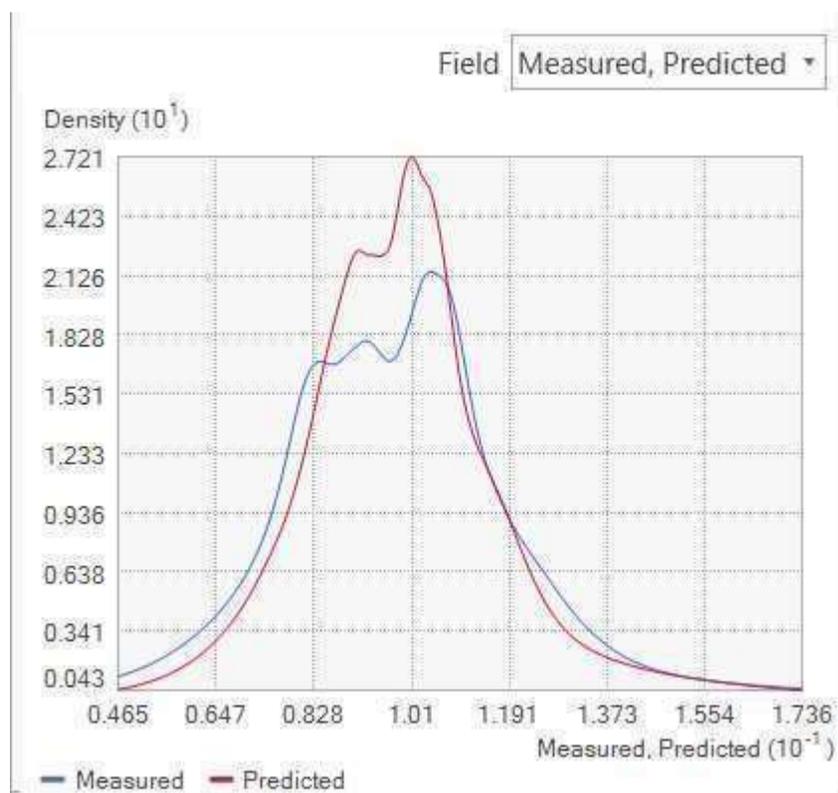
Este modelo es efectivo al realizar trabajos de interpolación ya que muchos de los valores no están medidos, sino que se encuentran ocultos, y estos valores predicen nuevas mediciones.

La validación cruzada resulta efectiva si el modelo puede predecir con precisión los valores de los puntos ocultos, también debe poder predecir con precisión los valores en nuevas ubicaciones sin mediciones. Sin embargo, si los errores de validación cruzada son muy grandes, también debería esperar errores mayores al predecir ubicaciones nuevas (ARCGIS, 2023) (Usar la validación cruzada para evaluar los resultados de interpolación, s.f.).

El proceso de validación cruzada varía su ejecución dependiendo del programa que se utilice, este emitirá una gráfica con dos variables, la predicción y los puntos de muestreo. Se debe de considerar que este método permite sobreponer distribuciones que según ArcGISPro, (2023) “deberían ser tan similares como sea posible; sin embargo, la distribución predicha generalmente será más alta y estrecha que la distribución medida debido al suavizado”(párr.35).

**Figura 10:**

*Proceso de validación*



**Nota:** (Usar la validación cruzada para evaluar los resultados de interpolación, s.f.).

### 7.8.2 E-BAM. Plus de Met One

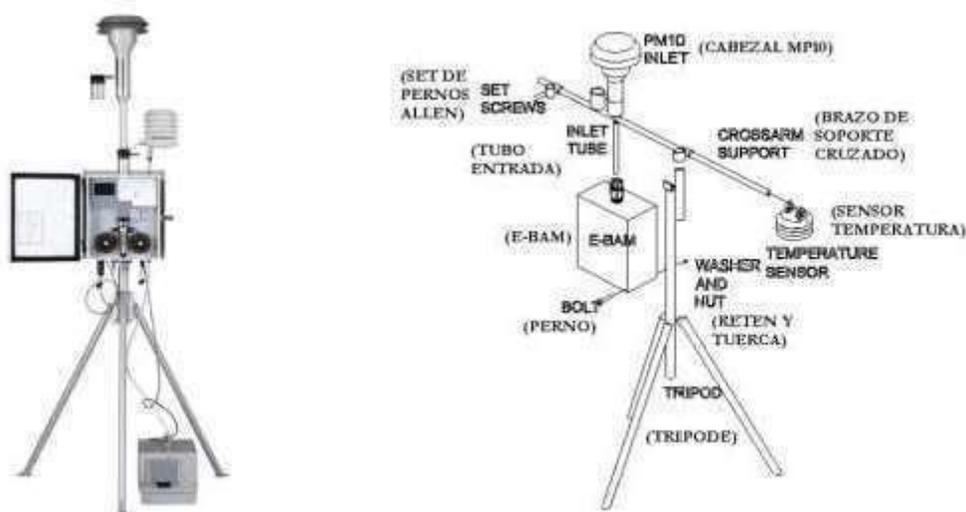
Este monitor portátil mide y registra de forma automática distintos niveles de PM 10 y PM.2,5 usando rayos beta, esta máquina usa una bomba de vacío que extrae una cantidad medida y aire cargado de polvo a través de un filtro.

El E-BAM. Plus de Met One Instruments con tecnología de Acoem es un medidor beta portátil en tiempo real que cuenta con la aprobación de la EPA para mediciones de partículas PM. 10 . El E-BAM. Plus satisfará a los usuarios, reguladores y miembros de la comunidad de la salud al proporcionar una medición exacta, precisa y en tiempo real de partículas finas de forma automática. Es un paquete resistente, portátil y que funciona con baterías, que se implementa y opera fácilmente en 15 minutos (Met One Instruments, 2024)

En la siguiente figura se muestra la imagen de E-BAM que posee un cabezal para partículas totales en suspensión (pts-pst/tsp), batería de 12 (volt) dc., cargador de baterías, Bomba para Corriente Alterna (AC Pump Box).

#### Figura 11:

*El E-BAM. Plus de Met One*



**Nota:** <https://metone.com/products/e-ba.m-plus/>

El E-BAM. se compone de las siguientes partes

Las partes que se visualizan en la imagen son las siguientes: Trípode, Sensor de Temperatura, Caja E-BAN, Brazo, Tubo entrada, Sed de pernos, Cabezal PM. 10, Cabezal PM.2,5 Sistema de Medición, Sistema de Flujos, Cabezales, Mecanismo de soporte, Filtros, Controlador de Flujo, Bomba.

Para la realización del muestreo, se requiere colocar las bandas, filtros, brazo de soporte, Cabezal de PM 10 y PM 2,5, según la muestra del tamaño que se va a monitorear. El sensor de temperatura, la Caja E-BAM., la sed de pernos Allen, los sistemas de medición de mecanismos de soporte y la bomba de flujo, son los componentes esenciales del equipo E-BAM. (Met One Instruments, 2024).

Para la toma de muestras, el equipo debe estar calibrado con cintas de mediciones limpias con el fin de efectuar la observación del material que se adhiera a los filtros, lo que garantiza la eficacia del proceso y la calidad de la información. La medición se aplica durante 24 horas, este periodo se va registrando hora tras horas según lo indica el manual del equipo E-BAM. (Met One Instruments, 2024).

Los datos obtenidos se examinaron y los calcularon mediante sumatorias básicas, las cuales se promediaron para las 24 horas.

## **8.- VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.**

- ¿La cantidad de puntos de monitoreo y su ubicación permiten recopilar la suficiente cantidad de información para interpolarse?

En la investigación se plantearon al principio cuatro puntos de monitoreo que hacían referencia al área de estudio, para lograr una óptima interpolación y verificación de datos fue necesario incrementar un punto en otra zona de la investigación, esto se identificó al analizar la información bibliográfica y la metodología de interpolación IDW, así como el método de kriging ordenado que plantean un punto externo a la investigación para ponderar datos con éxito para correlacionar los datos.

- ¿Mediante el modelo de predicción de calidad de aire se determinó el comportamiento de material particulado de PM 10 y PM.2,5?

El comportamiento de PM 10 a través del punto de validación; punto de monitoreo García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01), se contempló que el comportamiento diario del PM 10 disminuye al Este con un valor de 273,971 debido a que en el mismo sector existe menos asentamientos humanos, mayor actividad agrícola y ganadera por ende el tránsito vial es escaso. El comportamiento diario de PM 2,5 tiene un aumento entre 224,570 y 240,321 en el sector, al contrario, hacia el Oeste del punto de validación existe mayor población y afluencia de tránsito y las partículas de PM.2.5.

- ¿La medición de PM 10 y PM.2,5 ayudó a determinar si la generación de material particulado en la zona de estudio se encuentra en niveles óptimos de calidad de aire?

En el monitoreo en la vía E35 - Machachi están dentro de los límites máximos permisibles según la Normativa 097-A. Los datos de concentración de material particulado PM 10 no superaron los  $100 \mu\text{gm}^3$  en un promedio de 24 horas, los resultados del primer punto son de  $14 \mu\text{gm}^3$ , el segundo punto  $16 \mu\text{gm}^3$ , el tercer punto  $11 \mu\text{gm}^3$  y el último punto es de  $10 \mu\text{gm}^3$ . Mientras que la Normativa 097-A para PM.2.5 establece que el límite de concentración en 24 horas no superase los  $50 \mu\text{gm}^3$  en 24 horas, los datos obtenidos están dentro de los límites permisibles, el primer punto presenta un total de  $12 \mu\text{gm}^3$  y en el segundo punto  $13 \mu\text{gm}^3$  el tercer punto de muestra es de  $12 \mu\text{gm}^3$  y el último punto es de  $9 \mu\text{gm}^3$ . Lo que se encuentra en un nivel aceptable de calidad de aire.

## **9.- METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **9.1 Enfoque de investigación**

La investigación realizó un enfoque cuantitativo, ya que este enfoque analiza datos numéricos por medios aritméticos, utilizando diferentes programas digitales, así como la representación de gráficas.

El concepto de enfoque cuantitativo Según Cruz, (2020) afirman que: “Se fundamenta en la construcción y medición de dimensiones, indicadores e índices de variables y de sus relaciones. En el enfoque cuantitativo la realidad objeto de estudio es independiente de los estados subjetivos de las personas y del investigador” (pág.3).

### **9.2 Métodos de investigación**

#### **9.2.1 Método estadístico**

Calduch, (2020) “La medición puede definirse como el procedimiento de asignación de números a los objetos o acontecimientos investigados siguiendo ciertas reglas” (pág.86).

El método estadístico está integrado en todo el proceso de la investigación, ya que realiza diferentes modelos matemáticos y cálculos científicos para establecer una interpolación de datos, y establecer niveles de calidad de aire cualitativos en el sector. Para esto se utilizó como instrumento un registro de datos.

#### **9.2.2 Método Analítico**

Según la investigación de Calduch, (2020) “Resulta imprescindible para poder aplicar, con posterioridad, el método comparativo. Por otra parte, el empleo de este método nos permite descubrir las principales relaciones de causalidad que existen entre los sucesos o variables de la realidad investigada” (pág.23).

El método analítico permite analizar las gráficas y datos estadísticos que el muestreo arroja en la investigación, así como el análisis de interpolación de datos que identificara el nivel de material particulado de la zona.

### 9.2.3 *Método Deductivo*

Inicia abordando conceptos de forma general, desde el análisis de la contaminación del aire, hasta las características de las partículas materiales. Permite comparar los datos con las normativas de calidad de aire en torno al material particulado que se analizará.

Según la investigadora Beatriz, (2015) “Las técnicas de estadística descriptiva permiten describir y analizar un grupo dado de datos, sin extraer conclusiones (inferencias) sobre la población a la que pertenecen” (pág.9).

### 9.2.4 *Diseño experimental*

El trabajo recopila información por medio de análisis descriptivo de datos comparados con la normativa vigentes como la Normativa 097-A

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad 9.1:$$

$\bar{X}$  Media aritmética

$\Sigma$  = Sumatoria

$X_1$  = Datos obtenidos

$N$  = Número de datos total de la muestra

## 9.3 **Técnicas de investigación**

### 9.3.1 *Investigación documental*

Según Calduch, (2020) “Puede definirse como una representación intelectual simplificada, sistemática, lógica y coherente de una realidad, realizada de conformidad con los supuestos de una teoría” (pág.57).

Se basa en el proceso de búsqueda de la información, en el caso del proyecto se realiza la selección material teórico científico que fundamentó el proyecto por medio de artículos

científicos actualizados, e investigaciones anteriores; además la bibliografía y la documentación sustentan los niveles de calidad de aire, así como las fórmulas geoestadísticas que se utilizarán en la investigación.

### **9.3.2 Investigación de campo**

En la investigación de campo seleccionó la zona de estudio, además de establecer los puntos en los que se realizó los muestreos y monitoreos de calidad de aire. Estos se recopilan por medio de un instrumento denominado ficha georreferencial que contendrá las coordenadas de los puntos y serán la referencia de las estaciones de monitoreo.

### **9.3.3 La observación**

Según Madrigal, (2021) “Se plantea qué se observará, cómo resumirá y registrará los datos, qué procedimientos aplicará y de qué modo definirá las relaciones observador-objeto observado, se elabora una guía de observación para reunir puntualmente los indicadores”(párr.4).

Esta técnica de investigación se aplica al observar los puntos de monitoreo, y tomar los datos correspondientes para el análisis y discusión de resultados, en esta se usará Excel para el registro de coordenadas y puntos.

### **9.3.4 Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizarán en la investigación serán los registros que los investigadores obtendrán del material particulado PM 10 y PM<sub>2,5</sub>; además de los datos de procesamiento satelital.

### **9.3.5 Equipos**

Sistema de posicionamiento global, aportó con las coordenadas geográficas de ubicación en el área de estudio.

- **Programa ARCGIS:** Según la aplicación ARCGIS, (2023) “ArcGIS proporciona herramientas para el mapeo y el razonamiento espacial. ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica”(párr.5). Permite crear una amplia variedad de mapas, los mismos que aportaron a la localización de los puntos de muestreo en el área de estudio.

- **El E-BAM:** Este monitor portátil mide que servirá para registrar PM. 10 yPM.2,5 esto extrae una cantidad medida de aire cargado, esta proporcionar una medición exacta, precisa de partículas finas (Santamaría, 2014).

## 9.4 Desarrollo de la propuesta

### 9.4.1 Población y muestra

En la investigación los datos que se utilizarán en todo el proceso de investigación son los de las estaciones de monitoreo de PM 10 y PM.2,5. en la zona urbana de la ciudad.

### 9.4.2 Ubicación

La investigación se realizará en la parroquia Machachi localizada en las coordenadas  $0^{\circ}30'36.4''$  S  $78^{\circ}34.027'$  O, con una extensión de  $6,09\text{Km}^2$ , presenta una temperatura promedio anual de  $11.9^{\circ}\text{C}$  y un clima mesotérmico húmedo. En esta parroquia se determinan cuatro puntos de monitoreo localizados en sitios accesibles de alto y bajo flujo vehicular, con la ayuda del Software ArcGIS graficamos el mapa de ubicación del área de estudio.

### Figura 12:

#### *Ubicación de la Investigación*



Elaborado por: Carrera.

En la imagen se puede apreciar al cantón Mejía y la parroquia Machachi, así como el sector donde se realizará la investigación.

### 9.4.3 Puntos de monitoreo

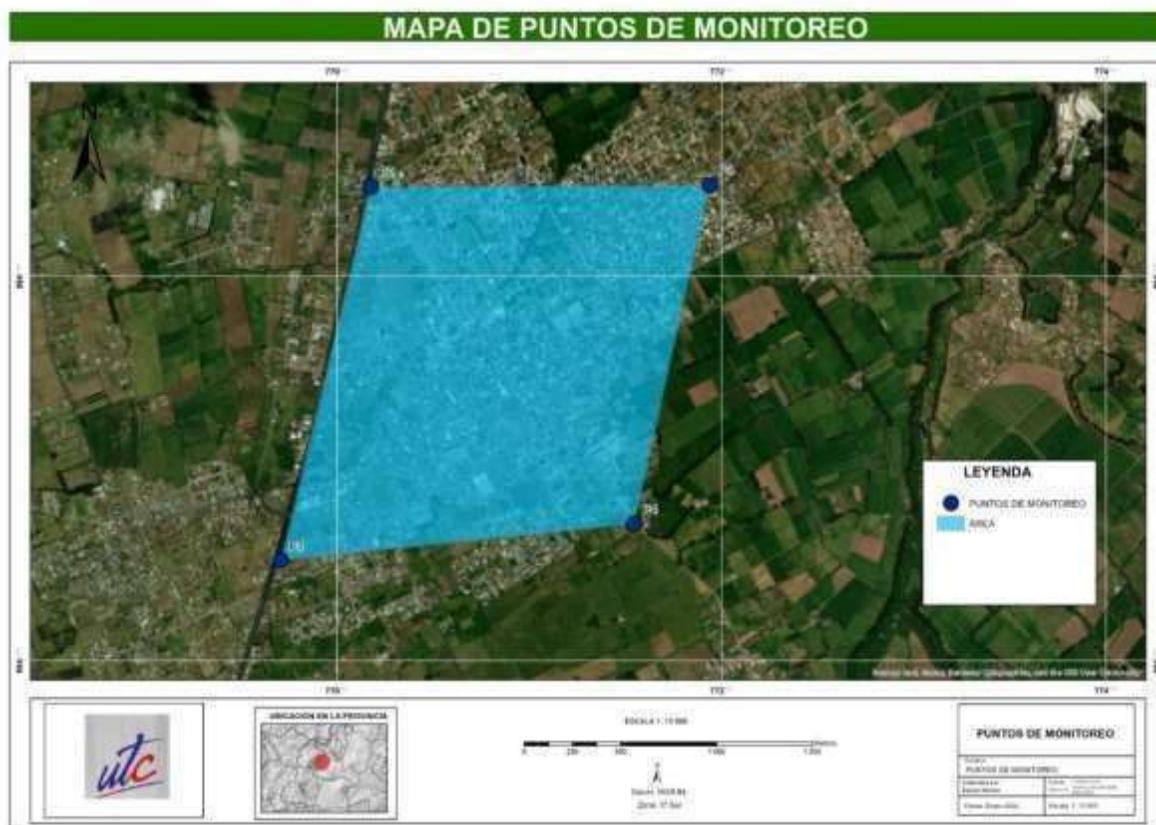
El monitoreo de material particulado se llevó a cabo los días miércoles del mes de diciembre del 2023 . En el área de estudio se tomó cuatro puntos estratégicos de afluencia vehicular con ayuda del E-BAM. equipo especializado para el monitoreo. Los puntos (P1, P2) se encuentran en la vía principal E35 e intersecciones hacia Machachi y los puntos (P3, P4) están en una zonade menos transito pero que tiene un crecimiento poblacional rural.

**Tabla 7:**

*Puntos de Monitoreo*

PUNTO DE MONITOREO		UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
P1	EC_MEJÍA_MACHACHI_Puente_AKI	E35, Av. Amazonas	-0,51773	-78,57632
P2	EC_MEJÍA_MACHACHI_Estatua_del_caballo	E35, Av. Pablo Guarderas	-0,50197	-78,57264
P3	EC_MEJÍA_MACHACHI_Urbanización_el_Porvenir	Calle Principal, San Francisco de Pinllo Cruz	-0,50189	-78,55681
P4	EC_MEJÍA_MACHACHI_Barrío_Mamáguacho	Calle Nueva España	-0,51784	-78,56034

**Elaborado por:** Carrera.

**Figura 13:***Puntos de Monitoreo***Nota:** Carrera.

Una vez obtenidos los datos de monitoreo se recopila y descarga la información con la ayuda del Software de Cálculos Excel se realiza las tablas de cada punto monitoreado obteniendo el promedio diario (24 horas) de material particulado PM10, PM 2.5

Para diferenciar la concentración de material particulado se selecciona el color amarillo para índices bajos y azul para índices altos.

**Tabla 8***Tabla de monitoreo P1*

Nº HORAS	TIEMPO	PM. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº HORAS	TIEMPO	PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	8:00	15	1	8:00	20
2	9:00	12	2	9:00	7
3	10:00	10	3	10:00	5
4	11:00	9	4	11:00	15
5	12:00	7	5	12:00	9
6	13:00	14	6	13:00	7
7	14:00	10	7	14:00	10
8	15:00	7	8	15:00	11
9	16:00	15	9	16:00	9
10	17:00	11	10	17:00	20
11	18:00	20	11	18:00	16
12	19:00	30	12	19:00	20
13	20:00	20	13	20:00	15
14	21:00	10	14	21:00	11
15	22:00	9	15	22:00	3
16	23:00	9	16	23:00	7
17	0:00	7	17	0:00	20
18	1:00	5	18	1:00	15
19	2:00	8	19	2:00	10
20	3:00	10	20	3:00	7
21	4:00	8	21	4:00	9
22	5:00	25	22	5:00	9
23	6:00	30	23	6:00	15
24	7:00	30	24	7:00	20
<b>SUMATORIA</b>		331	<b>SUMATORIA</b>		290
<b>PROMEDIO</b>		14	<b>PROMEDIO</b>		12

**Nota:** Carrera.

En el punto uno de monitorea en torno al material particulado PM 10 la mínima concentración se dio a la 1:00a.m con un  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que material particulado PM.2,5 la concentración mínima fue de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 22:00pm.

Mientras que la máxima concentración de material particulado PM 10 se dio a las 19:00, 6:00a.m y 7:00a.m con un porcentaje de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y de material particulado PM 2,5 la concentración máxima fue a las 8:00a.m, 17:00, 19:00, 00:00a.m, 7:00a.m. En análisis y discusión de resultados se detallan con graficas las siguientes tablas.

**Tabla 9***Tabla de monitoreo P2*

Nº HORAS	TIEMPO	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº HORAS	TIEMPO	PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	8:00	15	1	8:00	15
2	9:00	12	2	9:00	10
3	10:00	10	3	10:00	5
4	11:00	9	4	11:00	12
5	12:00	14	5	12:00	5
6	13:00	16	6	13:00	7
7	14:00	10	7	14:00	10
8	15:00	5	8	15:00	10
9	16:00	15	9	16:00	9
10	17:00	23	10	17:00	24
11	18:00	30	11	18:00	12
12	19:00	30	12	19:00	18
13	20:00	20	13	20:00	15
14	21:00	15	14	21:00	11
15	22:00	11	15	22:00	20
16	23:00	7	16	23:00	7
17	0:00	7	17	0:00	30
18	1:00	12	18	1:00	10
19	2:00	10	19	2:00	15
20	3:00	13	20	3:00	11
21	4:00	15	21	4:00	9
22	5:00	25	22	5:00	10
23	6:00	25	23	6:00	6
24	7:00	30	24	7:00	20
<b>SUMATORIA</b>		<b>364</b>	<b>SUMATORIA</b>		<b>301</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>16</b>	<b>PROMEDIO</b>		<b>13</b>

**Nota:** Carrera.

**Tabla 10:***Tabla de monitoreo P3*

Nº HORAS	TIEMPO	PM 10 µg /m <sup>3</sup>	Nº HORAS	TIEMPO	PM 2,5 µg /m <sup>3</sup>
1	8:00	10	1	8:00	18
2	9:00	8	2	9:00	3
3	10:00	10	3	10:00	7
4	11:00	5	4	11:00	13
5	12:00	20	5	12:00	6
6	13:00	20	6	13:00	7
7	14:00	10	7	14:00	11
8	15:00	7	8	15:00	13
9	16:00	11	9	16:00	8
10	17:00	15	10	17:00	20
11	18:00	15	11	18:00	8
12	19:00	10	12	19:00	9
13	20:00	10	13	20:00	16
14	21:00	7	14	21:00	9
15	22:00	9	15	22:00	4
16	23:00	5	16	23:00	8
17	0:00	6	17	0:00	8
18	1:00	10	18	1:00	16
19	2:00	8	19	2:00	13
20	3:00	15	20	3:00	11
21	4:00	5	21	4:00	6
22	5:00	15	22	5:00	7
23	6:00	20	23	6:00	20
24	7:00	20	24	7:00	24
<b>SUMATORIA</b>		<b>271</b>	<b>SUMATORIA</b>		<b>265</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>11</b>	<b>PROMEDIO</b>		<b>11</b>

**Nota:** Carrera.

En estas tablas se muestra resultados obtenidos en el monitoreo, en la sección de resultados se analiza con graficas estos datos.

**Tabla 11**

*Tabla de monitoreo P4*

Nº HORAS	TIEMPO	PM 10 ug/m <sup>3</sup>	Nº HORAS	TIEMPO	PM 2,5 ug/m <sup>3</sup>
1	8:00	9	1	8:00	10
2	9:00	5	2	9:00	7
3	10:00	3	3	10:00	5
4	11:00	7	4	11:00	8
5	12:00	15	5	12:00	10
6	13:00	20	6	13:00	10
7	14:00	10	7	14:00	9
8	15:00	7	8	15:00	5
9	16:00	9	9	16:00	15
10	17:00	15	10	17:00	15
11	18:00	20	11	18:00	20
12	19:00	15	12	19:00	10
13	20:00	7	13	20:00	7
14	21:00	5	14	21:00	9
15	22:00	9	15	22:00	3
16	23:00	11	16	23:00	0
17	0:00	3	17	0:00	10
18	1:00	4	18	1:00	15
19	2:00	4	19	2:00	5
20	3:00	4	20	3:00	7
21	4:00	9	21	4:00	9
22	5:00	15	22	5:00	5
23	6:00	20	23	6:00	10
24	7:00	20	24	7:00	15
<b>SUMATORIA</b>		<b>246</b>	<b>SUMATORIA</b>		<b>219</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>10</b>	<b>PROMEDIO</b>		<b>9</b>

**Nota:** Carrera.

En esta tabla muestra el punto uno de monitorea en torno al material particulado PM 10 y PM.2,5 es mantienen una concentración es de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

### PUNTO DE VALIDACIÓN

**Tabla 12**

*Tabla de monitoreo P4*

Nº HORAS	TIEMPO	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº HORAS	TIEMPO	PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	8:00	10,17	1	8:00	14,99
2	9:00	7,68	2	9:00	6,55
3	10:00	7,15	3	10:00	5,63
4	11:00	6,7	4	11:00	12
5	12:00	6,15	5	12:00	7,92
6	13:00	19,11	6	13:00	8,15
7	14:00	10	7	14:00	9,95
8	15:00	6,65	8	15:00	9,35
9	16:00	10,84	9	16:00	11,75
10	17:00	15,92	10	17:00	18,44
11	18:00	19,05	11	18:00	14,5
12	19:00	16,52	12	19:00	11,36
13	20:00	10,05	13	20:00	12,34
14	21:00	7,85	14	21:00	9,43
15	22:00	9,1	15	22:00	6,46
16	23:00	8,3	16	23:00	4,62
17	0:00	5,25	17	0:00	13,45
18	1:00	7,18	18	1:00	14,32
19	2:00	7,5	19	2:00	9,45
20	3:00	9,52	20	3:00	8,9
21	4:00	9	21	4:00	8,04
22	5:00	8,25	22	5:00	7,75
23	6:00	17,42	23	6:00	13,12
24	7:00	21,45	24	7:00	19,25
<b>SUMATORIA</b>		<b>256,81</b>	<b>SUMATORIA</b>		<b>257,72</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>11</b>	<b>PROMEDIO</b>		<b>11</b>

Elaborado por: Carrera.

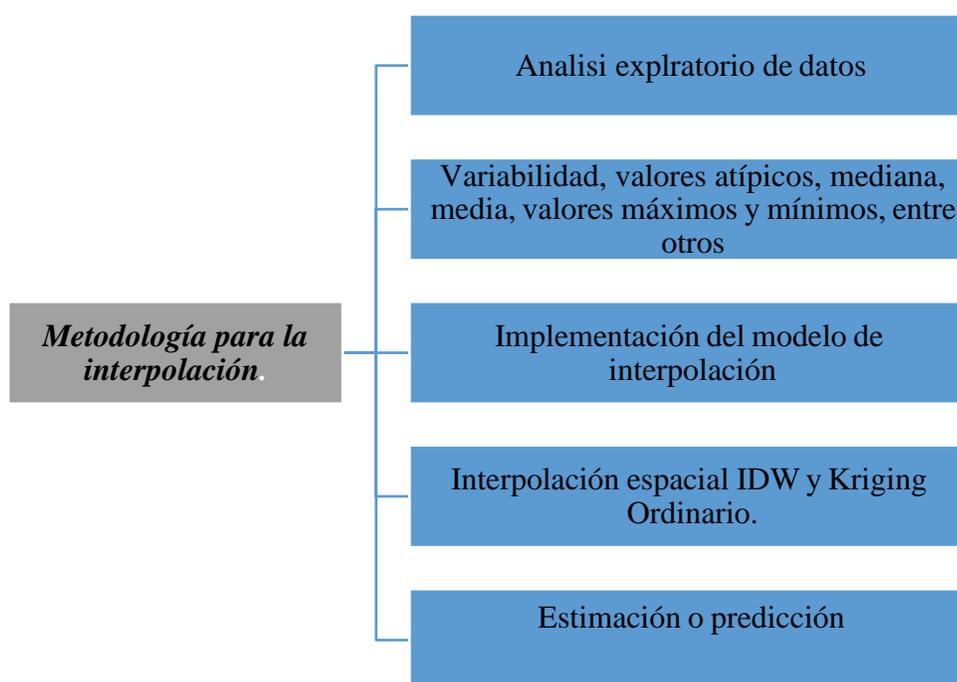
En el punto uno de monitorea en torno al material particulado PM 10 la mínima de  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que material particulado PM.2,5 la concentración mínima fue de  $5,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 9.5 Metodología para la interpolación

La metodología que se usará para diagramar cajas de análisis exploratorios de datos que representen la varianza, los valores mínimos y máximos de las muestras, así como estos valores atípicos. tanto las concentraciones máximas y mínimas se van a representar y esto resultado útil para identificar zonas críticas de contaminación

### Figura 14:

*Metodología de Interpolación*



**Nota:** Carrera.

El método de interpolación geoestadístico que genera una superficie a partir de un conjunto de puntos que están dispersados, se conecta la carpeta en la que se tiene el archivo de Excel con los datos muestreados. Una vez que el modelo del semivariograma se valida se utiliza el método de interpolación denominado kriging ordinario, para la elaboración de mapas de densidad. Este método de interpolación permite la estimación no sesgada de puntos en donde no se realizaron muestreos.

Según Martínez (2023): “El programa que se emplea en esta parte de la investigación es el software ArcGIS, que puede generar semivariogramas, mapas de densidad y determinar el

porcentaje de superficie infestada por el material particulado” (Martínez-Martínez, 2023, pág. 475).

### 9.5.1 Interpolación de datos en ArcMap

Para la interpolación de datos los investigadores se selecciona la herramienta Arc Map, la metodología que se detalla a continuación es un análisis de interpolación de datos.

### 9.5.2 Metodología para la validación cruzada.

Después de obtener los valores de interpolación (IDW, KRIGING ESFÉRICO, KRIGING EXPONENCIAL), se realiza la validación cruzada comparando el valor medido en campo a través del equipo E-BANS y el obtenido de la interpolación.

**Tabla 13:**  
Concentración de límites vigentes PM.2.5

TIEMPO DE ANÁLISIS	8:00 a.m.		
VALOR MEDIDO	14,99		
TIPO DE INTERPOLACIÓN	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial
VALOR DE INTERPOLACIÓN	14,0956	15,75	15,75
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,14177845	1,603786293844E+00	1,681565459007E+00
	12,8482216	1,3386E+01	1,3308E+01

	<b>Formula</b>
	Valor medido - desviación estandar
	De los tres resultados, comparar con el valor medido, y seleccionar el valor más cercano al valor medido

**Elaborado por:** Carrera.

Cada uno de los valores es comparado con el de su desviación estándar y el que tiene menos diferencia entre sí, es seleccionado debido a que se ajusta mejor al comportamiento de las variables. Después de obtener la validación cruzada de las 24 horas del PM., utilizando ArcGIS se ubica en el área de estudio todos los valores seleccionados a través de la validación. Seguidamente se realizó el algebra de mapas y se hizo la suma de todos los rasters seleccionados y así determinar el comportamiento del PM . durante todo el día.

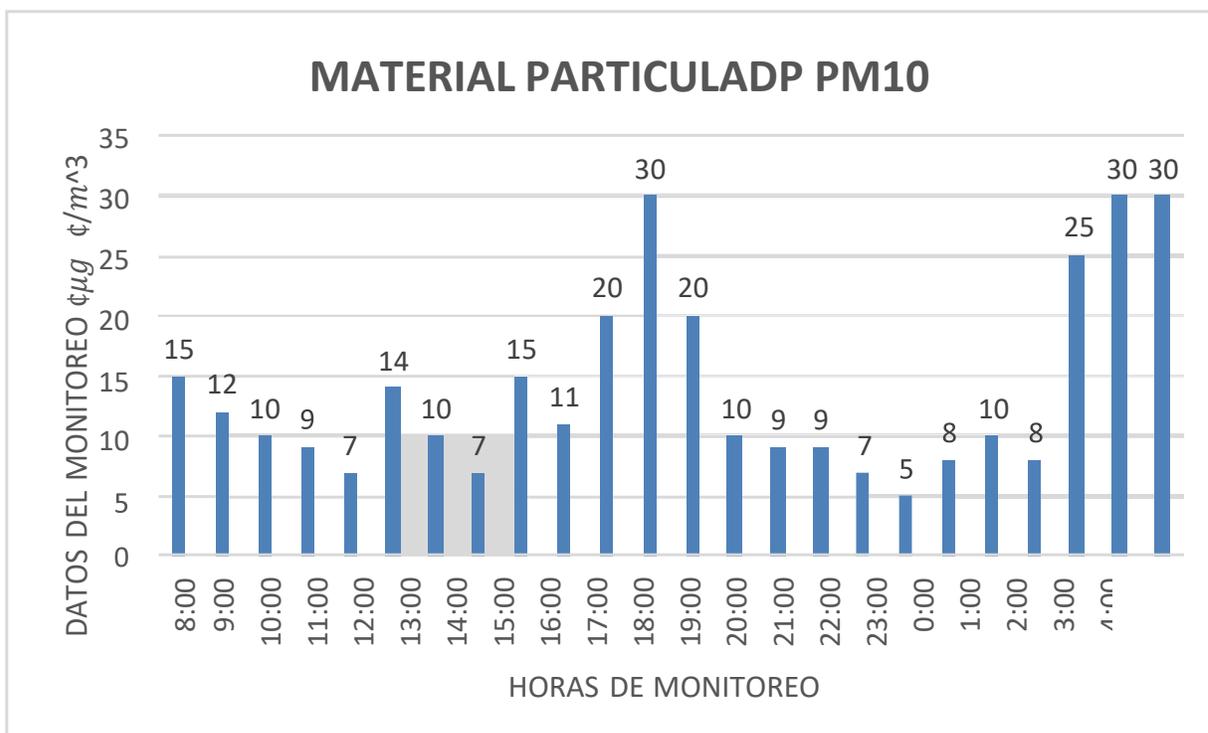
## **10.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **10.1 Material particulado gráficas y estadísticas**

#### **PUNTO 1: – MACHACHI**

##### **Figura 15:**

*Datos del Material Particulado PM 10 (24 HORAS) punto 1*



**Nota:** Carrera.

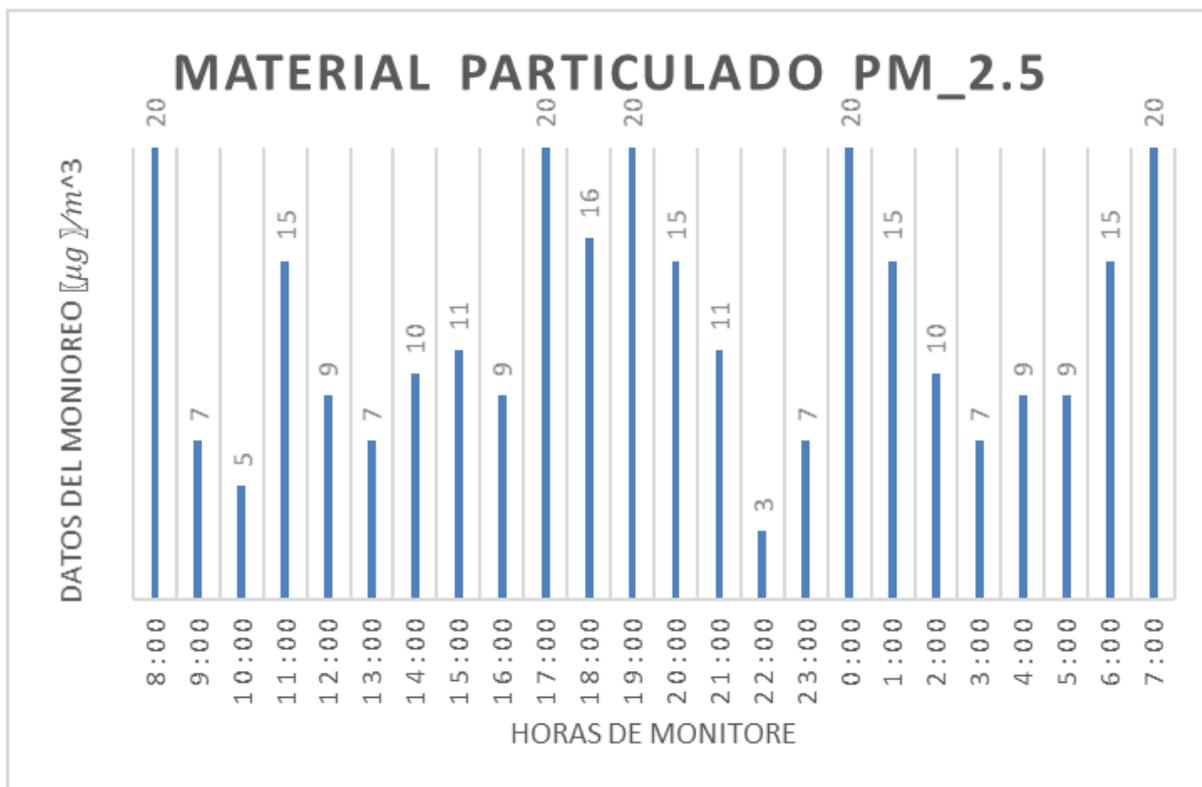
## INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{10}$  en la vía E35, Av. Amazonas, Puente Aki – Machachi muestran diferentes concentraciones en todo el día. a la 1:00 del miércoles la concentración es baja debido a escasa circulación vehicular, lo cual da como resultado  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe recalcar que a las 06:00-7:00 a.m y 20:00 pm las concentraciones son de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , debido a la mayor circulación vehicular.

## PUNTO 1: – MACHACHI

### Figura 16:

*Datos del Material Particulado  $PM_{2,5}$  (24 HORAS) punto 1*



**Nota:** Carrera.

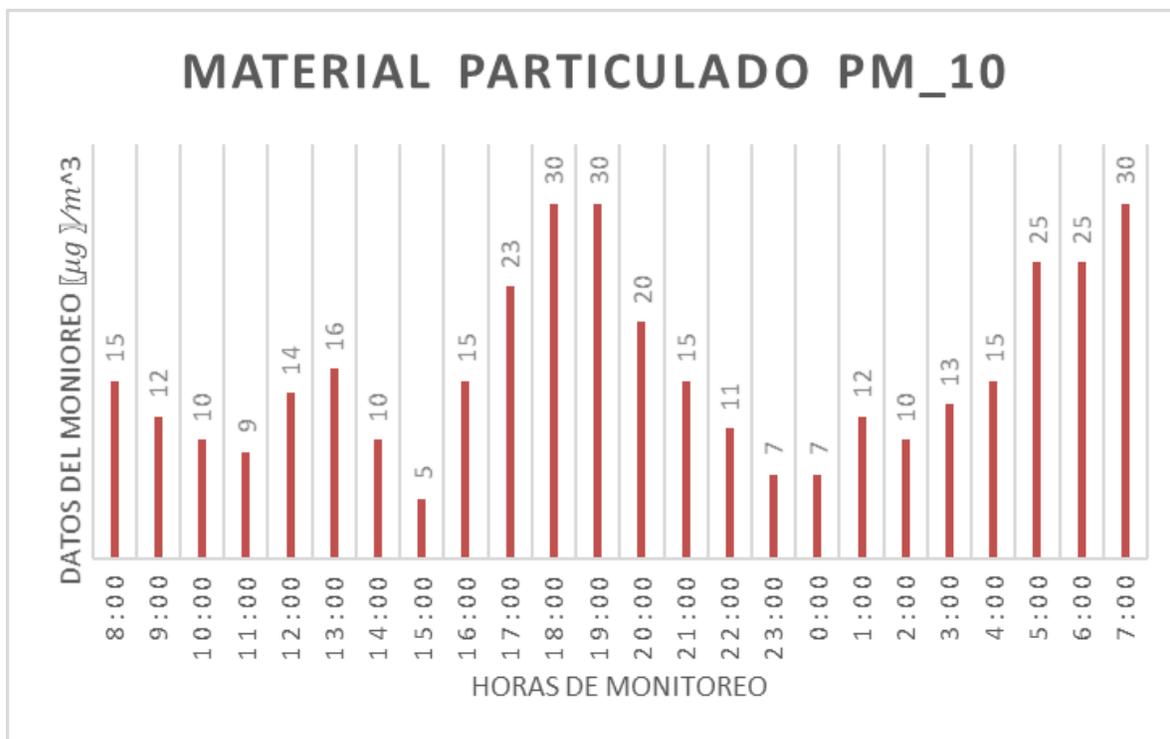
## INTERPRETACIÓN

Mediante los datos obtenidos de  $PM_{2.5}$  en la vía E35, Av. Amazonas, Puente Aki – Machachi existen dos picos altos, el primero se da las 0:00 con un valor de  $20\mu g/m^3$  y el ultimo a las 19:00 con un valor de  $20\mu g/m^3$ /estos resultados obedecen al aumento de la circulación vehicular y una concentración baja a las 22:00h con un valor de  $3\mu g/m^3$ /debido a la nula actividad generadora de material particulado porque en esas horas existió escasa movilidad vehicular.

## PUNTO 2: – MACHACHI

### Figura 17:

Datos del Material Particulado **PM<sub>10</sub>** (24 HORAS) *punto 2*



**Nota:** Carrera.

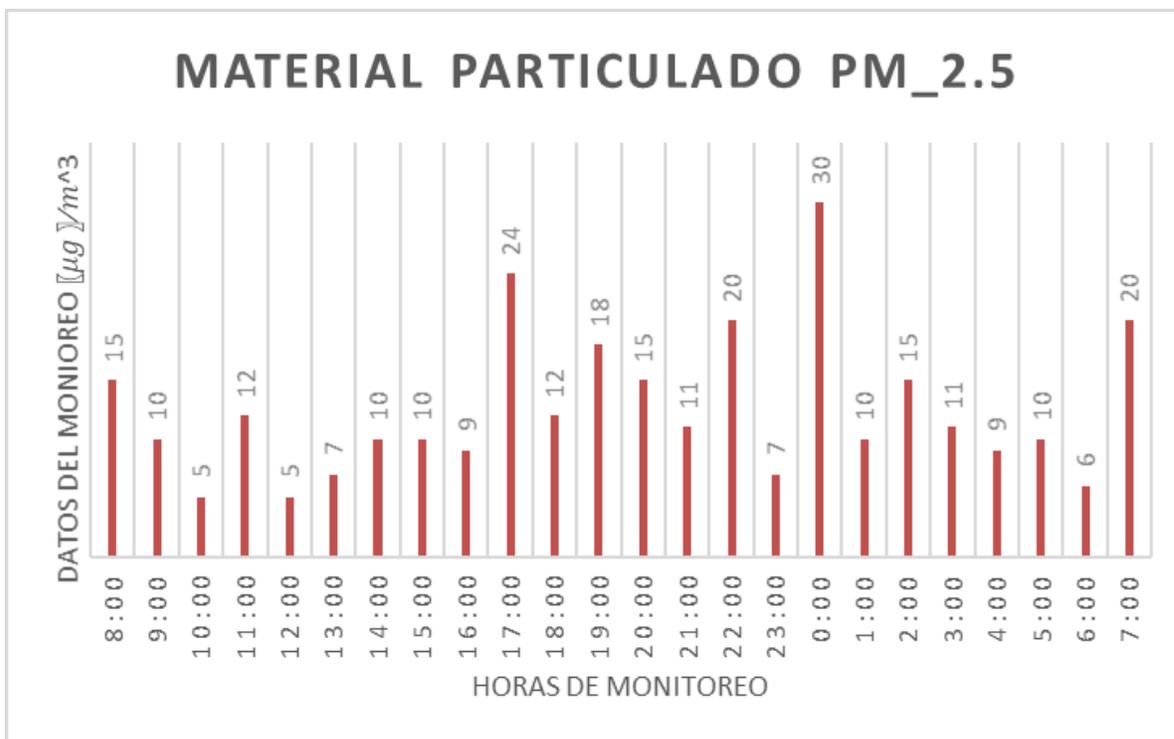
### INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{10}$ , en el punto 2 en la vía E35 , Av. Pablo Guarderas, Estatua del caballo- Machachi muestran diferentes concentraciones revelando de esta manera picos altos como es el caso de las 07:00 con un  $30\mu g/m^3$ , a las 18:00 con  $30\mu g/m^3$ , a las 19:00 con  $30\mu g/m^3$ , esto se debe por el aumento de la circulación vehicular y un valor mínimo a las 15:00 con un valor de  $5\mu g/m^3$ .

### PUNTO 2: – MACHACHI

#### Figura 18:

Datos del Material Particulado  $PM_{2.5}$  (24 HORAS) punto 2



**Nota:** Carrera.

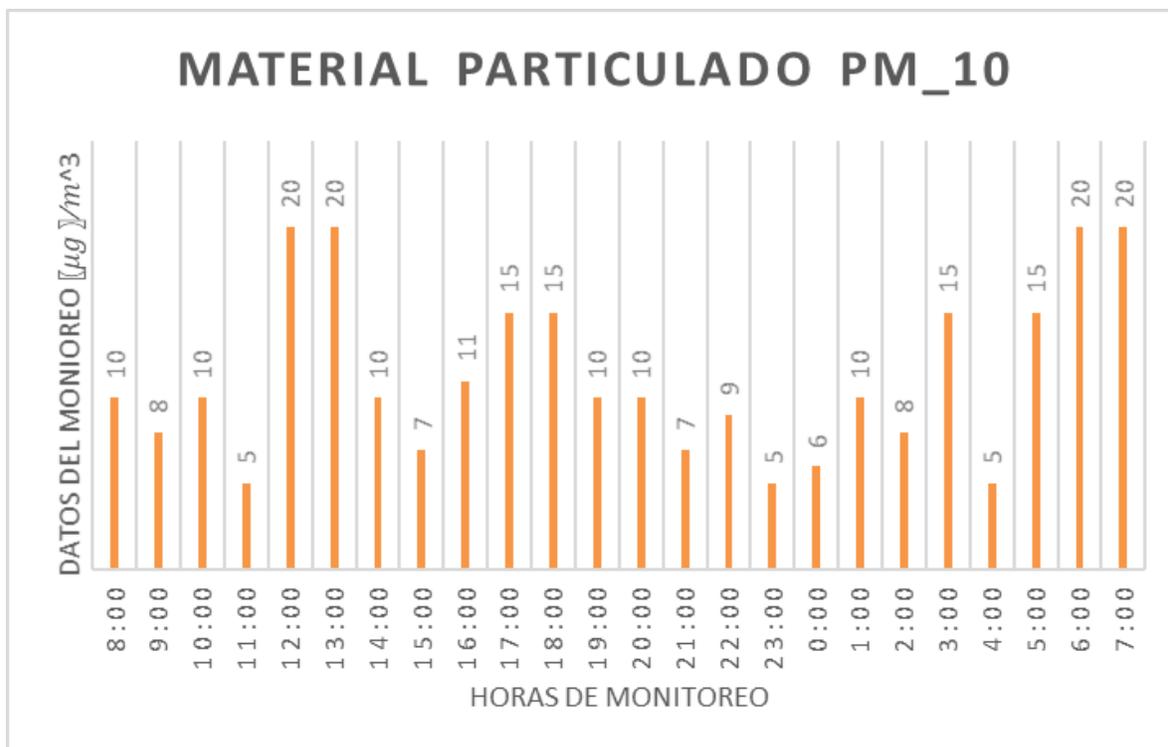
## INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{2.5}$  en la vía E35, en el punto 2 en la vía E35, Av. Pablo Guarderas, Estatua del caballo- Machachi muestran picos altos desde las 7:00 a.m con un valor de  $20\mu g/m^3$  por el aumento de circulación vehicular y la velocidad del aire y un valor bajo a las 6:00 a.m y 10:00 a.m con un valor de 6 y  $5\mu g/m^3$  porque en esas horas existió poca actividad que genere material particulado.

## PUNTO 3: – MACHACHI

### Figura 19:

Datos del Material Particulado **PM<sub>10</sub>** (24 HORAS) punto 3



**Nota:** Carrera.

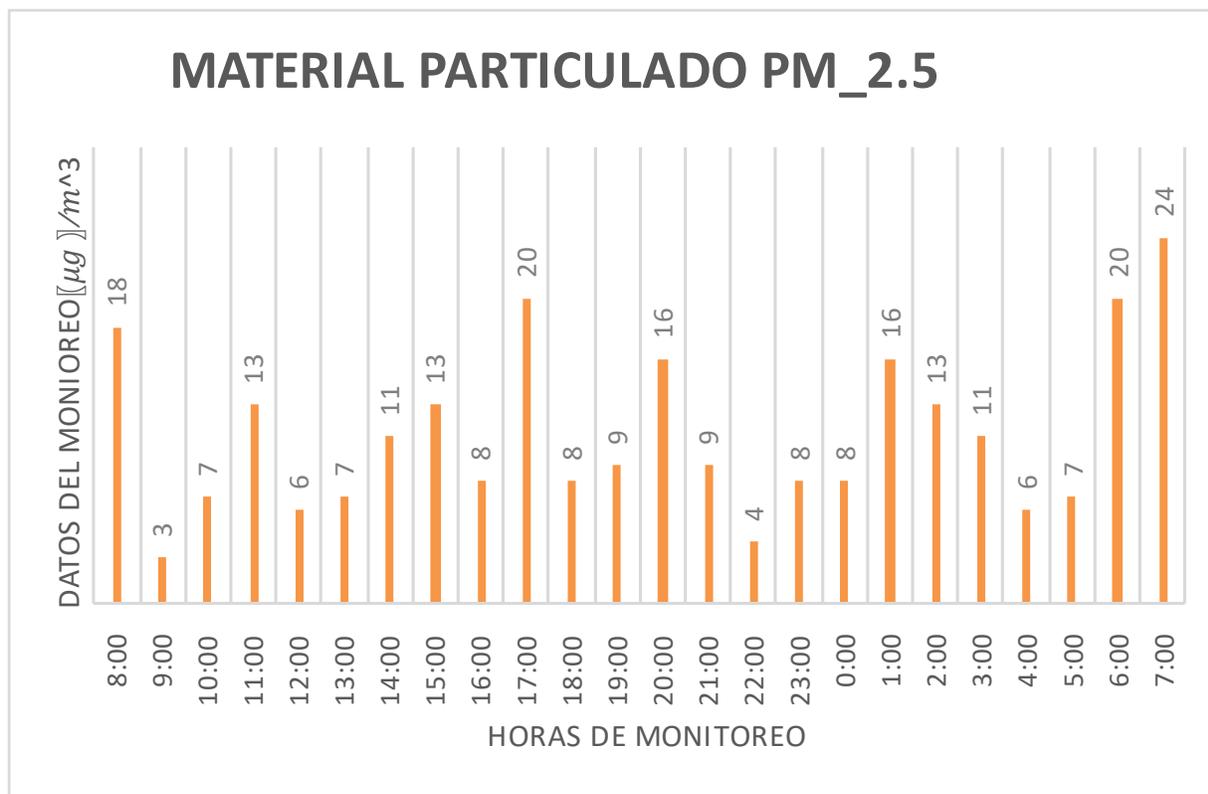
### INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{10}$  en la Calle principal, San Francisco de Pinillo – Machachi , muestran diferentes concentraciones en todo el día. Teniendo sus puntos más bajos a las 04:00h – 11:00h- 23:00h baja debido a escasa circulación vehicular, lo cual da como resultado  $5\mu g/m^3$  . Cabe recalcar que a las 12:00 y 13:00h las concentraciones son de  $20\mu g/m^3$ , debido a la mayor circulación vehicular .

### PUNTO 3: – MACHACHI

#### Figura 20:

*Datos del Material Particulado PM 2,5 (24 HORAS) punto 3*



**Nota:** Carrera.

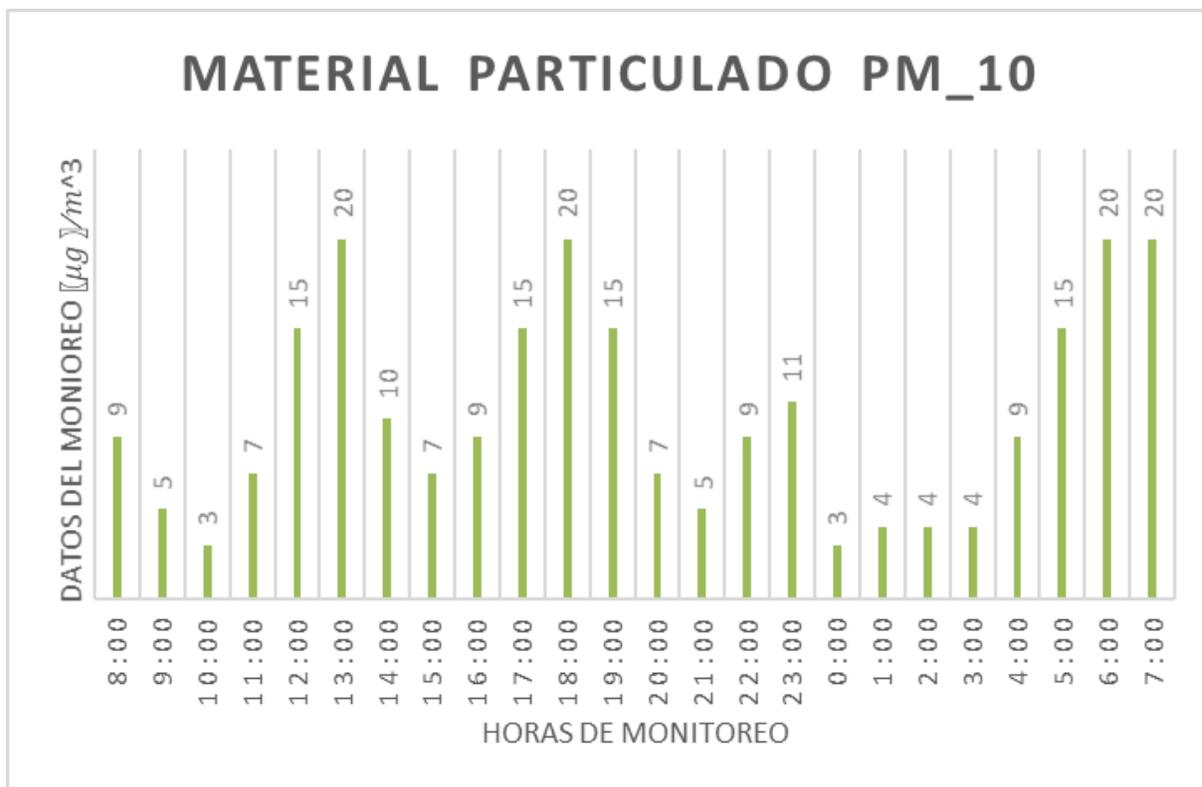
### INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{2.5}$  en la Calle principal, San Francisco de Pinillo – Machachi muestran picos a las 17:00hr, 6:00a.m y 7:00 a.m con un valor de 20 a 24  $\mu g/m^3$ /por el aumento de circulación vehicular y la velocidad del aire y un valor bajo a las 9:00 a.m y 22:00 pm con un valor de 3 y 4  $\mu g/m^3$ /porque en esas horas existió poca actividad que genere material particulado.

### PUNTO 4: – MACHACHI

#### Figura 21:

Datos del Material Particulado PM 10 (24 HORAS) *punto 4*



**Nota:** Carrera.

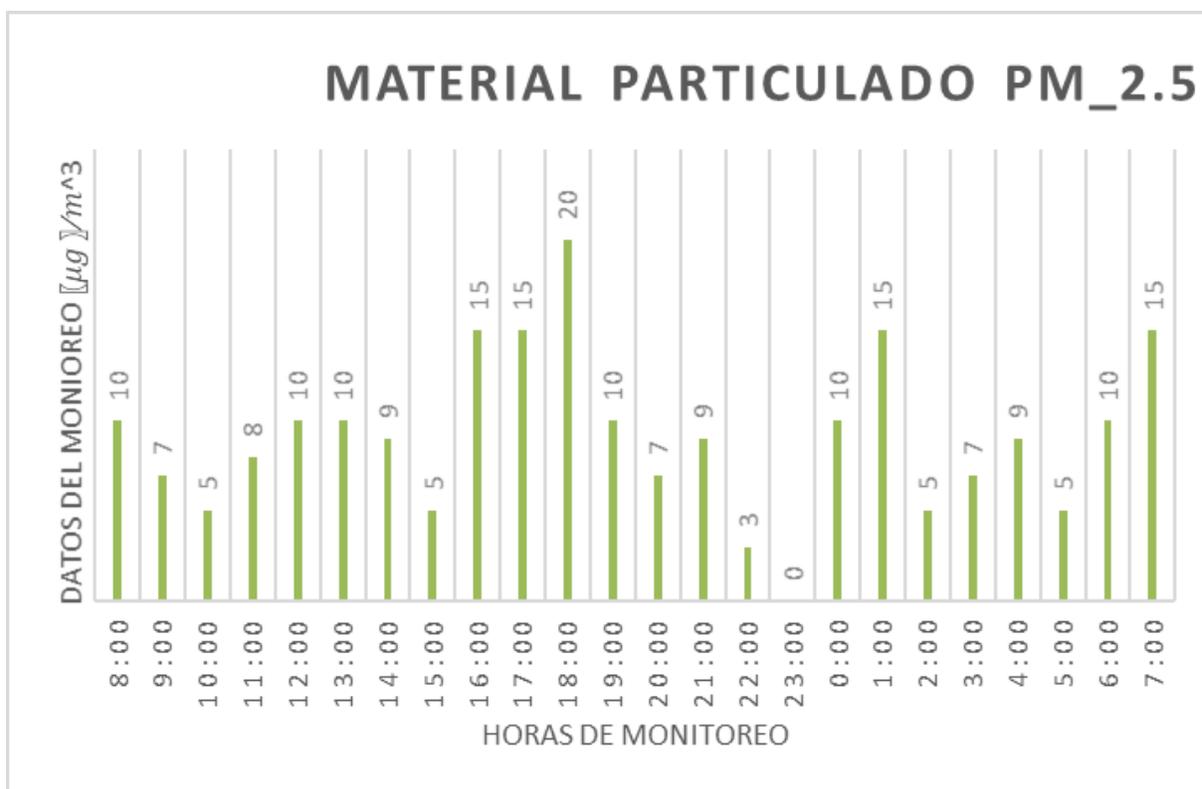
### INTERPRETACIÓN

Los datos obtenidos de  $PM_{10}$  en la Calle nueva España-Machachi, muestran picos altos desde las 6:00 a.m con un valor de  $17\mu g/m^3$  y así sucesivamente por el aumento de circulación vehicular y la velocidad del aire y un valor bajo a las 0:00 a.m y 10:00 a.m con un valor de  $3\mu g/m^3$  porque en esas horas existió poca actividad que genere material particulado.

### PUNTO 4: – MACHACHI

#### Figura 22:

Datos del Material Particulado  $PM_{2,5}$  (24 HORAS) *punto 4*



**Nota:** Carrera.

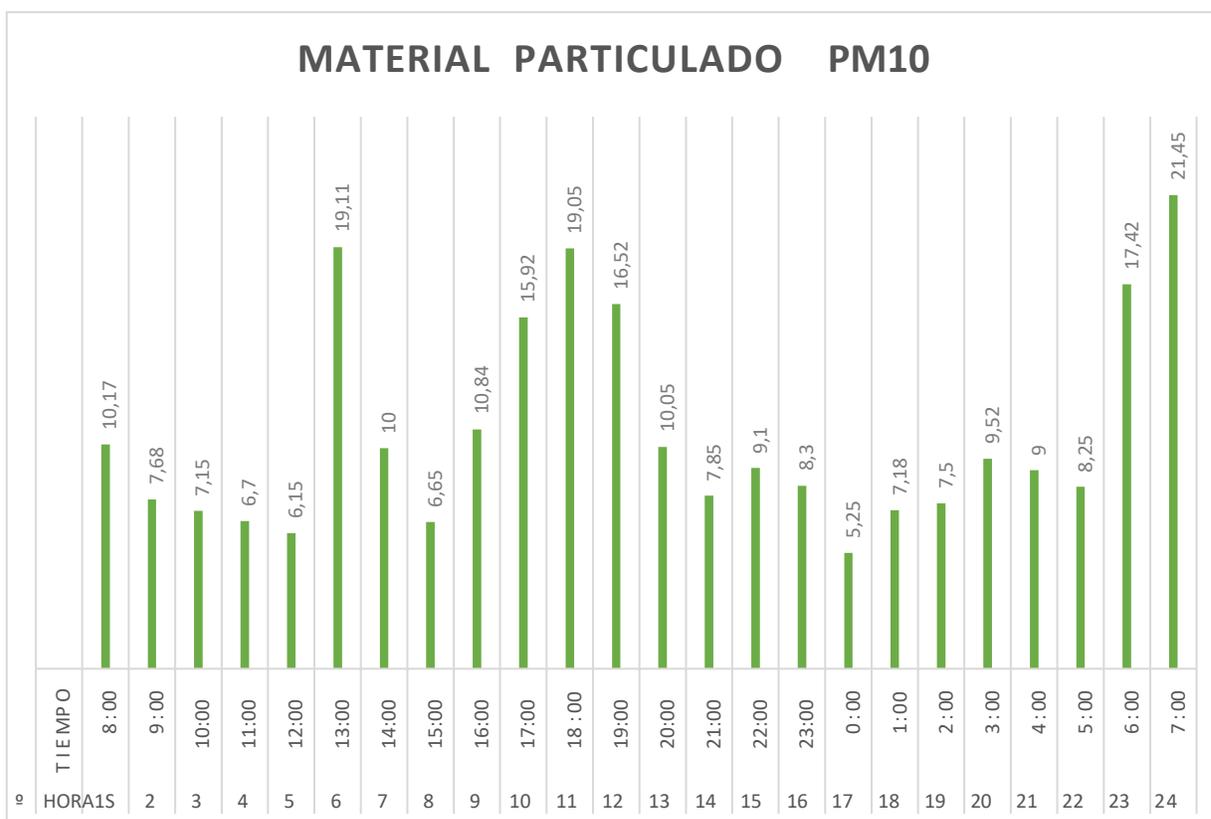
### INTERPRETACIÓN

Mediante los datos obtenidos de *PM<sub>2,5</sub>* en la Calle nueva España-Machachi, existen un pico alto, el primero se da las 16:00h con un valor de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  estos resultados obedecen al aumento de la circulación vehicular por un día feriado y una concentración baja a las 23:00h con un valor de  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a la nula actividad generadora de material particulado porque en esas horas existió escasa movilidad vehicular.

## PUNTO 5: – PUNTO DE VALIDACIÓN

**Figura 23:**

Datos del Material Particulado PM 10 (24 HORAS) *punto de validación*

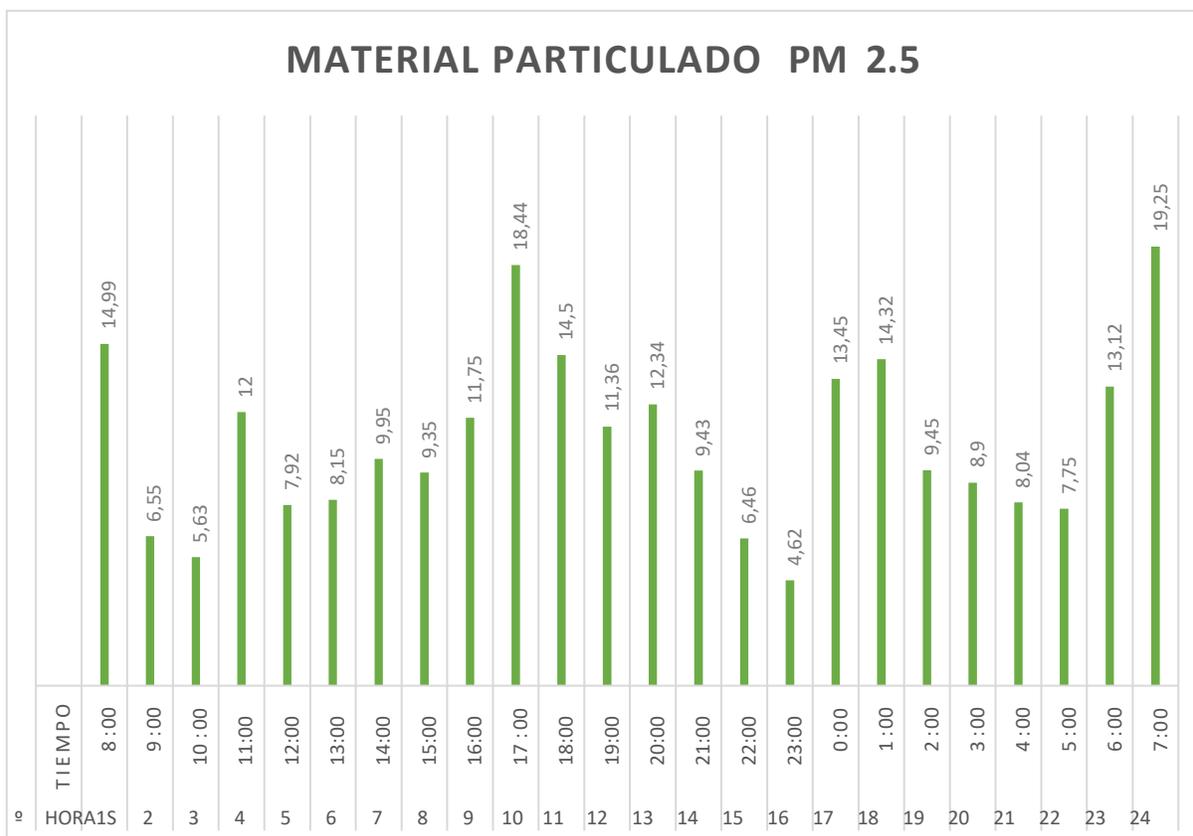


### INTERPRETACIÓN

Mediante los datos obtenidos de *PM10* en el punto de validación, existen un pico alto, el primero se da la 13:00h con un valor de  $19,11\mu\text{gm}^3$ / estos resultados obedecen al aumento de la circulación vehicular por ser horas pico y 00:00h con un valor de  $5,35\mu\text{gm}^3$ / debido a la poca actividad generadora de material particulado porque en esas horas existió escasa movilidad vehicular.

**Figura 24:**

Datos del Material Particulado PM<sub>2,5</sub> (24 HORAS) *punto de validación*



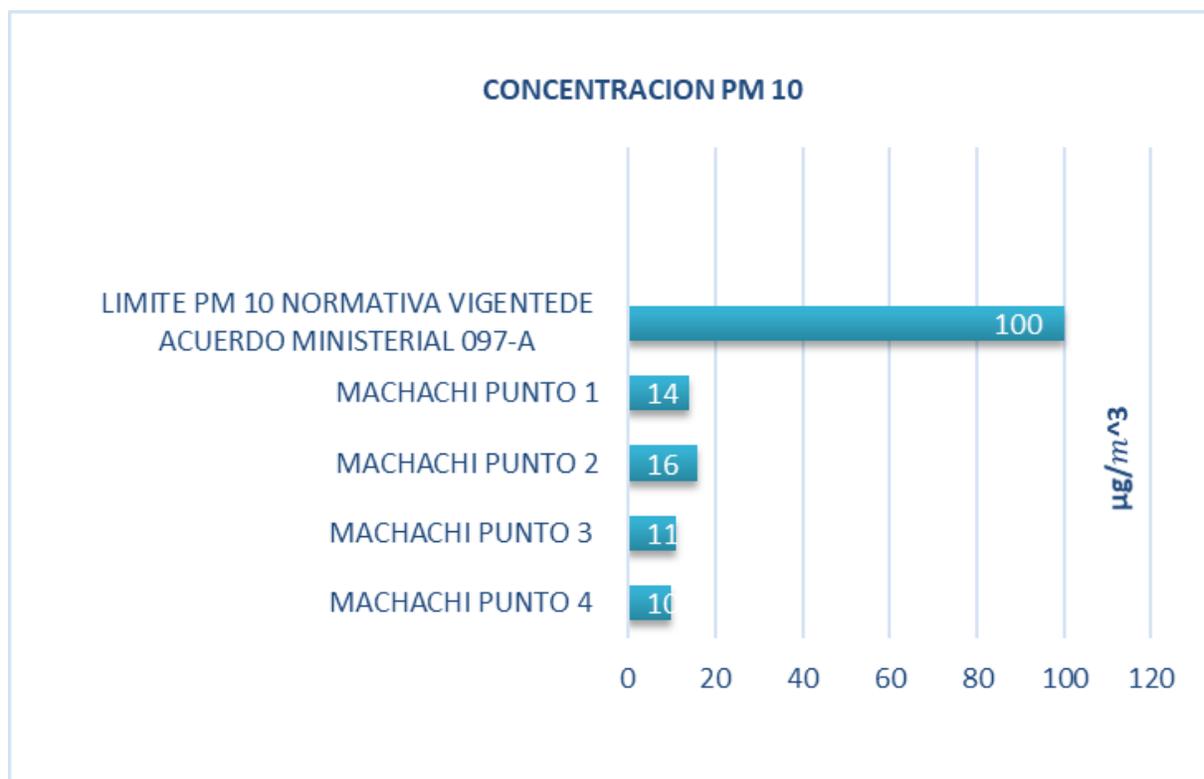
### INTERPRETACIÓN

Mediante los datos obtenidos de *PM<sub>2,5</sub>* en el punto de validación, existen un pico alto, el primero se da la 7:00h con un valor de  $19,25\mu\text{gm}^3$  estos resultados obedecen al aumento de la circulación vehicular debido a que a esa hora la gente se transfiere a su trabajo y a la escuela 23:00h con un valor de  $4,62\mu\text{gm}^3$  debido a la poca actividad generadora de material particulado porque en esas horas existió escasa movilidad vehicular.

## 10.2 Comparación con la Normativa Vigente Acuerdo Ministerial 097-A para PM 10 límites promedio de concentración en 24 horas

**Figura 25:**

Concentración de límites vigentes **PM 10**



**Nota:** Carrera.

### INTERPRETACIÓN

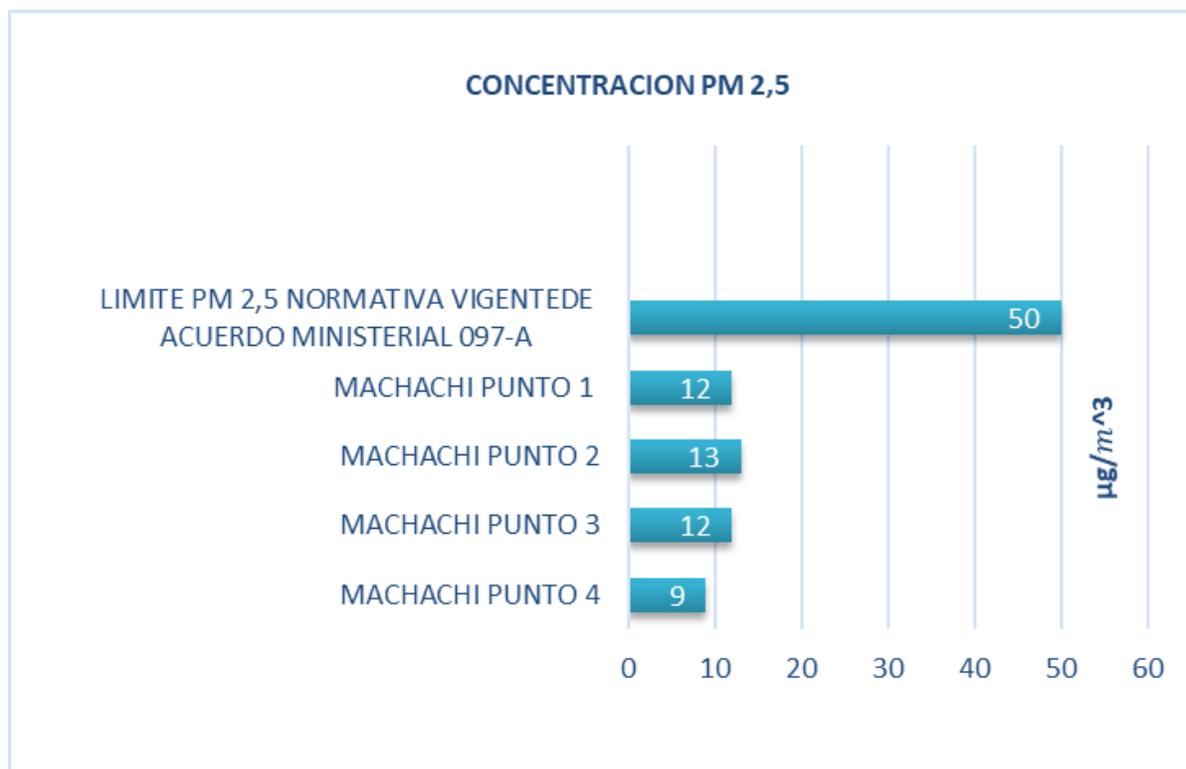
Según la Normativa 097-A dado que los datos de concentración no deben sobrepasar los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un promedio de 24 horas, los datos obtenidos en los puntos de muestreo en la vía E35 - Machachi están dentro de los límites máximos permisibles. El primer punto es de  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el segundo punto de muestreo es de  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el tercer punto de muestreo es de  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el último punto es de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 10.3 Comparación con la Normativa Vigente

#### 10.3.1 Acuerdo Ministerial 097-A para PM.2.5 límites promedio de concentración en 24 horas

**Figura 26:**

Concentración de límites vigentes PM.2.5



**Nota:** Carrera.

### INTERPRETACIÓN

Según la Normativa 097-A los datos de concentración de material particulado  $PM_{2,5}$  no deben sobrepasar los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, por lo tanto, los datos obtenidos en los 4 puntos de muestreo en la vía E35 – Machachi están dentro de los límites permisibles. El primer punto presenta un total de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en el segundo punto un total de  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el tercer punto de muestreo es de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el último punto es de  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 10.3.2 Interpolación gráficas y comparación PM 10

**Tabla 14:**  
Interpolación 8a.m.

				<b>INTERPOLACIÓN 8 a.m.</b>		
				<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
						
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>						
<b>Valor medio PM 10</b>				10,17		
<b>Valor de interpolación</b>	10,0127	10,2819		9,86862		
<b>Desviación estándar</b>	1,3053183	0,678652771		1,1480152		

Elaborado por: Carrera.

#### **INTERPRETACIÓN**

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 10,0127**, **Krigin Esférico: 10,2819**, **Krigin Exponencial: 9,86862**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 10,17**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 10,2819**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 15:**  
*Interpolación 9a.m.*

	<b>INTERPOLACIÓN 9 a.m.</b>		
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>Valor medio PM 10</b>			
<b>Valor de interpolación</b>		7,68	
<b>Desviación estándar</b>	7,54258	7,24031	7,71763
	1,9569842	1,9054153	1,6265276

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 7,54258**, **Krigin Esférico: 7,24031**, **Krigin Exponencial: 7,71763**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,68**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 7,71763**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 16:**  
*Interpolación 10a.m.*

	INTERPOLACIÓN 10 a.m.		
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>			
<b>10</b>		7,15	
<b>Valor de interpolación</b>	6,77606	8,04003	8,25
<b>Desviación estándar</b>	1,9373366	1,0941281	0,0256579

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,77606**, **Krigin Esférico: 8,04003**, **Krigin Exponencial: 8,25**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,15**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 7,77606**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

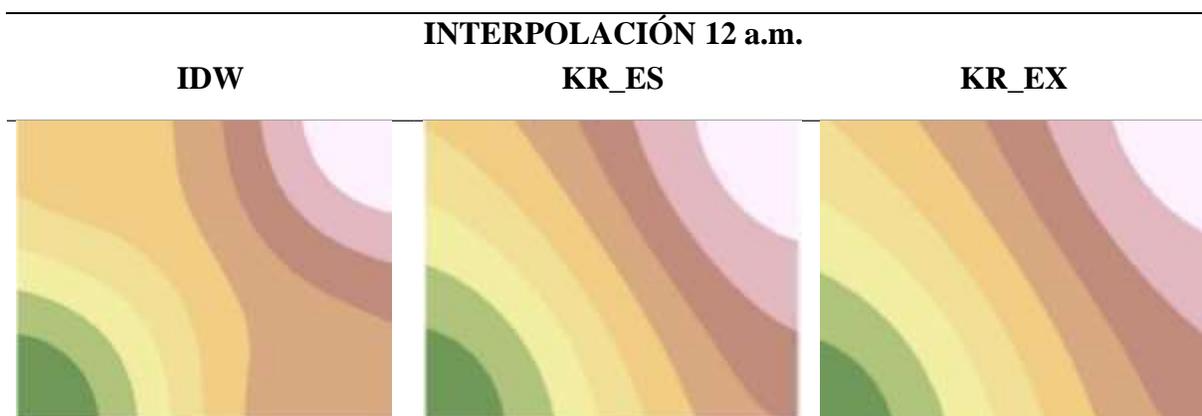
**Tabla 17:**  
*Interpolación 11a.m.*

	INTERPOLACIÓN 11 a.m.		
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
		<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>	
<b>Valor medio PM</b>			
<b>10</b>			6,79
<b>Valor de interpolación</b>			
	6,84539	6,81706	6,71661
<b>Desviación estándar</b>			
	0,986744	0,8344304	0,9530237

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,84539**, **Krigin Esférico: 6,81706**, **Krigin Exponencial: 6,71661**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 6,79**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 6,81706**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 18:**  
*Interpolación 12 a.m.*



#### VALIDACIÓN CRUZADA

Valor medio PM

10

16,15

Valor de  
interpolación

15,6482

16,1971

16,1971

Desviación

estándar

2,6286593

2,5432195

2,553349

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW:15,6482**, **Krigin Esférico: 16,1971**, **Krigin Exponencial: 16,1971**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 16,15**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 16,1971**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 19:**  
*Interpolación 1p.m.*

INTERPOLACIÓN 1 p.m.			
IDW	KR_ES	KR_EX	
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 10</b>			19,11
<b>Valor de interpolación</b>			
	18,8864	19,2657	19,0645
<b>Desviación estándar</b>	1,5985948	1,6607004	1,5499859

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW:18,8864**, **Krigin Esférico: 19,2657**, **Krigin Exponencial:19,0645**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 19,11**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 19,0645**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

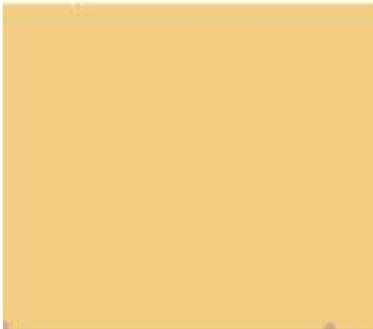
**Tabla 20:**  
*Interpolación 2p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 2 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		6,46	
<b>Valor de interpolación</b>	5,62728	7,5	7,5
<b>Desviación estándar</b>	4,6611870 62	0,03628945123	0,06399646113

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 5,62728**, **Krigin Esférico: 7,5**, **Krigin Exponencial: 7,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 6,46**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 5,62728**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

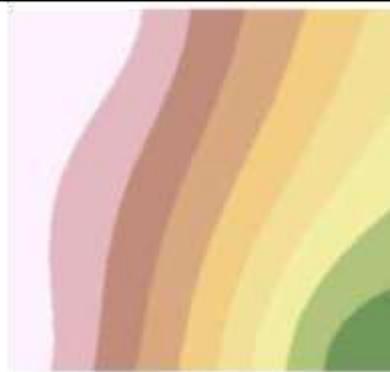
**Tabla 21:**  
*Interpolación 3p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 3 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>			6,65
<b>10</b>			
<b>Valor de interpolación</b>	6,72719	6,74732	6,5
<b>Desviación estándar</b>	0,5558217	0,4700566	0,0074919

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,72719**, **Krigin Esférico: 6,74732** , **Krigin Exponencial: 6,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 6,65**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 6,72719**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 22:**  
*Interpolación 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 4 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>			10,84
<b>10</b>			
<b>Valor de interpolación</b>			
	11,0031	10,7274	10,9278
<b>Desviación estándar</b>	1,7181888	1,6999616	1,5980766

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 11,0031**, **Krigin Esférico: 10,7274**, **Krigin Exponencial: 10,9278**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 10,84**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 10,9278**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 23:**  
*Interpolación 5p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 5 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
	<b>Valor medio PM 10</b>		15,92
<b>Valor de interpolación</b>	15,7126	16	16
<b>Desviación estándar</b>	2,6183584	0,8172977	0,0200309

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 15,7126**, **Krigin Esférico: 16**, **Krigin Exponencial: 16**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 15,92**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 16** Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 24:**  
*Interpolación 6p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 6 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>	<b>19,05</b>		
<b>Valor de interpolación</b>	19,8222	19,635	21,25
<b>Desviación estándar</b>	3,3239592	2,7946743	0,0454077

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 19,8222**, **Krigin Esférico: 19,635**, **Krigin Exponencial: 21,25**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 19,05**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 19,635**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 25:**  
*Interpolación 7p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 7 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>			16,52
<b>Valor de interpolación</b>	16,9241	16,8848	16,3287
<b>Desviación estándar</b>	5,564392 8	4,7264841	5,3925389

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 16,9241**, **Krigin Esférico: 16,8848**, **Krigin Exponencial: 16,3287**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 16,52**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 16,8848**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 26:**  
*Interpolación 8p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 8 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		10,05	
<b>Valor de interpolación</b>	10,929	14,25	10,6846
<b>Desviación estándar</b>	3,8408834	0,03182	3,6344703

Elaborado por: Carrera.

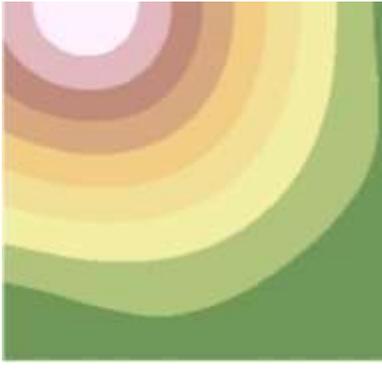
Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 10,929**, **Krigin Esférico: 14,25**, **Krigin Exponencial: 10,6846**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 10,05**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 10,6846**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 27:**  
*Interpolación 9p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 9 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		7,85	
<b>Valor de interpolación</b>	7,4541	7,45866	8,03885
<b>Desviación estándar</b>	2,5715625	2,1911256	1,7935813

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 7,4541**, **Krigin Esférico: 7,45866**, **Krigin Exponencial: 8,03885**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,85**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 8,03885**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

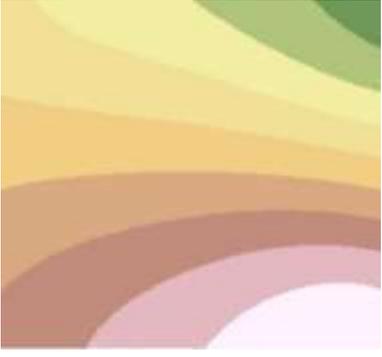
**Tabla 28:**  
*Interpolación 10p.m.*

INTERPOLACIÓN 10 p.m.			
IDW	KR_ES	KR_EX	
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 10</b>			9,1
<b>Valor de interpolación</b>			
	9,27281	9,25268	9,5
<b>Desviación estándar</b>	0,5558217	0,4700566	0,0074919

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 9,27281**, **Krigin Esférico: 9,25268**, **Krigin Exponencial: 9,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,1**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 9,25268**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 29:**  
*Interpolación 11a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 11 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>	<b>10</b>		<b>8,3</b>
<b>Valor de interpolación</b>			
	8,41483	8,2524	8,23329
<b>Desviación estándar</b>	1,3377329	1,2049569	1,134782

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,41483**, **Krigin Esférico: 8,2524**, **Krigin Exponencial: 8,23329**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 8,3**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 8,2524**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 30:**  
*Interpolación 12p.m.*

INTERPOLACIÓN 12 p.m.			
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM</b> <b>10</b>		5,25	
<b>Valor de interpolación</b>	4,84938	5,09201	5,75
<b>Desviación estándar</b>	1,0788328	0,8380713	3,96E-05

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 4,84938**, **Krigin Esférico: 5,09201**, **Krigin Exponencial: 5,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 5,25**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 5,09201**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 31:**  
*Interpolación 1a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 1 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		7,18	
<b>Valor de interpolación</b>			
	7,03613	7,2926	7,28
<b>Desviación estándar</b>	2,1626463	1,9633154	1,8612061

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 7,03613**, **Krigin Esférico: 7,2926**, **Krigin Exponencial: 7,28**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,18**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 7,28**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

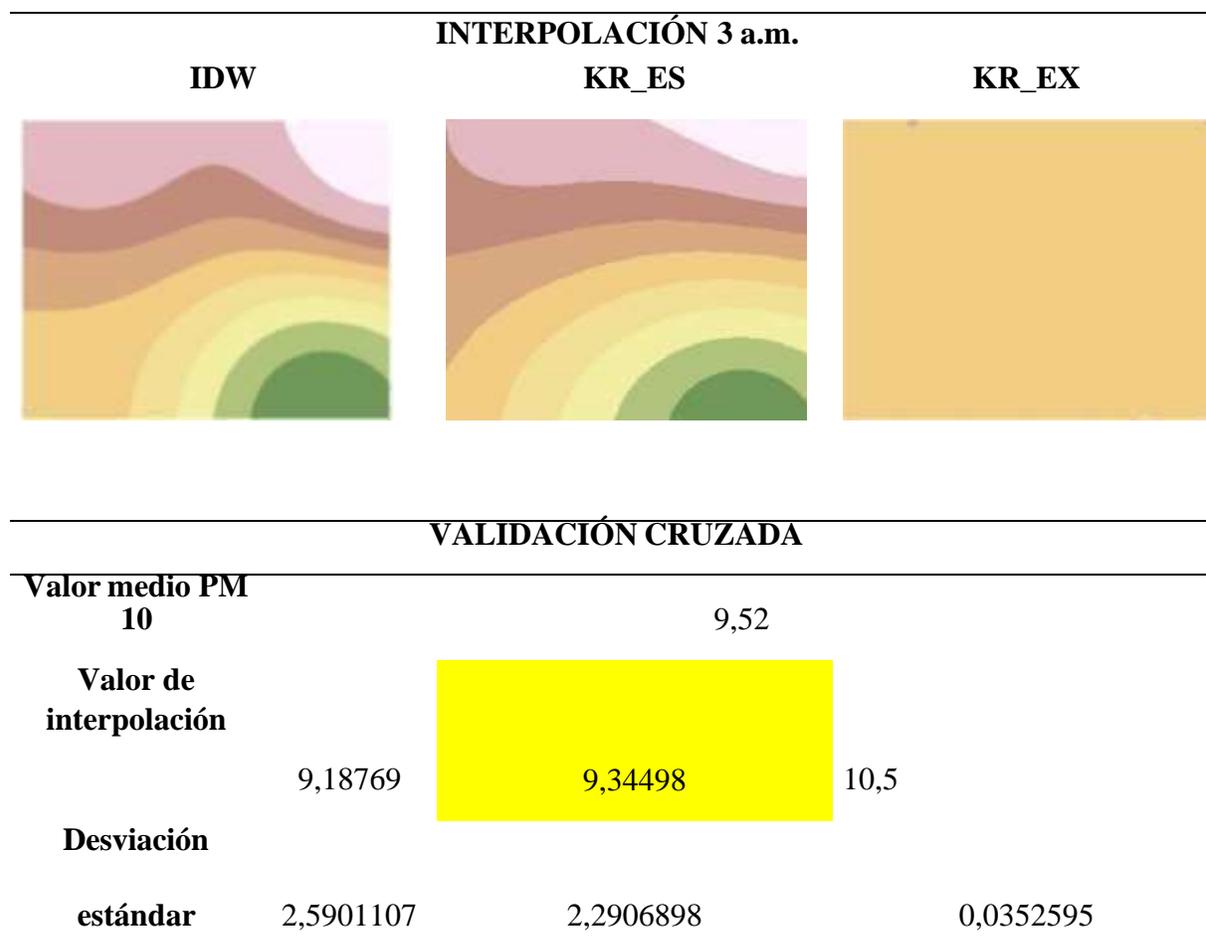
**Tabla 32:**  
*Interpolación 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 2 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>	<b>10</b>	<b>7,5</b>	
<b>Valor de interpolación</b>			
	6,43056	7,5	6,84925
<b>Desviación estándar</b>	1,4884322	0,0189097	1,0744537

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,43056**, **Krigin Esférico: 7,5**, **Krigin Exponencial: 6,84925**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,5**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 7,5**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 33:**  
*Interpolación 7a.m.*



**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 9,18769**, **Krigin Esférico: 9,34498**, **Krigin Exponencial: 10,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,52**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 9,34498**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 34:**  
*Interpolación 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 4 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>			
<b>10</b>		8,25	
<b>Valor de interpolación</b>			
	8,49029	8,34742	9,25
<b>Desviación estándar</b>	2,1600419	1,8086866	0,0031194

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,49029**, **Krigin Esférico: 8,34742**, **Krigin Exponencial: 9,25**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 8,25**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 8,34742**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 35:**  
*Interpolación 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 5 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		17,42	
<b>Valor de interpolación</b>			
	17,3107	17,3422	
<b>Desviación estándar</b>	3,217655	2,7394777	3,0910691

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 17,3107**, **Krigin Esférico: 17,3422**, **Krigin Exponencial: 17,0372**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 17,42**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 17,3422**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

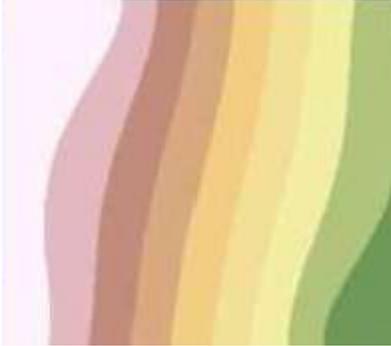
**Tabla 36:**  
*Interpolación 6a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 6 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>		21,45	
<b>Valor de interpolación</b>	21,6286	20,9854	21,3202
<b>Desviación estándar</b>	2,4728338	2,5664384	2,3869346

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 21,6286**, **Krigin Esférico: 20,9854**, **Krigin Exponencial: 21,3202**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 21,45**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 21,3202**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 37:**  
*Interpolación 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 7 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 10</b>	22,48		
<b>Valor de interpolación</b>	22,3107	22,3422	22,0372
<b>Desviación estándar</b>	3,217655	2,7394777	3,0910691

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 22,3107**, **Krigin Esférico: 22,3422**, **Krigin Exponencial: 22,0372**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 22,48**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 22,3422**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

### 10.3.3 Interpolación gráficas y comparación 2,5

**Tabla 38:**

*Interpolación PM.2, 5 8a.m.*

INTERPOLACIÓN 8 a.m.			
IDW	KR_ES	KR_EX	
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 2,5</b>			14,99
<b>Valor de interpolación</b>			
	14,0956	15,75	15,75
<b>Desviación estándar</b>	2,1417784 48	1,603786293844	1,681565459007

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 14,0956**, **Krigin Esférico: 15,75**, **Krigin Exponencial: 15,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 14,99**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 15,75**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 39:**  
*Interpolación PM.2, 5 9a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 9 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		6.55	
<b>Valor de interpolación</b>			
	6,175736	6,07627	6,75
<b>Desviación estándar</b>	1,434541321	1,200163949	0,001226977862

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,175736**, **Krigin Esférico: 6,07627**, **Krigin Exponencial: 6,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 6.55**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 6,07627**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

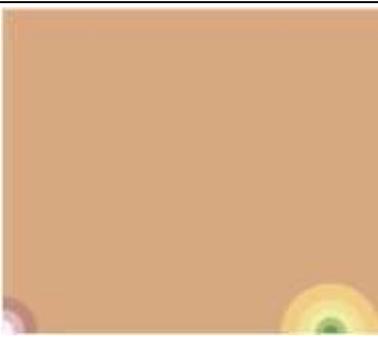
**Tabla 40:**  
*Interpolación PM 2,5 10a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 10 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		5,63	
<b>Valor de interpolación</b>			5,69082
<b>Desviación estándar</b>	0,4752836069	0,3972500187	0,427303495

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 5,61674**, **Krigin Esférico: 5,65138**, **Krigin Exponencial: 5,69082**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 5,63**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 5,69082**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

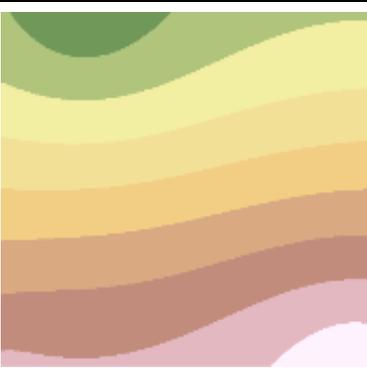
**Tabla 41:**  
*Interpolación PM 2,5 11a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 11 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		12	
<b>Valor de interpolación</b>	10,7501	12	11,9993
<b>Desviación estándar</b>	1,497892976	0,2346013366	0,0006818107128

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 10,7501**, **Krigin Esférico: 12**, **Krigin Exponencial: 11,9993**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 12**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 10,7501**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

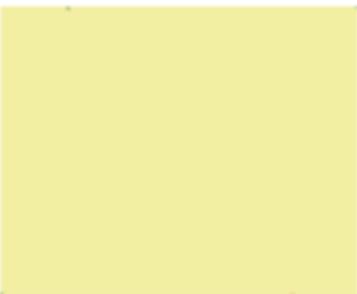
**Tabla 42:**  
*Interpolación PM 2,5 12a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 12 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b> 2,5	7,92		
<b>Valor de interpolación</b>	7,98983	7,84339	7,84103
<b>Desviación estándar</b>	1,338084 97	1,214681886	1,152082509

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 7,98983**, **Krigin Esférico: 7,84339**, **Krigin Exponencial: 7,84103**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,92**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 7,84339**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 43:**  
*Interpolación PM 2,5 1p.m.*

	<b>INTERPOLACIÓN 1 p.m.</b>		
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
	<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>		
<b>Valor medio PM 2,5</b>		8,15	
<b>Valor de interpolación</b>			7,75
	8,38169	7,83999	
<b>Desviación estándar</b>	0,8302871275	0,4689120523	0,01099626476

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,38169**, **Krigin Esférico: 7,83999**, **Krigin Exponencial: 7,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 8,15**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 7,75**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

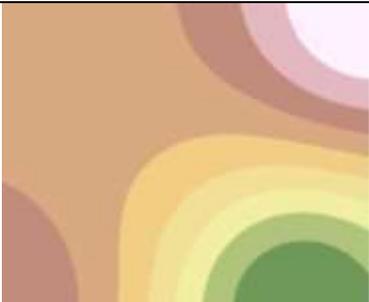
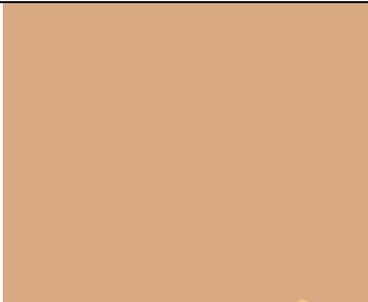
**Tabla 44:**  
*Interpolación PM 2,5 2p.m.*

	INTERPOLACIÓN 2 p.m.		
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		9,95	
<b>Valor de interpolación</b>	9,84781	10	10
<b>Desviación estándar</b>	0,4032481151	0,001084783322	0,001088279744

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 9,84781**, **Krigin Esférico: 10**, **Krigin Exponencial: 10**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,95**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 9,84781**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

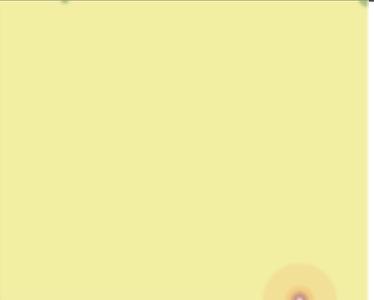
**Tabla 45:**  
*Interpolación PM 2,5 3p.m.*

	INTERPOLACIÓN 3 p.m.		
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		9,35	
<b>Valor de interpolación</b>	8,71696	9,75	9,75
<b>Desviación estándar</b>	1,726536442	0,1281411421	0,003569860418

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,71696**, **Krigin Esférico: 9,75**, **Krigin Exponencial: 9,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,35**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 8,71696**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 46:**  
*Interpolación PM 2,5 4p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 4 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		11,75	
<b>Valor de interpolación</b>	11,455	10,25	10,25
<b>Desviación estándar</b>	1,729511057	0,0156096997	0,1194732983

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 11,455**, **Krigin Esférico: 10,25**, **Krigin Exponencial: 10,25**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 11,75**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 10,25**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 47:**  
*Interpolación PM 2,5 5p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 5 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		18,44	
<b>Valor de interpolación</b>	18,2428	18,652	18,7941
<b>Desviación estándar</b>	2,20295745 3	1,676652678	1,514776989

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 18,2428**, **Krigin Esférico: 18,652**, **Krigin Exponencial: 18,7941**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 18,44**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 18,2428**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 48:**  
*Interpolación PM 2,5 6p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 6 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		14,5	
<b>Valor de interpolación</b>		14,5048	
	14,8297		14,4666
<b>Desviación estándar</b>	2,67546579	2,409913741	2,269563907

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 14,8297**, **Krigin Esférico: 14,5048**, **Krigin Exponencial: 14,4666**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 14,5**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 14,5048**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 49:**  
*Interpolación PM 2,5 7p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 7 p.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		11,36	
<b>Valor de interpolación</b>			
	11,7295	11,0609	11,405
<b>Desviación estándar</b>	3,00142759	3,124986013	2,919461386

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 11,7295**, **Krigin Esférico: 11,0609**, **Krigin Exponencial: 11,405**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 11,36**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 11,0609**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

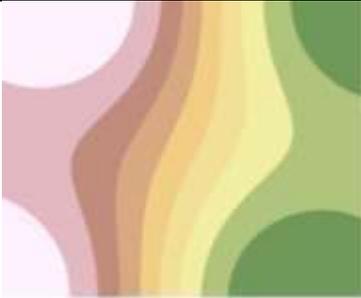
**Tabla 50:**  
*Interpolación PM 2,5 8 p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 8 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		12,34	
<b>Valor de interpolación</b>	11,6239	13,25	13,25
<b>Desviación estándar</b>	2,27925690 7	0,02030789418	0,03078852988

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 11,6239**, **Krigin Esférico: 13,25**, **Krigin Exponencial: 13,25**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 12,34**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 11,6239**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 51:**  
*Interpolación PM 2,5 9p.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 9 p.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		9,43	
<b>Valor de interpolación</b>	9,46213	9,46213	9,40744
<b>Desviación estándar</b>	0,6435309952	0,5478955331	0,6182138257

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 9,46213**, **Krigin Esférico: 9,46213**, **Krigin Exponencial: 9,40744**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,43**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 9,40744**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 52:**  
*Interpolación PM 2,5 10p.m.*

INTERPOLACIÓN 10 p.m.			
IDW	KR_ES	KR_EX	
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		6,46	
<b>Valor de interpolación</b>	5,62728	7,5	7,5
<b>Desviación estándar</b>	4,661187062	0,03628945123	0,06399646113

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 5,62728**, **Krigin Esférico: 7,5**, **Krigin Exponencial: 7,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 6,46**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 5,62728**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 53:**  
*Interpolación PM 2,5 11p.m.*

INTERPOLACIÓN 11 p.m.			
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		4,62	
<b>Valor de interpolación</b>	4,08443	5,5	5,5
<b>Desviación estándar</b>	2,004123963	0,01795561558	0,02713467178

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 4,08443**, **Krigin Esférico: 5,5**, **Krigin Exponencial: 5,5**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 4,62**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 4,08443**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

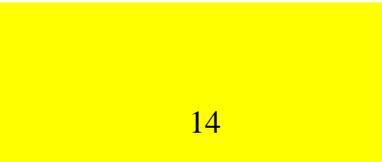
**Tabla 54:**  
*Interpolación PM 2,5 12p.m.*

INTERPOLACIÓN 12 p.m.			
	IDW	KR_ES	KR_EX
			
VALIDACIÓN CRUZADA			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		13,45	
<b>Valor de interpolación</b>	13,058	12,9542	13,7699
<b>Desviación estándar</b>	5,751061732	4,890542755	4,411752574

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 13,058**, **Krigin Esférico: 12,9542**, **Krigin Exponencial: 13,7699**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 13,45**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 12,9542**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 55:**  
*Interpolación PM 2,5 1a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 1 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>			14,32
<b>Valor de interpolación</b>			
	14,6263	14,694	14
<b>Desviación estándar</b>	1,4760341	1,245157464	0,02065278336

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 14,6263**, **Krigin Esférico 14,694**, **Krigin Exponencial: 14**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 14,32**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 14**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

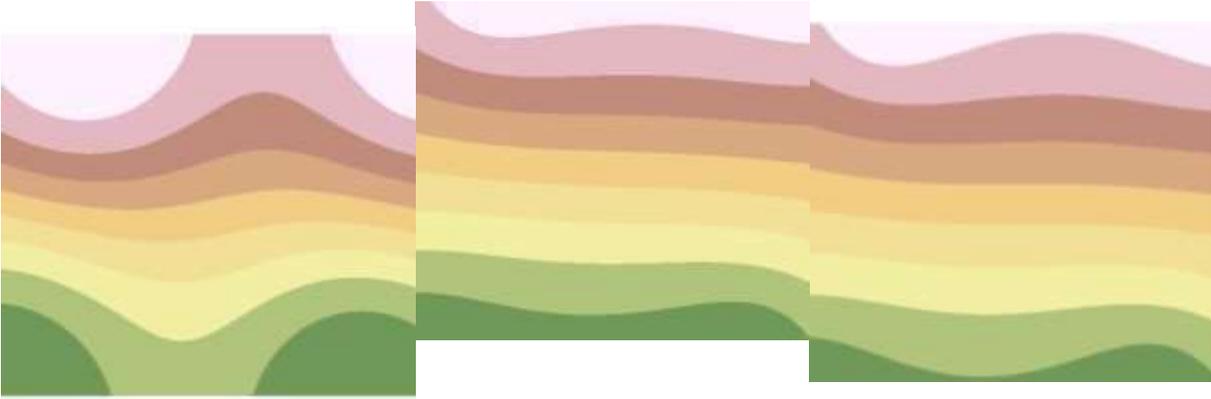
**Tabla 56:**  
*Interpolación PM 2,5 2a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 2 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		9,45	
<b>Valor de interpolación</b>	9,30433	9,38951	9,7761
<b>Desviación estándar</b>	2,52012341	2,274634011	1,84881618

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 9,30433**, **Krigin Esférico: 9,38951**, **Krigin Exponencial: 9,7761**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 9,45**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 9,30433**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 57:**  
*Interpolación PM 2,5 3a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 3 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>	
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		8,9	
<b>Valor de interpolación</b>	8,77911	8,98637	8,95525
<b>Desviación estándar</b>	1,23573246 5	1,145966745	1,074777275

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,77911**, **Krigin Esférico: 8,98637**, **Krigin Exponencial: 8,98637**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 8,9**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 8,77911**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 58:**  
Interpolación PM 2,5 4a.m.

<b>INTERPOLACIÓN 4 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		8,04	
<b>Valor de interpolación</b>		8,02293	
	8,07489		7,96377
<b>Desviación estándar</b>	0,712925412	0,5958750287	0,6409552425

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 8,07489**, **Krigin Esférico: 8,02293**, **Krigin Exponencial: 7,96377**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 8,04**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 8,02293**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 59:**  
*Interpolación PM 2,5 5a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 5 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM</b>	<b>2,5</b>	<b>7,75</b>	
<b>Valor de interpolación</b>	6,67741	6,52316	7,75
<b>Desviación estándar</b>	1,30743541	1,254613312	0,01460296058

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 6,67741**, **Krigin Esférico: 6,52316**, **Krigin Exponencial: 7,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 7,75**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_ES: 6,52316**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 60:**  
*Interpolación PM 2,5 6a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 6 a.m.</b>			
<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>		<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		13,12	
<b>Valor de interpolación</b>			<b>12,75</b>
	13,0114	13,2909	
<b>Desviación estándar</b>	2,86584015 9	2,36612012	0,009415131037

Elaborado por: Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 13,0114**, **Krigin Esférico: 13,2909**, **Krigin Exponencial: 12,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 13,12**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **KR\_EX: 12,75**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 61:**  
*Interpolación PM 2,5 7a.m.*

<b>INTERPOLACIÓN 7 a.m.</b>			
	<b>IDW</b>	<b>KR_ES</b>	<b>KR_EX</b>
			
<b>VALIDACIÓN CRUZADA</b>			
<b>Valor medio PM 2,5</b>		19,25	
<b>Valor de interpolación</b>	18,9307	18,9307	19,75
<b>Desviación estándar</b>	1,84642178 4	1,019245886	0,005983429271

**Elaborado por:** Carrera.

Después de obtener los valores de interpolación **IDW: 18,9307**, **Krigin Esférico: 18,9307**, **Krigin Exponencial: 19,75**, se realiza la validación cruzada utilizando el **valor medido: 19,25**; en el punto localizado en la intersección de las calles: **García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01)**. Se selecciona el valor de interpolación más cercano al valor medido que es **IDW: 18,9307**. Así, se determina el método de interpolación que mejor se ajusta al comportamiento de la variable.

**Tabla 62:***Interpolación PM. 10; 8:00 a 10:00a.m.*

Tiempo de análisis		8:00 a.m.			9:00 a.m.			10:00 a.m.		
Valor medido		10,17			7,68			7,15		
Tipo de interpolación		KRIGING -	Esférico	Exponencial	IDW	Esférico	Exponencial	IDW	Esférico	Exponencial
Valor de interpolación	10,0127	10,2819		9,86862	7,54258	7,24031	7,71763	6,77606	8,04003	8,25
Desviación estándar	1,305318			1,1480152	1,956984	1,9054153	1,6265276	1,937336	1,0941281	0,0256579
	3	0,678652771			2			6		

Elaborado por: Carrera.

**Tabla 63:***Interpolación PM 10 de 11:00 a 1:00pm*

Tiempo de análisis		11:00 a.m.			12:00 p.m.			1:00 p.m.		
Valor medido		6,79			16,15			19,11		
Tipo de interpolación		IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	6,8453		6,81706			16,1971				19,0645
Desviación estándar	9			6,71661	15,6482		16,1011	18,8864	19,2657	
	0,9867			2,62865			1,59859			
	44	0,8344304		0,9530237	93	2,5432195	2,553349	48	1,6607004	1,5499859

Elaborado por: Carrera.

**Tabla 64:***Interpolación PM. 10, de 2:00 a 4:00pm*

Tiempo de análisis		2:00 p.m.			3:00 p.m.			4:00 p.m.		
Valor medido		10			6,65			10,84		
Tipo de interpolación		IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	Esférico	1	IDW	Esférico	1
Valor de interpolación			No se ejecuta porque los puntos de muestreo presentan	No se ejecuta porque los puntos de	6,727			11,00		
Desviación estándar					el	ismo valor			muestre	o presentan
					m					

**Tabla 65:***Interpolación PM. 10 de 4:00 a 6:00*

Tiempo de análisis	4:00 p.m.			5:00 p.m.			6:00 p.m.		
Valor medido	10,84			15,92			19,05		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	11,003			15,712			19,822		
Desviación estándar	1	10,7274	10,9278	6	16	16	2	19,635	21,25
	1,7181			2,6183			3,3239		
	888	1,6999616	1,5980766	584	0,8172977	0,0200309	592	2,7946743	0,0454077

**Tabla 66:***Interpolación PM. 10 de 7:00 a 9:00pm*

Tiempo de análisis	7:00 p.m.			8:00 p.m.			9:00 p.m.		
Valor medido	16,52			10,05			7,85		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	16,9241	16,8848	16,3287	10,929	14,25	10,6846	7,4541	7,45866	8,03885
Desviación estándar	5,56439			3,84088			2,57156		
	28	4,7264841	5,3925389	34	0,03182	3,6344703	25	2,1911256	1,7935813

**Elaborado por:** Carrera.**Tabla 67:***Interpolación PM. 10 de 10:00 a 12:00a.m*

Tiempo de análisis	10:00 p.m.	11:00 p.m.	12:00 a.m.
Valor medido	9,1	8,3	5,25

Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	9,2728 1	9,25268	9,5	8,4148 3	8,2524	8,23329	4,8493 8	5,09201	5,75
Desviación estándar	0,5558 217	0,4700566	0,0074919	1,3377 329	1,2049569	1,134782	1,0788 328	0,8380713	3,96E-05

Elaborado por: Carrera.

**Tabla 68:**

*Interpolación PM. 10 de 1:00 a 3:00a.m*

Tiempo de análisis	1:00 a.m.			2:00 a.m.			3:00 a.m.		
Valor medido	7,18			7,5			9,52		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	7,03613	7,2926	7,28	6,43056	7,5	6,84925	9,18769	9,34498	10,5
Desviación estándar	2,16264 63	1,9633154	1,8612061	1,48843 22	0,0189097	1,0744537	2,59011 07	2,2906898	0,0352595

Elaborado por: Carrera.

**Tabla 69:**

*Interpolación PM. 10 de 4:00 a 7:00a.m*

Tiempo de análisis	4:00 a.m.			5:00 a.m.			6:00 a.m.			7:00 a.m.		
Valor medido	8,25			17,42			21,45			22,48		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING- Exponencial									
Valor de interpolación	8,49029	8,34742	9,25	17,3107	17,3422	17,0372	21,6286	20,9854	21,3202	22,3107	22,3422	22,0372
Desviación estándar	2,1600419	1,8086866	0,0031194	3,217655	2,7394777	3,0910691	2,4728338	2,5664384	2,3869346	3,217655	2,7394777	3,0910691

Elaborado por: Carrera.

### 10.3.4 Validación 2,5

**Tabla 70:**

*Interpolación PM 2,5; 8:00 a 10:00a.m.*

Tiempo de análisis	8:00 a.m.			9:00 a.m.			10:00 a.m.		
Valor medido	14,99			6,55			5,63		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial
Valor de interpolación	14,0956	15,75	15,75	6,175736	6,07627	6,75	5,61674	5,65138	5,69082
Desviación estándar	2,14177845	1,603786293844E+00	1,681565459007E+00	1,43454132	1,20016395	0,00122698	0,47528361	0,39725002	0,42730349

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 71:**

*Interpolación PM. 10 de 11:00 a 1:00pm*

Tiempo de análisis	11:00 a.m.			12:00p.m.			1:00p.m.		
Valor medido	12			7,92			8,15		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial
Valor de interpolación	10,7501	12	11,9993	7,98983	7,84339	7,84103	8,38169	7,83999	7,75
Desviación estándar	1,49789298	0,23460134	0,00068181	1,33808497	1,21468189	1,15208251	0,83028713	0,46891205	0,01099626

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 72:**

*Interpolación PM. 10, de 2:00 a 4:00pm*

Tiempo de análisis	2:00p.m.			3:00p.m.			4:00p.m.		
Valor medido	9,95			9,35			11,75		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial	IDW	KRIGING -Esférico	KRIGING-Exponencial

Valor de interpolación	9,84781	10	10	8,71696	9,75	9,75	11,455	10,25	10,25
Desviación estándar	0,40324812	0,00108478	0,00108828	1,72653644	0,12814114	0,00356986	1,72951106	0,0156097	0,1194733

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 73:**

*Interpolación PM 10 de 5:00 a 7:00*

Tiempo de análisis	5:00p.m.			6:00p.m.			7:00p.m.		
Valor medido	18,44			14,5			11,36		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	18,2428	18,652	18,7941	14,8297	14,5048	14,4666	11,7295	11,0609	11,405
Desviación estándar	2,20295745	1,67665268	1,51477699	2,6754658	2,40991374	2,26956391	3,00142759	3,12498601	2,91946139

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 74:**

*Interpolación PM 10 de 8:00 a 10:00pm*

Tiempo de análisis	8:00p.m.			9:00p.m.			10:00p.m.		
Valor medido	12,34			9,43			6,46		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	11,6239	13,25	13,25	9,46213	9,46843	9,40744	5,62728	7,5	7,5
Desviación estándar	2,27925691	0,02030789	0,03078853	0,643531	0,54789553	0,61821383	4,66118706	0,03628945	0,06399646

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 75:**

*Interpolación PM. 10 de 11:00 a 1:00a.m*

Tiempo de análisis	11:00p.m.			12:00p.m.			1:00a.m.		
Valor medido	4,62			13,45			14,32		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	4,08443	5,5	5,5	13,058	12,9542	13,7699	14,6263	14,694	14

Desviación estándar	2,00412396	0,01795562	0,02713467	5,75106173	4,89054275	4,41175257	1,47603411	1,24515746	0,02065278
---------------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 76:**

*Interpolación PM. 10 de 2:00 a 4:00hr*

Tiempo de análisis	2:00a.m.			3:00a.m.			4:00a.m.		
Valor medido	9,45			8,9			8,04		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	9,30433	9,38951	9,7761	8,77911	8,98637	8,95525	8,07489	8,02293	7,96377
Desviación estándar	2,52012341	2,27463401	1,84881618	1,23573246	1,14596674	1,07477727	0,71292541	0,59587503	0,64095524

**Elaborado por:** Carrera.

**Tabla 77:**

*Interpolación PM.2,50 de 5:00 a 7:00hr*

Tiempo de análisis	5:00a.m.			6:00a.m.			7:00a.m.		
Valor medido	7,25			13,12			19,25		
Tipo de interpolación	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial	IDW	KRIGING - Esférico	KRIGING- Exponencial
Valor de interpolación	6,67741	6,52316	7,75	13,0114	13,2909	12,75	18,9307	19,6347	19,75
Desviación estándar	1,30743541	1,25461331	0,01460296	2,86584016	2,36612012	0,00941513	1,84642178	1,01924589	0,00598343

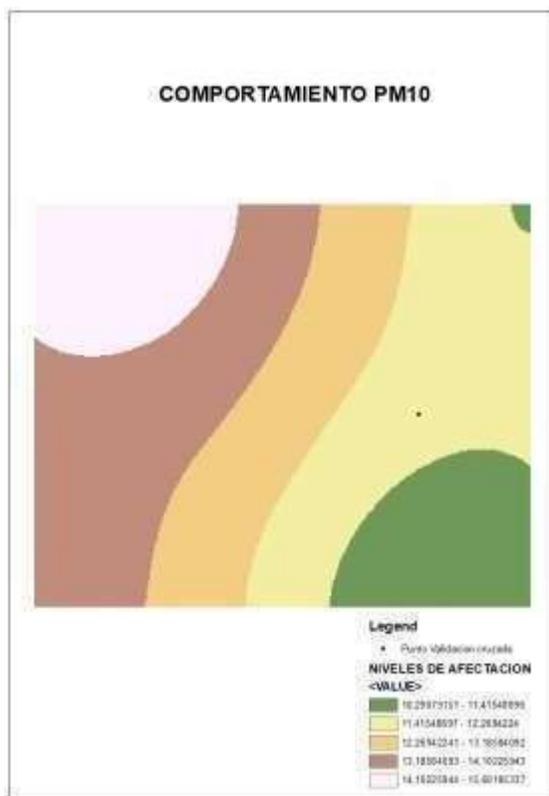
**Elaborado por:** Carrera.

Estas tablas muestran la interpolación de datos en IDW, KRIGING -Esférico, KRIGING-Exponencial en un periodo de 24 horas , a la vez para realizar las gráficas de mapeo se necesita de la desviación estándar y el valor de la interpolación.

## 10.4 Comportamientos Finales

**Figura 27:**

*Comportamiento diario del PM<sub>10</sub> en el área de estudio.*

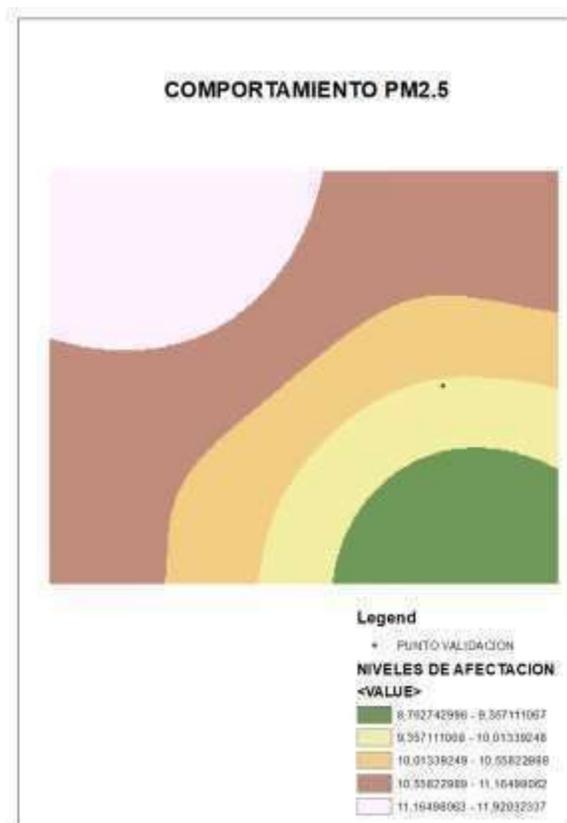


**Elaborado por:** Carrera.

Según los resultados obtenidos en la sumatoria de rasters mediante el álgebra de mapas, se determinó que desde el punto de validación cruzada localizado en la intersección de las calles: García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01), el comportamiento diario del PM 10 disminuye al este con un valor de 11,415498697 debido a que en el mismo sector existe menos asentamientos humanos pero si mayor actividad agrícola y ganadera por ende el tránsito vial es escaso, por ello se determina que el comportamiento diario del PM 10 no es relevante en el sector y tampoco es el principal problema de contaminación, si no las actividades realizadas por los pobladores del sector.

**Figura 28:**

*Comportamiento diario del PM<sub>10</sub> en el área de estudio.*



**Elaborado por:** Carrera.

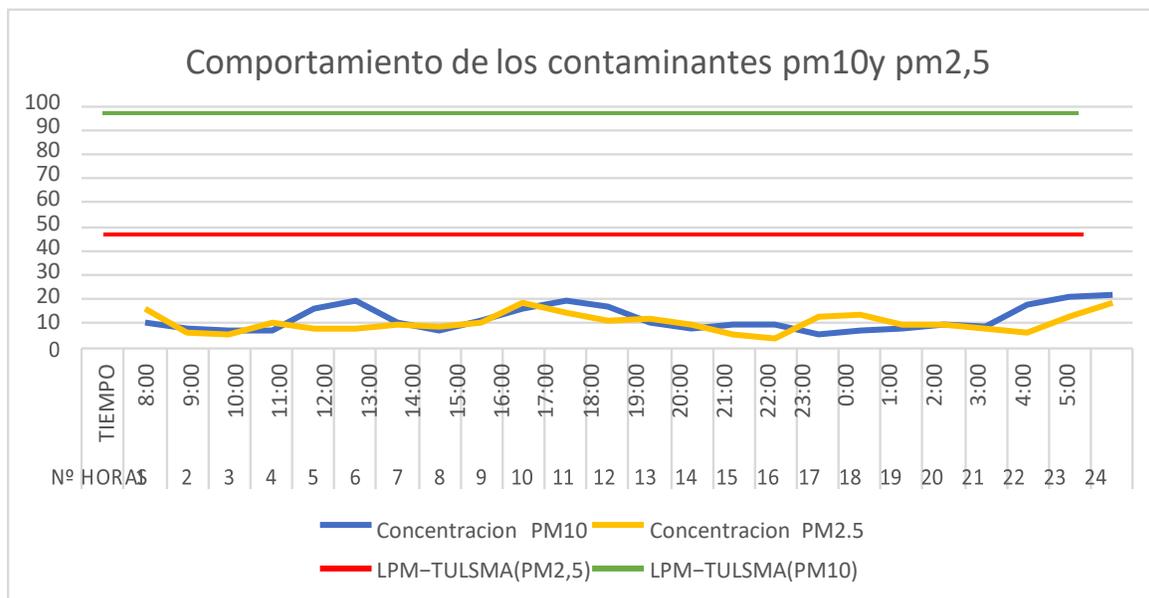
Según los resultados obtenidos en la sumatoria de rosters mediante el algebra de mapas, se determinó que desde el punto de validación cruzada localizado en la intersección de las calles: García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01), el comportamiento diario del PM<sub>2.5</sub> tiene un aumento de un valor de 9,57111063-10,011339249 en el sector, a pesar de no existir asentamientos humanos, por el contrario hacia el oeste del punto de validación existe mayor población y mayor afluencia de tránsito y las partículas de PM<sub>2.5</sub> se esparcen por la localidad debido a la dirección del viento , por ello se determina que el comportamiento diario del PM<sub>2.5</sub> aumenta con un valor en ciertas horas del día pero puede variar dependiendo la dirección el viento .

**Tabla 78:**  
Comportamiento de los Contaminantes PM 10 y PM.2,5

<b>TIEMPO</b>	<b>PM 10 <math>\mu\text{gm}^3</math></b>	<b>N° HORAS</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>PM.2,5 <math>\mu\text{gm}^3</math></b>
8:00	10,2819	1	8:00	15,75
9:00	7,71763	2	9:00	6,07627
10:00	6,77606	3	10:00	5,69082
11:00	6,81706	4	11:00	10,7501
12:00	16,1971	5	12:00	7,84339
13:00	19,0645	6	13:00	7,75
14:00	10	7	14:00	9,84781
15:00	6,72719	8	15:00	8,71696
16:00	10,9278	9	16:00	10,25
17:00	16	10	17:00	18,2428
18:00	19,635	11	18:00	14,5048
19:00	16,8848	12	19:00	11,0609
20:00	10,6846	13	20:00	11,6239
21:00	8,03885	14	21:00	9,40744
22:00	9,25268	15	22:00	5,62728
23:00	9,25268	16	23:00	4,08443
0:00	5,09201	17	0:00	12,9542
1:00	7,28	18	1:00	14
2:00	7,5	19	2:00	9,30433
3:00	9,34498	20	3:00	9,30433
4:00	8,34742	21	4:00	8,02293
5:00	17,3422	22	5:00	6,52316
6:00	21,3202	23	6:00	12,75
7:00	22,0372	24	7:00	18,9307
<b>SUMATORIA</b>	<b>282,52186</b>		<b>SUMATORIA</b>	<b>249,01655</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>12</b>		<b>PROMEDIO</b>	<b>10</b>

Elaborado por: Carrera.

**Figura 29:**  
Comportamiento de contaminantes



Elaborado por: Carrera.

### 10.5 Medidas de prevención ante la contaminación por material particulado PM. 10 y PM 2,5

El material particulado PM. 10 y PM 2,5 es nocivo para la salud y puede afectar de diferentes formas, por ejemplo, los órganos que son afectados por estos materiales son los alveolos, pulmones, el corazón, la tráquea, laringe, faringe. Algunos síntomas de esta afección son la irritación en ojos, nariz y garganta, así como el desarrollo de enfermedades respiratorias como alergias, asma, enfermedades cardíacas.

Existen casos donde la contaminación ambiental llega a causar la muerte del individuo por su tiempo prolongado a la exposición de desprendimientos del material particulado por causa de la circulación vehicular.

En la actualidad la contaminación ambiental es uno de los temas que tiene mucha relevancia y debe ser abordada con la importancia debida por lo importante que es para la salud y una vida de calidad en este planeta.

## **Justificación**

La contaminación por tráfico vehicular en la zona investigada obtuvo los siguientes resultados. Según la Normativa 097-A los datos de concentración de material particulado PM 10 no sobrepasaron los  $100\mu\text{gm}^3$  en 24 horas Y  $PM_{2,5}$  no sobrepasaron los  $50\mu\text{gm}^3$  en 24 horas, por lo tanto, los datos obtenidos en los 4 puntos de muestreo en la vía E35 – Machachi están dentro de los límites permisibles; sin embargo, se debe buscar mejorar la calidad de aire y precautelar a los ciudadanos de la zona a protegerse de estos materiales.

Por otra parte, se debe de ratificar que la Constitución de la República del Ecuador en el Art.14 y 15 lo establece el derecho a un buen vivir o en un ambiente sano. En la actualidad se debe establecer nuevos estatutos y órdenes para una regulación hacia el control ambiental, sobre todo lo que corresponde a la revisión vehicular, y al control más drástico de vehículos a ser matriculados que ya pasan su vida útil o que emiten demasiado  $\text{CO}_2$ . Esta guía permite identificar líneas de acción que podrá establecer tanto la junta parroquial como el Gad Municipal.

## **Objetivo**

Proponer medidas de control para disminución de concentraciones de PM. 10 y PM 2,5 a su vez dialogar con la comunidad y las autoridades el nivel de material particulado que existe en la localidad.

## **Líneas de acción**

Para establecer un plan de acción con medidas de prevención se establecen las siguientes líneas de acción:

- Elaborar un plan de mejoramiento vial basada en la vegetación urbana.
- Promover una conciencia vehicular para un crecimiento más sustentable de la flota vehicular.
- Establecer una vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas.

**Actividades Mitigantes 1:** Vegetación Urbana:

**Estrategia:** Esta alternativa se enfoca en la capacidad que tienen las plantas, en especial las hojas de los árboles, en capturar partículas contaminantes.

**Figura 30:**

*Vegetación Urbana*



**Nota:** <https://www.condominiosverdes.com.br/es/un-viaducto-abandonado-en-corea-del-sur-se-transforma-en-parque-verde/>

En la vía E-35 sector Machachi se puede colocar más vegetación para cumplir con esta alternativa, como árboles, arbustos, flores nativas.

**Lugar de ejecución:** vía E35 – Machachi

**Responsables:**

- Municipio del cantón Mejía.
- Junta parroquial y juntas barriales de la zona

**Actividades Mitigantes 2:** Campaña de transformación de los patrones de movilidad

Los vehículos que transitan por la avenida E35-Machachi por lo general son: autobuses, automóviles, camiones, tráileres, entre otros. Pero se pueden disminuir estos gracias a él “carsharing” una alternativa para reducir la huella de carbono. Un país en escoger esta técnica de mitigación es Dubái, que redujo sus emisiones netas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un 19%,

considerando que estos países tienen el más alto nivel de contaminación por material particulado, su reducción es un ejemplo que se puede aplicar en la localidad y que pueden mitigar la contaminación

### **Figura 31:**

Carsharing



**Nota:** <https://www.lovesharing.com/que-es-el-carsharing-y-como-funciona/>

Para esto es necesario realizar una campaña de concientización para usar sea el transporte público o el recorrido de buses empresariales, además de usar el vehículo privado en su capacidad completa. Esta campaña se puede ejecutar por redes sociales donde también se pueda compartir datos de empresas destinadas a alquilar vehículos eléctricos y solo se paga el tiempo que usaste el vehículo, por lo que se debe fomentar estos emprendimientos.

**Lugar de ejecución:** Parroquia Machachi.

### **Responsables:**

- Gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Mejía.
- Junta parroquial del Machachi.
- Juntas barriales de la zona

**Actividades Mitigantes 3:** Establecer una vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanas.

**Estrategia:** Realizar mediciones periódicas del material particulado, estos resultados se deben de socializar con la comunidad y con las autoridades de la zona. Los monitoreos se pueden

realizar con estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi que pueden realizar estas prácticas preprofesionales y realizar los estudios técnicos como parte del perfil educativo y profesional por medio de convenios universitarios.

**Figura 32:**

*Mediciones periódicas de Material Particulado*



**Nota:** <https://www.transa.mambiental.com.co/programa-de-monitoreo-y-control-de-emisiones/>

Estas actividades se pueden aplicar en conjunto con la malla curricular de la universidad, además se puede establecer conversatorios con las autoridades locales .

**Lugar de ejecución:** Casa Barrial del sector Machachi

**Responsables:**

- Estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Carrera Ingeniería en Medio Ambiente).
- Junta parroquial del Machachi.
- Juntas barriales de la zona

**Actividades Mitigantes 4:** Mejorar el Control en la revisión matricular

**Estrategia:** La Agencia Nacional de Tránsito es responsable de matricular y revisar vehículos de forma anual, se debe tener un estricto control y supervisión por parte de estas autoridades para dar de baja y chatarrizar los carros que no cumplen con los estándares. Para esto es necesario tener buenas prácticas laborales y no caer en la corrupción pues estos vehículos contaminan el ambiente.

**Lugar de ejecución:** Oficinas de la Agencia Nacional de Tránsito

**Responsables:**

- Agentes encargados de la Revisión Técnica Vehicular (RTV)
- Municipio de Machachi

**Figura 33:**

*Control Vehicular*



**Nota:** <https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/centro-de-revision-vehicular-en-mejia-es-una-alternativa-para-carros-de-quito-CD3104712>

**Actividades Mitigantes 5:** Entrega de kits de mascarillas a la colectividad

Las autoridades de la parroquia pueden presupuestar la entrega de mascarillas para los moradores de zonas de alto impacto de contaminación. Se debe de usar mascarilla, sobre todo para mitigar síntomas de alergias causadas por polvo y contaminantes como PM 10, PM.2,5, así como los problemas de irritación de garganta ya que su uso permite disminuir estos síntomas. La mascarilla es ideal al prevenir contagios por contaminación; las mascarillas bien ajustadas, como las N95, ofrecer la mejor protección es importante que la lleves con regularidad y correctamente ajustada a la nariz, la boca y la barbilla.

**Lugar de ejecución:** Casa Barrial del sector Machachi

**Responsables:**

- Junta parroquial del Machachi.
- Juntas barriales de la zona
- Ministerio del Ambiente

## **11.- IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **11.1 Impactos técnicos**

El proyecto se convierte en un antecedente del uso de la metodología de interpolación geostatística. Se estableció un monitoreo de material particulado y se realizó un análisis de kriging e IDW en un software especializado como lo fue ArcGIS de esta forma establecer una proyección y predicción de los datos, además; se pudo identificar cuál es la interpolación más adecuada para estos datos.

### **11.2 Impactos sociales**

La contaminación ambiental es un problema de salud pública que debe ser analizado por diferentes autoridades como lo es el Ministerio de Salud pública, pero también desde la academia se debe de buscar un aporte no solo en sentido teórico, sino en cuanto a la investigación práctica. Y en la investigación se analizó que el material particulado PM 10 y PM.2,5 y sus índices de calidad de aire que no superan las normativas Ambientales 097-A vigentes. Estos controles permiten entender la situación actual de la calidad de aire del sector.

### **11.3 Impactos ambientales**

El estudio de metodologías para la medición de concentración de material particulada permite analizar resultados confiables que garanticen los modelos a ser aplicados. La interpolación de datos ofrece las ventajas al proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos; el Kriging proporciona un análisis más elaborado y con un fundamento estadístico, mientras que el IDW se perfila por la incorporación de parámetros con distancia ponderada. Por lo que estos estudios ayudan a conocer la situación actual no solo de la contaminación atmosférica, sino que son modelos que se pueden aplicar a la hidrografía y contaminación audiovisual.

## 12.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 12.1 Conclusiones

- Al evaluar los niveles de concentración de material particulado PM 10 Y PM 2,5 en puntos estratégicos en la parroquia Machachi del cantón Mejía a través de un plan de monitoreo para cuantificar el nivel de contaminación y la calidad de aire se establecieron los puntos óptimos de monitoreo al principio de la investigación se plantearon cuatro puntos de monitoreo que hacían referencia al área de estudio, para lograr una óptima interpolación y verificación de datos fue necesario incrementar un punto en otra zona de la investigación para correlacionar los datos, esto permitió usar geoestadística para el modelamiento de datos y realizar mapas de variabilidad espacial.
- El comportamiento de PM 10 a través del punto de validación; punto de monitoreo García Moreno y Rumiñahui (Este: 771448.51; Norte: 9943557.01), se contempló que el comportamiento diario del PM 10 disminuye al Este con un valor de 11,415498697-12,2694224 debido a que en el mismo sector existe menos asentamientos humanos, mayor actividad agrícola y ganadera por ende el tránsito vial es escaso. El comportamiento diario de PM 2,5 tiene un aumento entre 9,5711063-10,011339249 en el sector, por, al contrario, hacia el Oeste del punto de validación existe mayor población y afluencia de tránsito y las partículas de PM.2.5.
- La medición de PM 10 y PM.2,5 ayudó a determinar la cantidad  $\mu\text{gm}^3$  de material particulado en el monitoreo en la vía E35 – Machachi por medio del equipo especializado E-BAM., identificando que están dentro de los límites máximos permisibles según la Normativa 097-A. Los datos de concentración de material particulado PM 10 no sobrepasaron los  $100 \mu\text{gm}^3$  en un promedio de 24 horas, los resultados de los cuatro puntos son de  $14 \mu\text{gm}^3$ ,  $16 \mu\text{gm}^3$ ,  $11 \mu\text{gm}^3$  y  $10 \mu\text{gm}^3$ . Mientras que la Normativa 097-A para PM.2.5 establece que el límite de concentración en 24 horas no sobrepasó los  $50 \mu\text{gm}^3$  en 24 horas, los datos obtenidos fueron  $12 \mu\text{gm}^3$ ,  $13 \mu\text{gm}^3$ ,  $12 \mu\text{gm}^3$  y  $9 \mu\text{gm}^3$ . Lo que se encuentra en un nivel aceptable de calidad de aire.

## 12.2 Recomendaciones

- Al establecer los puntos de muestreo se recomienda a futuros investigadores verificar las zonas más transitadas en torno vehicular del sector para esto se puede hacer una fichade observación de registro vehicular, y conocer el tránsito de la vía y el tipo de vehículoque se transporta por un periodo de 24 horas, para obtener una mayor cantidad de material particulado, de esta forma se obtendrán datos fidedignos de contaminación en las zonas problemáticas.
- Se recomienda a los futuros investigadores que los modelos de interpolación kriging esférico y exponencial y IDW deberían ejecutarse en programas con georreferenciación UTM, puesto que las coordenadas de latitud y longitud no se puede establecer los puntos en el plano de ArcGIS por lo que se recomienda recolectar los puntos siempre en UTM, de esa forma usar métodos de predicción de estos programas. Para esto el registro se debe establecer el formato Exel para comparar los métodos y obtener el más optimo.
- La Junta parroquial, así como el ministerio del ambiente debe efectuar las actividades planteadas para la mitigación de contaminantes y prevención de enfermedades causadas por PM.2,5 y PM 10 además de verificar mantener una actualización del nivel de calidad ambiental (ECA) establecidos por la Normativa Ecuatoriana, para conservar un estado óptimo de calidad de aire.

### 13.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ARCGIS. (2023). *Información sobre el kriging ordinario*. Obtenido de Información sobre el kriging ordinario: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.1/help/analysis/geostatistical-analyst/understanding-ordinary-kriging.htm>
- ArcGISPro. (2023). *¿Qué son las geoestadísticas?* Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-geostatistics-.htm>
- Arcos, R. (2015). *Generación de un modelo espacial de dispersión de contaminantes y calidad del agua aplicando el modelo de kriging en la microcuenca de la quebrada Ortega - Cantón Quito*. Quito: Universidad Politecnica Salesiana .
- Beatriz, P. P. (2015). *Estadística y metodología de la investigación*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago.
- Calduch, R. (2020). *Métodos y técnicas de investigación en relaciones internacionales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Castillo, & Rodríguez. (2016). *Contaminación del ambiente con material particulado ocasionado por la circulación vial, y las medidas de mitigación que se pueden implementar para disminuir los impactos generados*. Bucaramanga: Fundación Universitaria del Area Andina.
- Cely, P., Siabato, V., Sánchez, I., & Rangel, S. (2022). *Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental*. Bogotá: Ciencia Investigación Academia Desarrollo.
- Chacón, L. (2021). *Evaluación de la calidad del aire en la localidad de Usme a partir de la inclusión de buses del SITP 100% eléctricos en el 2022 con respecto a los años 2020 y 2021*. Bogotá 2022: Universidad EAN.
- Contreras, O. L. (2016). *Predicción e interpolación dinámica de los niveles de contaminación atmosférica mediante datos de intensidad de tráfico y dirección del viento*. Universidad Politécnica de Valencia: Valencia.
- Cruz. (2020). *Formas, enfoques y tipos de Investigación*. Hidalgo: Universidad autónoma de Hidalgo.
- EPA en español. (2023). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM)*. Obtenido de US EPA: US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- EPA, U. (2023). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente |* . Obtenido de US EPA.: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Gabri, L. (2018). *¿Cómo funciona el semivariograma en la interpolación?*

- García, M. (2004). *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales*. España: Ecosistemas 13 (1): 78-86. .
- Gavilánez, W. (2019). *Propuesta para la evaluación de material particulado  $mp_{2.5}$   $\mu m$  y  $mp_{10}$   $\mu m$  generado por fuentes fijas y móviles en la avenida San Juan Bosco sector Fertisa sur de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Google Cloud. (2020). *¿Qué son las estadísticas predictivas y cómo funcionan?* Obtenido de Google Cloud: Google Cloud. <https://cloud.google.com/learn/what-is-predictive-analytics?hl=es-419#:~:text=Comenzar%20sin%20costo-,Definici%C3%B3n%20de%20estad%C3%ADsticas%20>
- Guerrero, d. L., Arellano, A., & Rocha, M. (2019). *Salud, ambiente y sustentabilidad. El futuro del Planeta Tierra en juego*. México: La Perla.
- IBM, I. B. (2023). *Análisis de datos exploratorio*. Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/exploratory-data-analysis>
- IDW (3D Analyst). (2024). Obtenido de ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/idw.htm>
- IDW (Spatial Analyst). (s.f.). Obtenido de ArcGIS Pro | Documentación.: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm>
- INEC. (2010). *Proyecciones y estudios demográficos*. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de Sistema Nacional de Información: <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>
- López, V. (2024). *La contaminación arroja a cuatro ciudades de Ecuador*. . Obtenido de [www.expreso.ec](http://www.expreso.ec): <https://www.expreso.ec/actualidad/contaminacion-arropa-4-ciudades-ecuador-184866.html>
- Madrigal, A. M. (2021). *UAPA*. Obtenido de Técnicas de investigación de campo. : [https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/0fec888-6a3f-4b31-b704-a2d94e3eed72/U000308176506/index.html#:~:text=dependiente%20\(exports\),Observaci%C3%B3n,p](https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/0fec888-6a3f-4b31-b704-a2d94e3eed72/U000308176506/index.html#:~:text=dependiente%20(exports),Observaci%C3%B3n,p)
- Martínez-Martínez, N. R.-D.-C.-N.-C. (2023). *ejercicioAhuacatl: aplicación móvil para determinar la distribución espacial de problemas fitosanitarios en aguacate*. México: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 14 número 3 01 de abril.
- Met One Instruments. (2024). *E-BAM PLUS Environmental Beta Attenuation Mass Monitor* - . Obtenido de Met One Instruments: . <https://metone.com/products/e-bam-plus/>
- Milo, A. (2023). *Qué es la atmósfera, de qué se compone y cuál es su función*. . Obtenido de National Geographic en Español.: <https://www.ngenespanol.com/el-espacio/que-es-la-atmosfera-de-que-se-compone-y-cual-es-su-funcion/>

- Ministerio Del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, reforma libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio Del Ambiente*. Ecuador: Gobierno Central de la Republica del Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma del libro VI del Texto Unificado De Legislación Secundaria Edición Especial N° 316 - Registro Oficial*. Ecuador.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Atmósfera y calidad del aire*. Obtenido de Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire.html#:~:text=La%20atm%C3%B3sfera%20es%20la%20capa,medio%20>
- OMG. (2019). *World Health Organization*. Obtenido de WHO. Contaminación atmosférica: [https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
- OMS. (2021). *Acceso/Comunicados de prensa/Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire © Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire ti*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Peláez, C. (2018). *Facultad de Ciencias, ed. Estructuras de datos con Java moderno*. . Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pesantes, K. (2023). *El aire contaminado de las ciudades está matando el cerebro*. . Obtenido de Primicias: <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/contaminacion-cambio-climatico-cerebro-depresion/>
- Prana. (29 de 12 de 2022). *¿Qué es el material particulado (PM)?* Obtenido de Aire Prana: <https://www.pranaair.com/es/what-is-particulate-matter-pm/>
- Ramírez, J., Sánchez, J. R., González, A., & de León, C. (2014). *Modelización y generación de mapas del comportamiento espacial de Sporisorium reilianum ((Kühn) Langdon y Fullerton) en Estado de México*. México: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 43, núm. 2, 2011, pp. 157-173.
- Retamoza, J., Bernal, E., Gómez, G., Espinoza, A. d., Valencia, J. G., Wilson, R. R., & M. I. (2022). *Calidad del Aire y Movilidad urbana*. Obtenido de [https://rpubs.com/Antonio\\_delPardo/902963](https://rpubs.com/Antonio_delPardo/902963)
- Reyes, C. H. (2017). *Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos so2 y pm10, emitidos por la refinería estatal de Esmeraldas en el año 2015*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Santamaría, M. S. (2014). *Notas sobre el manejo del software geoestadístico Variowin. Parte ii: modelado del variograma experimental*. Argentina: Departamento de Matemática; Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Stephen, B., Miranda, I., Hankgo, Quispe, C., Amanca, P., Ramos, S., . . . Tupayachi, L. (2018). “Evaluación de la Contaminación del Aire por Material Particulado PM2.5 en la ciudad del Cusco Respecto de los Índices de Calidad del Aire entre 2017 y 2018”. *Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)*.
- Tumy, H. (2019). *Geoestadística aplicada a los niveles de contaminación de suelos afectados por arsénico (AS) y mercurio (HG) en el poblado de Mollehuaca Arequipa*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Universidad Técnica de Cotopaxi. (2020). Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Usar la validación cruzada para evaluar los resultados de interpolación*. (s.f.). Obtenido de ArcGIS Pro | Documentación.: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm>
- Velasco, E. (2021). *La contaminación del aire disminuye en Quito durante los fines de semana de confinamiento total*. . Obtenido de El Comercio. : <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/contaminacion-aire-disminucion-quito-confinamiento.html>