



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS SO₂ Y PM₁₀, EMITIDOS POR LA REFINERÍA
ESTATAL DE ESMERALDAS EN EL AÑO 2015**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: CARLOS HUMBERTO REYES VERA

TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ

Riobamba – Ecuador

2017

© 2017 Carlos Humberto Reyes Vera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Proyecto Técnico: **MODELACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SO₂ Y PM₁₀, EMITIDOS POR LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS EN EL AÑO 2015**, de responsabilidad del señor Carlos Humberto Reyes Vera ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Juan Carlos González

.....

.....

DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Rafaela Viteri Uzcategui

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Carlos Humberto Reyes Vera, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 14 de agosto del 2017

.....
Carlos Humberto Reyes Vera
C.I. 080352453-7

Yo, Carlos Humberto Reyes Vera soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

CARLOS HUMBERTO REYES VERA

C.I. 080352453-7

DEDICATORIA

A los estudiantes que están involucrados en el área del ambiente, diciéndoles que tienen la responsabilidad de crear conciencia y cambiar corazones, porque ese es el principal objetivo, de esta manera tendremos una buena relación con el ambiente.

Carlos

AGRADECIMIENTO

A Dios, mis padres y mi esposa que siempre me apoyaron en todo momento.

A mis tutores que me supieron guiar y dar las pautas necesarias para realizar un buen trabajo.

Carlos

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Página
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2.- Justificación.....	3
1.3.- Objetivos de la investigación	4
<i>1.3.1.- Objetivo general:.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2.- Objetivos específicos:.....</i>	<i>4</i>
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Calidad del Aire	5
2.2. Contaminación del aire	6
2.2.1. Contaminantes Atmosféricos	6
<i>2.2.1.1. Contaminación con material particulado PM₁₀</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.2. Contaminación con SO₂.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2. Consecuencias de la contaminación atmosférica</i>	<i>9</i>
<i>2.2.3. Escalas de la contaminación atmosférica</i>	<i>10</i>

2.2.4. Marco legal para la calidad del aire	11
2.2.4.1. <i>Partículas sedimentables</i>	11
2.2.4.2. <i>Material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀)</i>	11
2.2.4.3. <i>Material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2.5})</i>	11
2.2.4.4. <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	12
2.2.4.5. <i>Monóxido de carbono (CO)</i>	12
2.2.4.6. <i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	12
2.2.5. Muestreo de la contaminación atmosférica	12
2.3. Industria petrolera	13
2.3.1. Refinerías	13
2.3.1.1. <i>Refinería Estatal de Esmeraldas</i>	13
2.4.1. Modelación Espacial	14
2.4.2.1. <i>Interpolación espacial para la dispersión de contaminantes</i>	15
2.4.2.2. <i>Técnicas de interpolación</i>	16
2.4.2.2.1. <i>Kriging</i>	16
2.4.2.2.1.1. <i>Kriging Ordinario</i>	18
2.4.2.2.2. <i>IDW</i>	18
 CAPÍTULO III	
3. METODOLOGÍA	20
3.1. Zona de estudio	20

3.1.1. <i>Ubicación geográfica de la refinería de esmeraldas</i>	20
3.1.2. <i>Lugar de la investigación</i>	21
3.1.3. <i>Materiales</i>	21
3.2. Tipo de investigación	21
3.2.1. <i>Esquema del proceso</i>	22
3.2.1.1. <i>Procedimientos</i>	23
3.2.1.1.1. <i>Elaboración de una base de datos</i>	23
3.2.1.1.2. <i>Análisis exploratorio de datos</i>	23
3.2.1.1.3. <i>Análisis geo estadístico de datos</i>	24
3.2.1.1.4. <i>Análisis estructural de los datos</i>	27
3.2.1.1.5. <i>Análisis estadístico de la variación de las distintas concentraciones de PM₁₀ y SO₂</i>	31
3.2.1.1.6. <i>Elaborar cartografía temática de las concentraciones de PM₁₀ y SO₂</i>	32
CAPÍTULO IV	33
4. RESULTADOS	33
4.1. Base de datos de las estaciones de muestreo para SO₂ y PM₁₀	33
4.2. Implementación del método de interpolación.	34
4.2.1. <i>Análisis de los datos</i>	34
4.2.1.1. <i>Diagrama de caja</i>	34
4.2.1.2. <i>Histograma</i>	35
4.2.1.3. <i>Error de predicción</i>	37

4.2.2. <i>Mapas temáticos de concentración y predicción</i>	38
4.2.2.1. <i>Enero</i>	38
4.2.2.2. <i>Febrero</i>	39
4.2.2.3. <i>Marzo</i>	41
4.2.2.4. <i>Abril</i>	42
4.2.2.5. <i>Mayo</i>	44
4.2.2.6. <i>Junio</i>	45
4.2.2.7. <i>Julio</i>	47
4.2.2.8. <i>Agosto</i>	48
4.2.2.9. <i>Septiembre</i>	50
4.2.2.10. <i>Octubre</i>	51
4.2.2.11. <i>Noviembre</i>	53
4.2.2.12. <i>Diciembre</i>	54
4.2.3. <i>Variación de la Concentración de SO₂</i>	56
4.2.4. <i>Variación de la concentración de PM₁₀</i>	59
4.2. DISCUSIÓN	63
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1-2. Variograma de dispersión	15
Figura 1-3. Proceso de obtención de mapas de dispersión para PM ₁₀ y SO ₂	22
Figura 2-3. Diagrama de caja para análisis exploratorio de datos	24
Figura 3-3. Histograma de datos.....	25
Figura 4-3. Histograma de datos con transformación logarítmica	26
Figura 5-3. Análisis de la tendencia de los datos de predicción	26
Figura 6-3. Configuración del método de interpolación.....	28
Figura 7-3. Configuración del modelo de interpolación Kriging	28
Figura 8-3. Determinación de anisotropía	29
Figura 9-3. Configuración final del modelo de interpolación	30
Figura 10-3. Vista preliminar del mapa de dispersión.....	30
Figura 11-3. Error promedio obtenido del modelo de interpolación	31
Figura 1-4. Diagrama de caja para SO ₂	34
Figura 2-4. Diagrama de caja para PM ₁₀	35
Figura 3-4. Histograma para la base de datos del mes de mayo.....	36
Figura 4-4. Promedio Mensual – Concentración de SO ₂	56
Figura 5-4. Valores máximos mensuales – SO ₂	57
Figura 6-4. Promedio anual por estaciones de monitoreo – SO ₂	58
Figura 7-4. Concentración máxima por estaciones de monitoreo – SO ₂	59

Figura 8-4. Promedio Mensual – Concentración de PM ₁₀	60
Figura 9-4. Concentraciones máximas y mínimos mensuales – PM ₁₀	60
Figura 10-4. Promedio anual por estaciones de monitoreo – PM ₁₀	61
Figura 11-4. Concentraciones máximas y mínimas por estaciones de monitoreo – SO ₂	62

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-3. Ubicación geográfica de la Refinería de Esmeraldas	21
Mapa 1-4. Distribución de las estaciones de monitoreo en el área de estudio.....	33
Mapa 2-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - enero	38
Mapa 3-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - enero	39
Mapa 4-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - febrero.....	40
Mapa 5-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - febrero.....	40
Mapa 6-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - marzo	41
Mapa 7-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - marzo	42
Mapa 8-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - abril.....	43
Mapa 9-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - abril.....	43
Mapa 10-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - mayo	44
Mapa 11-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - mayo	45
Mapa 12-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - junio	46
Mapa 13-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - junio	46
Mapa 14-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - julio.....	47
Mapa 15-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - julio.....	48
Mapa 16-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - agosto.....	49
Mapa 17-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - agosto.....	49
Mapa 18-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - septiembre.....	50
Mapa 19-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - septiembre.....	51

Mapa 20-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - octubre	52
Mapa 21-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - octubre	52
Mapa 22-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - noviembre	53
Mapa 23-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - noviembre	54
Mapa 24-4. Mapa de dispersión para SO ₂ - diciembre	55
Mapa 25-4. Mapa de dispersión para PM ₁₀ - diciembre	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Tipos de contaminantes atmosféricos.....	7
Tabla 1-3. Coordenadas de localización de las estaciones de muestreo.....	23
Tabla 1-4. Análisis de la tendencia de los datos a una distribución normal.....	36
Tabla 2-4. Resumen de los errores de predicción y confiabilidad para PM ₁₀ y SO ₂	37

RESUMEN

Se realizó la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos SO_2 y PM_{10} , emitidos por la Refinería de Esmeraldas en el año 2015. Para esto se realizó una base de datos en Excel de las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los contaminantes, en función a la distribución geográfica de estaciones de monitoreo ubicadas en el área de estudio, se aplicó un análisis exploratorio a los datos a partir de un diagrama de caja en el software Infostat, para determinar la correlación, variabilidad, y valores atípicos; depurada la información se implementó un análisis geoestadístico de los datos con la herramienta Geostatistical Analyst del software ArcMap 10.2.2 de ESRI, se evaluó si los datos poseen una distribución normal y la tendencia; finalizado el proceso se implementó el modelo de interpolación Kriging para predecir la dispersión de los contaminantes y el modelo IDW para plasmar áreas con menor o mayor concentración, el resultado obtenido son imágenes raster que representan la distribución de los contaminantes, cada pixel que conforma la imagen contiene las concentraciones que el modelo generó a partir de los datos base, se determinó que para el año 2015 las estaciones de monitoreo que sobrepasaron el límite máximo permisible de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} , fueron la estaciones Pararrayos $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Brisas del Mar Alto $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mirador Tercer Piso – $55.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Playa Hamacas $58.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$; para el SO_2 ninguna estación excedió la norma que es de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; las estaciones que sobrepasaron los límites se ubican en la zona urbana del cantón Esmeraldas, donde el mayor tráfico vehicular incidió en las altas concentraciones registradas, con lo que respecta a la Refinería ninguna de las estaciones a su alrededor sobrepasaron la norma, siendo este un indicativo del buen manejo ambiental que se da. Se recomienda ampliar la presente investigación con la implementación de otros métodos de predicción que permita realizar comparaciones estadísticas con los resultados aquí obtenidos.

Palabras clave: <INGENIERÍA AMBIENTAL> <MODELACIÓN> <DISPERSIÓN>
<CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS> <INTERPOLADOR (KRIGING)>
<INTERPOLADOR (INVERSE DISTANCE WEIGHTING)> <DIÓXIDO DE AZUFRE
(SO_2)> < MATERIAL PARTICULADO (PM_{10})>

SUMMARY

The dispersion modeling of atmospheric pollutants SO₂ and PM₁₀, emitted by the Esmeraldas refinery in the year 2015 was carried out. For this, a data base in Excel of the concentrations of ug/m³ of the pollutants was carried out, depending on the geographical distribution of the monitoring stations located in the study area, an exploratory analysis to the data from a box diagram in Infostat software was applied, to determine the correlation, variability and atypical values; debugged the information was implemented a geo-statistical analysis of the data with the tool Geostatistical Analyst Software ArcMap 10.2.2. of ESRI, it was assessed whether the data have a normal distribution and trend: after the process was implemented the kriging interpolation model to predict the dispersion of the pollutants and the IDW model to shape areas with lower or higher concentration, the result obtained are raster images representing the distribution of pollutants, each pixel that forms the image Contains the concentration that the model generated from base data, it was determined that from the year 2015 the monitoring stations exceeded the maximum permissible limit of 50 ug/m³, Mirador Tercer Piso – 55.92 ug/m³ and Playas Hamacas 58.33 ug/m³; for SO₂ no stations exceeded the standard which is 60 ug/m³; The stations that exceeded the limits are located in the urban area of Esmeraldas Canton, where the highest vehicular traffic affected the high concentrations registered, with respect to the Refinery none of the stations around it exceeded the norm, this being an indicative of the good environmental management that is given. It is recommended to extend the present investigation with the implementation of other methods of prediction that allow to make statistical comparisons with the result here obtained.

Key Words: <BIOTECHNOLOGY> <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>
<ATMOSPHERIC POLLUTANTS> <INTERPOLADOR (KRIGING)> <INTERPOLADOR (INVERSE DISTANCE WEIGHTING)> < PARTICLE MATTER> < SULFUR DIOXIDE>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de emisiones contaminantes que se emanan a la atmósfera son generadas por actividades antrópicas como el refinado de petróleo y afectan de manera desigual a los diferentes ecosistemas y grupos de la sociedad lo que ocasiona injusticias ambientales (Cañada et al., 2011). Todas las alteraciones en la calidad atmosférica pueden ocasionar daños y modificaciones significativas en los ecosistemas; afectar de manera diversa y cada vez con mayor intensidad la calidad de vida de los organismos vivos, en el caso de la salud humana la exposición a los contaminantes del aire se ha relacionado con el deterioro de la salud respiratoria (García et al., 2006).

En el Ecuador el sector energético, en especial los procesos de refinamiento del petróleo han aportado a la contaminación del aire con emisiones constantes de dióxido de azufre - SO_2 y de material particulado PM_{10} , este tipo de contaminantes tiene efectos significativos sobre la salud de las personas en especial en los centros urbanos (Londoño. et al., 2015). La Refinería de crudo pesado de Esmeraldas, ubicada en la provincia del mismo nombre, en sus inicios en el año de 1977 tenía una capacidad de producción de 5500 barriles de crudo diarios, luego de una repotenciación en el 2015 alcanzó los 90000 barriles/día, dicha repotenciación también abarcó una mejora en los sistemas de control para la disminución de los contaminantes que se generan en los procesos de refinamiento, según datos del Ministerio de Hidrocarburos en el año 2016 se obtuvo una refinación óptima con crudo de 28 API (American Petroleum Institute) y en bajo contenidos de azufre lo que en gran parte supone un ahorro para el país y la mejora en la producción de hidrocarburos. (Yc. et al., 2015)

Hoy en día se ha realizado una serie de trabajos investigativos que usan las capacidades de visualización y análisis espacial de los sistemas de información geográfica (SIG), para encarar problemas que van desde la interpolación espacial para la imputación de registros de concentración de contaminantes atmosféricos, hasta la representación de los patrones espaciales de los contaminantes del aire mediante funciones de análisis espacial (Londoño. et al., 2015). La importancia de las herramientas facilitadas por los SIG radica en que permiten describir la

continuidad espacial de las variables y estimar valores muy cercanos a los reales en puntos desconocidos (Sotter. et al., 2001). En este caso los SIG permiten una visualización tanto en 2D y 3D de las variables para obtener la tabulación de las capas y determinar las inequidades en la distribución de los contaminantes (Cañada et al., 2011).

Para el análisis de variación espacial y dispersión de contaminantes los interpoladores más empleados en el transcurso de los años han sido Kriging y el IDW (Inverse Distance Weighting) en el caso del Kriging se basa en cálculos estadísticos determinando su valor de ajuste para modelos de dispersión. Los dos modelos por lo general funcionan de manera similar, pero en el caso del IDW es más sencillo en su aplicación; según estudios los resultados obtenidos del análisis de dispersión aplicando Kriging resultan más confiables. (Villatoro. et al., 2008). Estos procesos se ven complementados por el análisis exploratorio de datos, herramientas que se utilizan previo al uso de los interpoladores, su objetivo es determinar el comportamiento de cada variable en estudio, permitiendo descubrir inconsistencias y determinar casos anómalos, que a la postre pueden generar errores significativos (Buzai. et al., 2009).

Con la presente investigación se pretende generar mapas interpretativos que permitan determinar cómo los contaminantes se han distribuido en el área que abarcan las estaciones de monitoreo, una vez generada esta información se podrá determinar las principales poblaciones y ecosistemas afectados.

1.2.- Justificación

Las afecciones generadas por los distintos contaminantes emitidos por la industria petrolera hacen imprescindible mantener un control continuo de cómo estos se distribuyen alrededor del foco de contaminación y si están afectando a la población aledaña, ya que como lo indica la Organización Mundial de la Salud (OMS) los contaminantes atmosféricos aún en concentraciones bajas son un problema serio para la salud; las herramientas que conforman los sistemas de información geográfica permiten modelar los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo ubicadas a su alrededor, mismas que registran la presencia de contaminantes en el aire generados por las chimeneas y generadores de la Refinería; tomando en cuenta que los principales contaminantes generados por los procesos de refinación son gases y partículas, se modeló el SO_2 y PM_{10} ; la modelación como herramienta de predicción nos permite determinar el comportamiento de los contaminantes, determinando los poblados y ecosistemas donde las concentraciones exceden los límites permitidos en tiempo y espacio

Entre las principales herramientas para la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos tenemos el modelo de interpolación Kriging Ordinario, herramienta asociada al software ArcGIS distribuido por ESRI, esta aplicación permite modelar contaminantes tanto primarios como secundarios arrojando resultados altamente confiables en especial para distancias bastante amplias, como la que existe entre las estaciones de monitoreo usadas para este estudio; de esta forma se determinó si existe contaminación en las áreas directa o indirectamente relacionadas con la Refinería, tomando en cuenta los límites máximos permitidos por la Legislación Ecuatoriana, generándose información actualizada que se transforma en una herramienta base de planificación; de esta forma los gobiernos de turno podrán tomar las acciones pertinentes, sean estas de tipo: político, económico, ambiental o social; como la generación de planes de contingencia, que en el corto plazo controlaran las emisiones contaminantes y a largo plazo permitirá la disminución de los niveles de contaminación atmosférica, garantizando una calidad de aire correcta, mejorando el nivel de vida de las personas.

1.3.- Objetivos de la investigación

1.3.1.- Objetivo general:

- Modelar la dispersión de contaminantes atmosféricos SO₂ y PM₁₀, emitidos por la Refinería Estatal de Esmeraldas en el año 2015.

1.3.2.- Objetivos específicos:

- Realizar un análisis exploratorio de los datos espaciales obtenidos de las estaciones de muestreo.
- Implementar el modelo de interpolación Kriging para la predicción de las concentraciones de PM₁₀ y SO₂
- Generar cartografía temática de las concentraciones de PM₁₀ y SO₂, relacionando su distribución espacial con las poblaciones aledañas a la refinería de esmeraldas.
- Elaborar un análisis estadístico de la variación de los contaminantes PM₁₀ y SO₂.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Calidad del Aire

Los indicadores que mejor reflejan la calidad de vida de la sociedad son los factores medioambientales, es así que el cuidado y protección del medio ambiente ocupa las principales preocupaciones de la ciudadanía. En los últimos años el interés social se ha focalizado más en el cambio climático que en la calidad del aire, sin embargo estudios realizados en las décadas pasadas y actuales han demostrado que incluso en niveles bajos de contaminación existe un efecto significativo en la mortalidad y morbilidad de los seres vivos (Querol, 2008).

La calidad del aire se ha ido deteriorando día a día, esto ha generado gran preocupación en autoridades tanto ambientales como de salud que, a pesar de los esfuerzos realizados, la contaminación atmosférica sigue en aumento, este debido en gran parte al crecimiento poblacional y por ende a la mayor demanda de energía, en especial la proveniente de residuos fósiles. Las medidas de mitigación implementadas hasta la actualidad se ven opacadas por el acelerado aumento poblacional e industrial (Gaitán. et al., 2007).

2.2. Contaminación del aire

Se denomina contaminación del aire a la concentración y acción de agentes nocivos, percibiendo sus efectos en el sistema respiratorio y visual, adicionalmente se produce daños sobre distintos tipos de materiales como: corrosión, deterioro, entre otros (O'ryan y Larraguibel, 2000).

Aunque en la actualidad no se cuenta con pruebas certeras, se considera que la contaminación del aire por parte del hombre inicio cuando inventó el fuego, comenzando a incrementarse con la formación de comunidades de dependencia agraria que paulatinamente y con el avance de la industria han ido incrementando la contaminación del medio ambiente sin darse cuenta si no hasta hace pocos años cuando el hombre ha comenzado a comprender el grado y la magnitud del problema y comenzó a implementar los avances tecnológicos en busca de soluciones (Michél et al., 2013).

La contaminación del aire se cuantifica a partir de la concentración en la atmosfera de cada uno de los diferentes contaminantes, tomando en cuenta la gran cantidad existente hoy en día en la atmosfera, se toman en cuenta a los que se puede establecer límites de concentración, sobre sus efectos en la salud humana, entre estos está el material particulado como PM₁₀ y gases como el dióxido de azufre (SO₂) (O'ryan y Larraguibel, 2000).

2.2.1. Contaminantes Atmosféricos

Según la OMS la contaminación atmosférica es la más importante entre las prioridades de la salud, según recientes estudios se ha demostrado que el 1,4% de la población muere a causa de este tipo de contaminación (Ballester, 2005). Son múltiples los contaminantes a los que la población está expuesta, los cuales no todos se originan directamente de una fuente de contaminación, por lo que se consideran dos tipos de contaminantes: Primarios y secundarios

- Primarios: producidos directamente por la actividad humana.
- Secundarios: producidos por reacciones químicas o condensación de vapores en la atmosfera (O'ryan y Larraguibel, 2000).

Entre las principales fuentes de contaminación del aire están:

- Fuentes naturales: Polvo (esporas, polen, bacterias)
- Fuentes agrícolas: Insecticidas y herbicidas
- Fuentes tecnológicas:
 - Procesos industriales
 - Consumo industrial y doméstico de fósiles
 - Vehículos de motor (Romero. et al., 2006).

También existen factores topográficos y meteorológicos que influyen directamente en la contaminación atmosférica:

- Topografía del terreno
- Edificaciones
- Lluvia
- Presión barométrica
- Espacio de difusión (área y altura en que se mueven los contaminantes (Romero et al., 2006).

Cada contaminante tiene sus propios efectos sobre la salud humana y el medio ambiente, en la Tabla 1, se muestran los principales contaminantes y su fuente de emisión:

Tabla 1-2. Tipos de contaminantes atmosféricos

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ Humos negros	Primaria y secundaria	Sólido y líquido	Vehículos, Procesos industriales
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Tabaco, Procesos industriales, Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, Estufas y cocinas, vehículos
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos, Combustiones en interiores
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, industria, tabaco, combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido	Vehículos, industria

Fuente: Ballester, 2005

2.2.1.1. Contaminación con material particulado PM₁₀

El termino PM se refiere a partículas suspendidas en estado sólido o líquido en un amplio rango de diámetros, su origen primario es por depósito directo al medio ambiente, por parte de la fuente emisora y la secundaria por la combinación de óxidos de azufre, nitrógeno y COVs (Pilinis y Seinfeld, 1987). La denominación de PM₁₀ se refiere a partículas cuyo diámetro es inferior a 10 µm, las partículas de mayor interés en casos epidemiológicos son las ya antes mencionadas esto porque su tamaño resulta fácilmente respirable ingresando a los pulmones y pudiendo acumularse en el sistema respiratorio (Gillies et al., 1999).

Entre los principales emisores antropogénicos se encuentran los procesos industriales y de combustión, transporte vehicular, aditivos de los combustibles como la gasolina y petróleo y los diferentes aceites de combustión interna (Suárez y Pérez, 2006). La caracterización del material particulado resulta una compleja composición de compuestos de tipo orgánico e inorgánico en las que se distinguen varios criterios de formación: Fracción insoluble, Sulfatos y Fracción soluble (Suárez y Pérez, 2006).

2.2.1.2. Contaminación con SO₂

Conocido como dióxido de azufre; generalmente se produce por la combustión de combustibles fósiles principalmente el carbón y el petróleo, procesos llevados a cabo en motores, procesos industriales y plantas generadoras de energía (Gil. et al., 1997). Este es un gas altamente tóxico e incoloro de olor fuerte, su evolución varía dependiendo de las condiciones en sus fuentes de emisión y también de factores como la temperatura, humedad, intensidad de la luz y la atmosfera. Entre los efectos más importantes de la contaminación por SO₂; es la formación de lluvias acidas que resulta de su reacción con el agua y el oxígeno atmosférico (Jiménez y Quilver, 2012).

Sus efectos sobre la naturaleza y el ser humano ocasionan problemas en las vías respiratorias, gastrointestinales, mutaciones en microorganismos, necrosis en las plantas, entre otros; el efecto más notable e inmediato es observable en las áreas urbanas y bosques donde se presenta un alto

nivel de polución esto a causa de la lluvia acida, misma que se puede precipitar a grandes distancias del foco de emisión (Álvarez, 1998).

2.2.2. Consecuencias de la contaminación atmosférica

Diversos estudios realizados en diferentes países sugieren que la presencia de agentes químicos en el aire tiene un papel fundamental en la incidencia de enfermedades en general respiratorias y varios tipos de cáncer. Teniendo en cuenta que el aire es una composición de varios elementos y en muchas ocasiones la exposición es por prolongados tiempos sus efectos son variados. Los principales efectos se clasifican en: efectos agudos, efectos crónicos, efectos diferidos y efectos psíquicos (Ballester, et al., 1999).

En el caso de del dióxido de azufre (SO₂) en la salud humana al estar bajo fuertes concentraciones produce bronco-constricción en los primeros minutos, irritación ocular, hiperactividad branquial, secreción lagrimal, dificultad visual. La contaminación por SO₂ se asocia a la contaminación por partículas por lo que sus efectos se estudian de manera conjunta (Ballester, et al., 1999).

Por lo general los primeros efectos notables por la contaminación de partículas (PM₁₀) son de tipo estético sin tener efectos nocivos en la salud y bienestar, según se vaya incrementando la concentración se presentarán daños en la vegetación, deterioro de materiales. También los efectos dependen de la altitud, a menor altitud menos flujo solar y mayor contribución al efecto invernadero; a mayor altitud, barrera solar preponderante y enfriamiento de la baja atmosfera. Sin embargo, las partículas son las que mayor atención acaparan en la actualidad por sus efectos nocivos sobre la salud, principalmente sobre el sistema respiratorio. Los contaminantes ingresan por vía respiratoria pudiendo causar la aparición de enfermedades a corto y largo plazo como: irritación de los ojos y vías respiratorias, infecciones, congestión nasal, sinusitis, alergias, bronquitis, neumonía, asma, dolencias cardiovasculares y hasta cáncer o muertes prematuras (Aldunate, et al., 2006).

Otras consecuencias de la contaminación atmosférica:

- Daños a la economía

- Daños a la vegetación: alteraciones foliares, destrucción de las flores, alteraciones foliares, entre otros.
- Medio ambiente: reducción de la visibilidad, efecto invernadero, lluvia acida, afectación a la capa de ozono.
- Animales: muerte, efectos genéticos, fluorosis, entre otros.
- Efectos fisiológicos y psicológicos en el ser humano (Romero, et al., 2006).

Medidas a tomarse en cuenta para la prevención y control de la contaminación atmosférica:

- Medidas legislativas: normas de calidad el aire
- Planificación urbana y regional
- Reducción en la generación de contaminantes
- Control de fuentes de contaminación:
- Control de emisión de partículas
- Control de emisiones gaseosas

2.2.3. Escalas de la contaminación atmosférica

La contaminación del aire ocurre a diferentes escalas de las cuales se considera cinco principales: local, urbana, regional, continental y global

- Local: abarca desde la superficie terrestre hasta una altura de 5 m, los problemas se pueden generar por uno o varios emisores pequeños.
- Urbana: alcanza una altura de 50 m, presenta dos tipos de problemas; presencia de contaminantes primarios y formación de contaminantes secundarios.
- Regional: desde los 50 m hasta los 500 m, presenta tres tipos de problemas.

2.2.4. Marco legal para la calidad del aire

De acuerdo al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Calidad del Aire Ambiente o nivel de inmisión, se establecen los límites permisibles de los contaminantes criterios y contaminantes no convencionales del aire ambiente.

2.2.4.1. Partículas sedimentables

La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$).

2.2.4.2. Material particulado menor a 10 micrones (PM_{10})

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 ($50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

2.2.4.3. Material particulado menor a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$)

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 ($15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.2.4.4. Dióxido de azufre (SO_2)

El promedio aritmético de la concentración de SO_2 de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.2.4.5. Monóxido de carbono (CO)

La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año.

La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico ($30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año.

2.2.4.6. Dióxido de nitrógeno NO_2

El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.2.5. Muestreo de la contaminación atmosférica

Los objetivos principales del muestreo y análisis de la contaminación atmosférica es determinar el grado de contaminación y su relación con los riesgos de salud y medio ambiente también, establecer la contribución de las diversas fuentes contaminantes a fin de tomar medidas de prevención y control (Romero, et al., 2006).

En la actualidad existen gran cantidad de agencias e instituciones que se encargan del cuidado y protección del medio ambiente, pendientes que se apliquen los requerimientos, normas y estándares de la calidad del aire. La actividad industrial activada por la industrialización el consumismo y la producción sin control, uso de combustibles fósiles son los factores principales a tomarse en cuenta en las evaluaciones tanto en el medio ambiente como en la población urbana y rural más en países en vías de desarrollo y subdesarrollados (Romero, et al., 2006).

2.3. Industria petrolera

Los modelos económicos implementados en el mundo a pesar de que han permitido grandes avances en el desarrollo de la población, han ocasionado la degradación del medio ambiente, esto poco a poco ha amenazado la estabilidad y sostenibilidad de la humanidad. La industria petrolera dentro de sus diferentes procesos genera consecuencias directas sobre el ambiente sobre todo las ocasionadas por las emisiones atmosféricas, los efluentes líquidos y los desechos sólidos peligrosos, razón por la que en los últimos años la industria petrolera y los gobiernos han buscado disminuir los impactos sobre el ambiente; comunidades y personas están tomando medidas y acciones de control sobre estos temas delicados en conjunto con los gobiernos y empresas involucradas. Entre las principales acciones están los sistemas de gestión ambiental que son vías para identificar y manejar sistémicamente aspectos e impactos ambientales (Mozur, 2003).

2.3.1. Refinerías

La industria de refinado del petróleo ha experimentado una expansión y un cambio notorio desde 1950; aumentos tanto en infraestructura y tamaño de las unidades de proceso, nuevas fuentes de petróleo, productos demandados por la industrialización y otros han hecho de la tecnología y economía del petróleo una ciencia muy completa y compleja. Cada refinería posee su propio y único sistema de proceso, el cual se define por el tipo de equipo disponible, costos de operación y demanda del producto. El modelo óptimo de flujo de una refinería viene dictaminado por sus consideraciones económicas y no hay dos refinerías que sean idénticas en sus operaciones (Gary y Handwerk, 1980).

2.3.1.1. Refinería Estatal de Esmeraldas

Esta refinería inicio sus operaciones en 1978, diseñada para procesar crudo de 28° API (liviano) a 55600 barriles diarios, ampliándose su capacidad cada cierto tiempo. En la actualidad la refinería está equipada con equipos electrónicos con tecnología de punta. Entre las principales áreas tenemos:

- Área de generación de vapor y eléctrica: purifica el agua para consumo humano y genera vapor para la generación de energía eléctrica
- Área de crudos: almacenado, calentamiento e inicio del refinado
- Área de Cracking catalítico: donde se produce la gasolina de alto octanaje, hidrógeno y LPG (Benítez, 2005).

El funcionamiento de la Refinería Estatal Esmeraldas es muy rentable para el país, permitiendo abaratar costos en la obtención de productos derivados del petróleo. Por esta misma razón el estado tiene la obligación de generar y apoyar proyectos en busca de reducir y sanear la contaminación atmosférica generada por esta actividad (Benítez, 2005).

2.4. Geo estadística

Comprende un conjunto de herramientas y técnicas que se emplean para analizar y predecir valores de variables que se distribuyen en el espacio o en el tiempo de manera continua. Debido a que esta aplicación está orientada a los Sistemas de Información Geográfica también se la considera como estadística relacionada a datos geográficos o también llamada estadística espacial. Este tipo de estudio contempla tres etapas:

- Análisis exploratorio: estudio de datos muestrales eliminándose los erróneos e identificación de las distribuciones
- Análisis estructural: estudia la continuidad espacial de la variable ajustándose a un variograma teórico.
- Predicciones: considerando la estructura espacial correlacionada e información muestral se realiza estimaciones de la variable en los puntos muestrales (García, 2004).

2.4.1. Modelación Espacial

Se toma en cuenta las variables x y z del plano cartesiano. Sea $Z(x)$ el valor de la variable en un punto x y $Z(x+h)$ el valor de la misma variable en un punto distante del anterior (h). Generalmente son muchos los puntos muestrales que distan de h entre sí. La forma de mostrar las semejanzas o diferencias entre los valores es mediante gráficas en las que se representen los valores de $Z(x)$ frente a $Z(x+h)$ al que se denomina gráfico de dispersión. Si los valores son semejantes la nube de puntos se concentrará cerca la bisectriz del primer cuadrante (García, 2004).

Sin embargo el uso de gráficos de dispersión - h es poco práctico, ya que se necesitarán muchos datos para considerar todas las posibles distancias y dispersiones espaciales. Por lo que es

necesario una herramienta que sea capaz de expresar esa información de una forma más resumida: este variograma a partir de los datos disponibles se estima como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad 1.1$$

En donde: $Z(x_i)$ valores muestrales en x_i , en la práctica se define un número finito de distancias, h_j , y se asignan al cálculo al cálculo de $g(h_j)$ todos los valores pares contenidos en el intervalo $(h_j - D h_j, h_j + D h_j)$. Obteniéndose el variograma experimental o empírico, esta es una función monótona creciente donde le valor límite se conoce como meseta que equivale a la varianza muestral. El variograma representa la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia (Figura 1-1). La dependencia espacial disminuye a medida que se incrementa la distancia, h , y finaliza a una cierta distancia. La tasa media de cambio es independiente de la separación entre las observaciones (García, 2004).

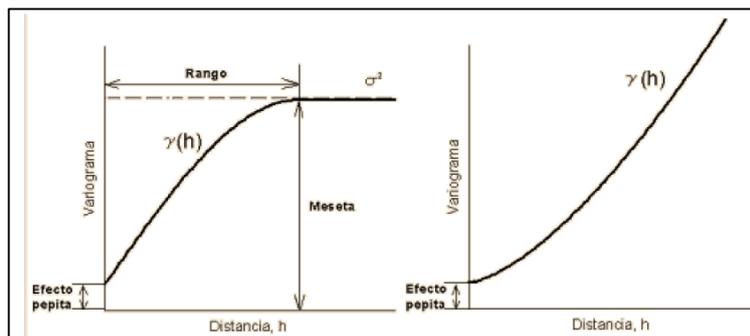


Figura 1-2. Variograma de dispersión

Fuente: García, (2004)

2.4.2.1. Interpolación espacial para la dispersión de contaminantes

Es un proceso que permite modelar variables espaciales, predecir su comportamiento, determinar radios de influencia y tiempos de duración de un fenómeno. Es una herramienta para la toma de decisiones frente a procesos que son afectados por el comportamiento de ciertas variables y obtener información del presente y futuro.

La interpolación espacial es el procedimiento que se utiliza para estimar valores de una o más variables o donde no existe información a partir de puntos en la misma área o región. En caso de mediciones o estimaciones fuera del área de las mediciones realizadas se denomina extrapolación. Este tipo de interpolación presenta dos metodologías para realizar el análisis de datos: a) Interpolación geo estadística b) Interpolación simple. La interpolación simple se basa en un

principio dado, en donde la razón de cambio es constante y como mínimo los dos valores deben ser conocidos para conocer el error de estimación. El método geo estadístico se basa en supuestos de estacionalidad en la variable, hipótesis intrínseca y distribución de probabilidad de datos. En este caso la variable modelada se comporte como una distribución normal el método será más exacto, la eficacia de este método depende de la uniformidad del área de estudio (Sotter et al., 2001).

En si el método geo estadístico es superior a la interpolación simple siempre que haya una muestra representativa y óptima calidad de la representación. En muchas ocasiones es necesario realizar la predicción por fuera de los puntos de muestreo o fuera del tiempo de toma de datos es necesario complementar el análisis con una extrapolación, suponiendo que el fenómeno tiene el mismo comportamiento que los datos cercanos a los puntos a estimar (Sotter et al., 2001).

2.4.2.2. Técnicas de interpolación

En este estudio se emplean varias técnicas de interpolación. Cada método tiene su explicación matemática que son detalladas en las ecuaciones y explicaciones teóricas que se expondrán a continuación.

2.4.2.2.1. Kriging

Este método se ha utilizado en varias áreas como la minería, hidrología, geología del petróleo, física de suelos y en estudios agroecológicos, también puede ser usado para predecir ciertos fenómenos en una región completa. Como herramienta de interpolación se puede aplicar a cualquier tipo de datos (Aguilar, 2005). Su nombre se debe a su creador el ingeniero en minas surafricano D.G. Krige. Hasta la actualidad todos los interpoladores geo estadístico están dentro del grupo de los Kriging con sus variantes respectivas las cuales ofrecen predicciones, mapas de probabilidades y cuantiles (Villatoro, et al., 2008).

El estimador por excelencia de la Geo estadística es Kriging, esta aplicación permite minimizar la varianza del error de predicción, puesto que se emplea en su estimación las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado. A través de un análisis estructural utilizando variogramas se puede realizar la estimación de la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable. Los variogramas son estimadores de la varianza poblacional relacionados con la dirección y la distancia e indican la variación de las dependencias espaciales entre un punto a una determinada distancia sin importar su distancia (Sotter et al., 2001).

Este método consiste en obtener los mejores estimadores lineales e insesgados con una varianza mínima, por lo que no solo se conoce la variable bajo estudio si no también el error de estimación de la misma lo que ayuda a la interpretación de los resultados y determinación de zonas de alta varianza para lo cual se necesita mayor número de muestras (Aguilar, 2005).

El sistema de ecuaciones Kriging para su facilidad emplea la función de semivarianza que da como resultado un serviograma. Para que este pueda estimar la varianza los datos deben tener cierta regularidad en su distribución (Sotter et al., 2001). Una vez establecido el modelo del serviograma se aplica un modelo de interpolación geo estadística, en este caso Kriging, su objetivo es estimar el valor de la variable de “Z” en un punto “X”. La ecuación básica de Kriging es:

$$\hat{Z}(x_0) = w_1 Z(x_1) + w_2 Z(x_2) + \dots + w_n Z(x_n)$$

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i * Z(x_i) \quad 1.2$$

El método del Krigeado es muy superior a los tradicionales por las siguientes razones:

- Considera la distancia como la geometría de la localización de las muestras
- Minimiza la varianza del error esperado
- Muestra flexibilidad para interpolar, permitiendo estimar modelos en bloques o puntuales

La mayoría de ocasiones los fenómenos naturales son multivariantes, por lo que la toma de muestras de la variable resulta más difícil. El método de interpolación geo estadístico conocido como cokrigeado permite considerar información secundaria. Este tipo es solo una variación del Kriging, se estima en un punto mediante una combinación lineal de los datos obtenidos en diferentes lugares para las variables principal y secundaria (García, 2004).

La estimación de Kriging 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. Este método de interpolación proporciona un análisis más elaborado y fundamentado estadísticamente por lo que resulta ser el preferido cuando la intensidad de muestreo es mayor (Villatoro et al., 2008).

2.4.2.2.1.1. Kriging Ordinario

Es el mejor estimador lineal insesgado pues sus estimadores son combinaciones lineales ponderadas de los datos disponibles. Se dice insesgado porque tiene una media residual igual a cero. También minimiza la varianza de los errores. Se emplea la siguiente formula (González y Garnica, 2005).

$$\hat{\rho}_{OK}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \rho(x_i) \quad \mathbf{1.3}$$

Dónde: $\hat{\rho}_{OK}(x_0)$ es la estimación del OK en la ubicación x_0 ; λ_i es el peso para el punto de muestreo i en la ubicación x_i ; $\rho(x_i)$ es el valor de la variable p , para un punto muestreado i en la ubicación x_i ; n es el número de puntos muestreados. El proceso empieza con los datos de la muestra los cuales se emplean para calcular el variograma empírico. Luego se ajusta un modelo al variograma empírico cuyos valores de rango, asíntota y efecto se usan para calcular la covarianza definida por los puntos observados entre si respecto al punto a estimar, esta covarianza ayuda en la ponderación de la agrupación de los puntos observados lo que adiciona a la ponderación basada en el criterio de distancia inversa (González y Garnica, 2005).

2.4.2.2.2. IDW

IDW por sus siglas en inglés (Inverse Distance Weighting) es un modelo de interpolación matemática. (Henríquez, Killorn, Bertsh, & Sancho, 2005). El método IDW es similar al Kriging ordinario, da más peso a los valores cercanos a un punto y posee menos complejidad del cálculo. Este método de interpolación utiliza un algoritmo simple basado en distancias. Varios autores han comparado el interpolador Kriging con el IDW en condiciones no tropicales, en este caso ambos modelos asumen predicciones con una combinación lineal de los datos como muestra la ecuación (Villatoro et al., 2008).

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i) \quad i=1, \dots, n \quad \mathbf{1.4}$$

En donde: $\hat{z}(s_0)$ valor estimado en el punto de interpolación s_0 ; n número de observaciones usadas para la estimación. λ_i peso al valor observado. $z(s_i)$ cercanías del valor. Este último parámetro hace la diferencia entre IDW y Kriging. En la estimación de la interpolación los pesos o las relevancias de los valores son determinados para asegurar que el error promedio para el

modelo sea cero y la varianza del error sea minimizada. Lo que ofrece que la predicción no sea sesgada, pese a ello este método requiere de supuestos estadísticos muy fuertes como hipótesis intrínseca estacional, cosa que raramente se observa en la naturaleza. IDW calcula el peso de los valores de acuerdo a la relación inversa de la distancia con la siguiente ecuación (Villatoro et al., 2008).

$$\lambda_i = \frac{[d(s_i, s_o)]^{-p}}{\sum_{i=1}^n [d(s_i, s_o)]^{-p}} \quad i=1, \dots, n \quad \mathbf{1.5}$$

Dónde: p parámetro del exponente que controla que tan rápido los pesos de los puntos tienden a cero, entre mayor sea este valor mayor será el peso de los puntos más cercanos y como resultado se obtiene superficies más continuas o suaves y las predicciones tienden al promedio de la muestra. La exactitud del IDW aumenta conforme p aumenta en el uso de los datos con coeficientes de variación menores al 25% (Villatoro et al., 2008).

En si el método IDW es más rápido en los cálculos, pero tiende a producir patrones poco reales conocidos como “ojo de buey” alrededor de los puntos de muestreo. Se dice que a pesar del uso correcto de los valores y del número de valores vecinos cercanos puede mejorar la interpolación, estos no pueden ser obtenidos con base a las propiedades estadísticas de los datos (Kravchenko, 2003).

Se recomienda IDW para bases de datos pequeños en donde los parámetros del variograma no son conocidos o también cuando la distancia de muestreo es muy grande e incluso para cuando la distancia de muestreo es mayor al rango de correlación espacial. Es importante mencionar que la precisión de las estimaciones es influenciada por la varianza aleatoria, la estructura de variación y la intensidad de muestreo (Lozano et al., 2004).

CAPÍTULO III

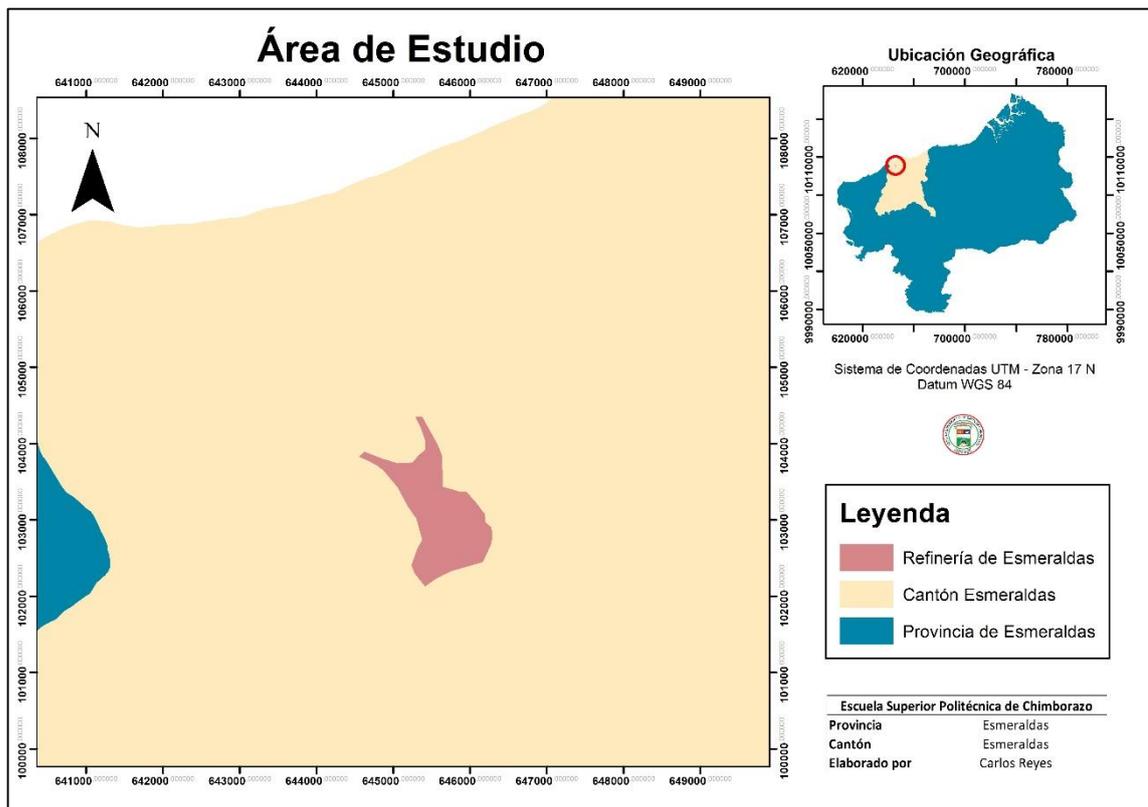
3. METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en la provincia de Esmeraldas, cantón Esmeraldas; corresponde al área que abarca las estaciones de monitoreo, de donde se obtuvo los datos de concentración de los contaminantes.

3.1.1. Ubicación geográfica de la refinería de esmeraldas

Coordenadas Proyectadas: Datum WGS 84 - Zona 17N		
x= 645589	y= 103083	Altitud= 31 msnm



Mapa 1-3. Ubicación geográfica de la Refinería de Esmeraldas

3.1.2. Lugar de la investigación

La investigación se desarrolló en la ciudad de Riobamba, la implementación de los modelos de interpolación se realizó en el laboratorio de computo de la facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.1.3. Materiales

Computador, software ArcGis 10.2.2 el cual contiene programas y comandos para generar mapas y análisis estadísticos, Informes de monitoreo de la Refinería de Esmeraldas, información cartográfica en formato Shapefile y CAD de la provincia de Esmeraldas y libreta de apuntes.

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo teórico – práctica, ya que primero se investigó los procedimientos a seguir para el análisis de los datos y elaboración de los mapas de dispersión, identificando la metodología que mejor se ajuste a nuestras necesidades, para su implementación en el software ArcGis.

3.2.1. Esquema del proceso

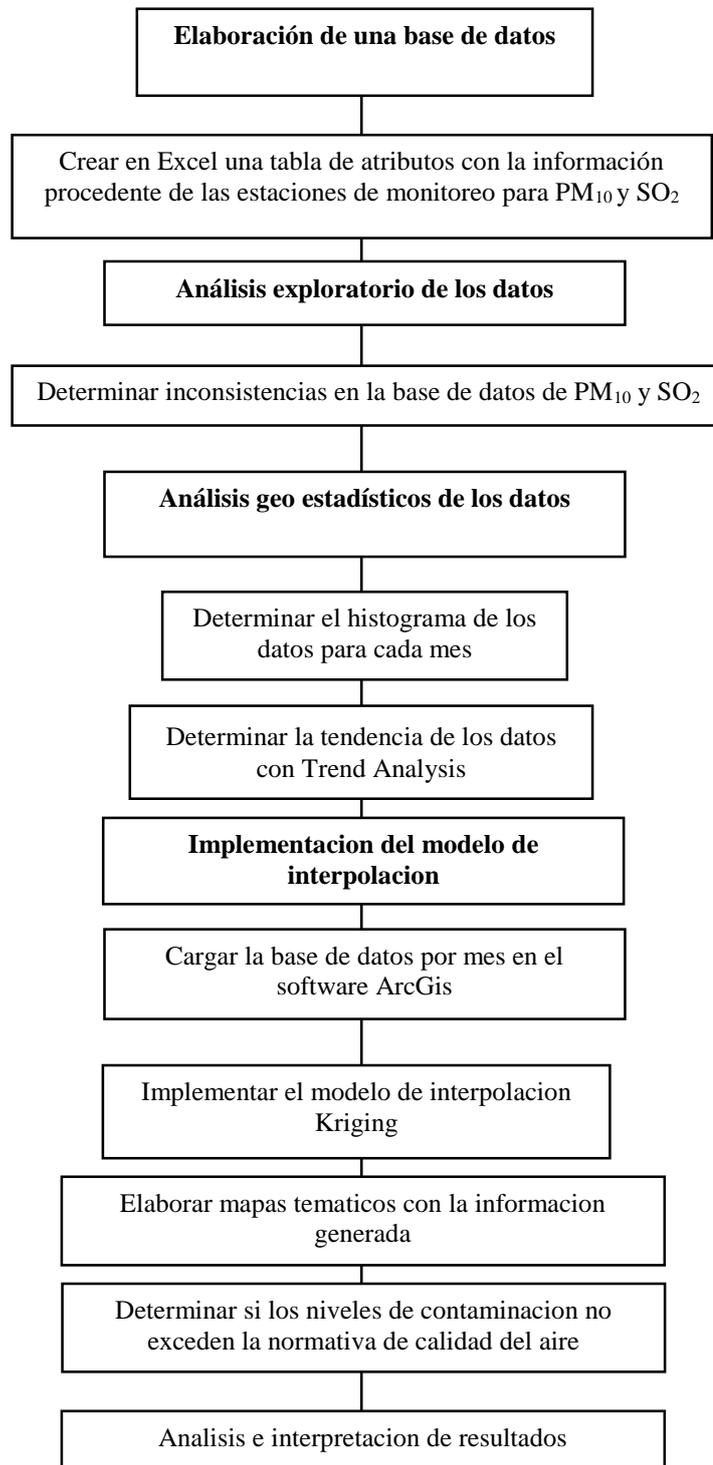


Figura 1-3. Proceso de obtención de mapas de dispersión para PM₁₀ y SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

3.2.1.1. Procedimientos

3.2.1.1.1. Elaboración de una base de datos

A partir de la información que se obtuvo del informe de MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA REFINERÍA ESMERALDAS realizado por EP Petroecuador en el 2015, se elaboró una base de datos en Microsoft Excel con las concentraciones de PM₁₀ y SO₂ registradas durante el periodo de enero a diciembre. La información presente en el informe mencionado se adquirió a partir de 20 estaciones de muestreo, ubicadas en la zona de influencia de la Refinería de Esmeraldas (Tabla 1-3).

Tabla 1-3. Coordenadas de localización de las estaciones de muestreo

Id	x	y	Descripción
1	645727	106288	Tanque 10 - TMB
2	645213	105067	Tanque 1 - TMB
3	647122	108468	TMB Campamento
4	647255	108240	TEPRE
5	649646	109814	Playa Hamacas
6	649225	109196	Sector Mirador Tercer Piso
7	649022	108577	Sector Brisas del Mar Alto
8	648517	106779	Sector Pararrayos
9	652314	106230	Sector Malecón de Tachina
10	651713	102356	Vía San Mateo
11	653440	98869	Universidad Luis Vargas Torres
12	648127	101377	Villas Petroecuador
13	649322	103071	Tenis Club
14	647071	103119	Barrio de Florida
15	647715	102356	Barrio de Victoria
16	647123	101317	Barrio Tolita 2
17	645580	99483	Urbanización Tierra Verde
18	644288	99032	Parroquia Vuelta Larga
19	643828	99742	Barrio Cananga
20	648768	104606	Cerro Gatazo

Fuente: Petroecuador

3.2.1.1.2. Análisis exploratorio de datos

Por mes se evaluó la distribución de los datos de las concentraciones de PM₁₀ y SO₂, determinando la correlación, variabilidad, tendencias y valores atípicos, que en el caso de ser detectados se definió su causa y se decidió si deben ser incluidos o no dentro de la muestra, para esto los datos seleccionados se presentaron en diagramas de caja, esta representación gráfica univariante entregó

una visión de la simetría de distribución de los datos, al mismo tiempo permite la identificación de datos atípicos y suministra información acerca de la dispersión con respecto a la mediana, la media, valores máximos y mínimos.

El diagrama de caja se encuentra conformado por los siguientes elementos: un rectángulo o caja que representa la varianza, los brazos o bigotes representan los valores máximo y mínimo de la muestra, los puntos son valores atípicos y la línea indica la mediana, cuando la línea se encuentra en el centro de la caja significa que la media y la mediana son muy cercanas, indicando una distribución normal (Siabato y Yudego, 2004) (Figura 2-3).

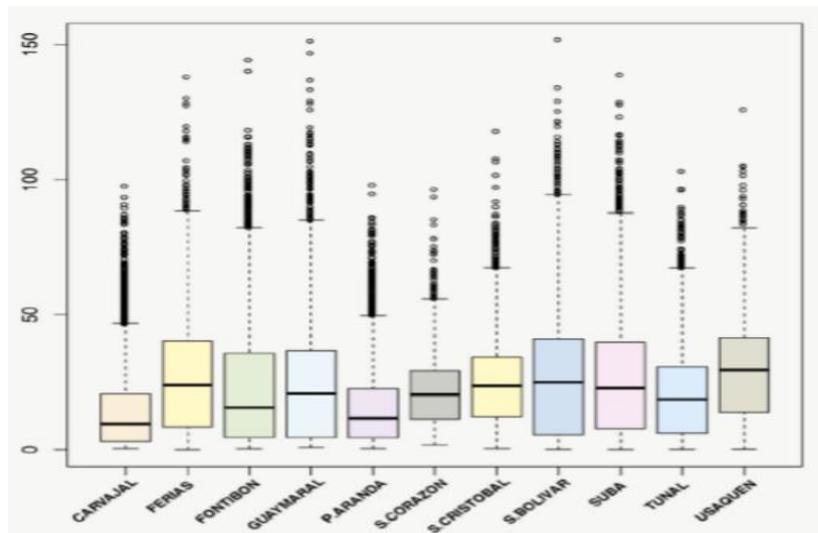


Figura 2-3. Diagrama de caja para análisis exploratorio de datos

Fuente: Buzai (2009)

3.2.1.1.3. Análisis geo estadístico de datos

Se realizó con las herramientas de análisis de ArcGis; se creó un shape de puntos en ArcMap con las concentraciones de PM_{10} y SO_2 para cada mes, a la información generada se aplicó el siguiente procedimiento: clic en Geostatistical Analyst/ Explore Data/Histogram, el programa generó la siguiente información (Figura 3-3).



Figura 3-3. Histograma de datos

Fuente: Buzai (2009)

- **Transformation:** Permitted applying a logarithmic transformation to the information in case it does not follow a normal distribution.
- **Layer:** The shape of points was loaded for its analysis, in the case of having expanded Shapefile extras.
- **Attribute:** The column within the shape that contains the information to be analyzed is selected.

The values to be analyzed were configured and immediately the graph changed and recalculated the values of the statistical parameters, it was verified if the calculated values tend to a normal distribution, if not, a logarithmic transformation of the data was performed for which in the option transformation, the Log option was selected (Figure 4-3).

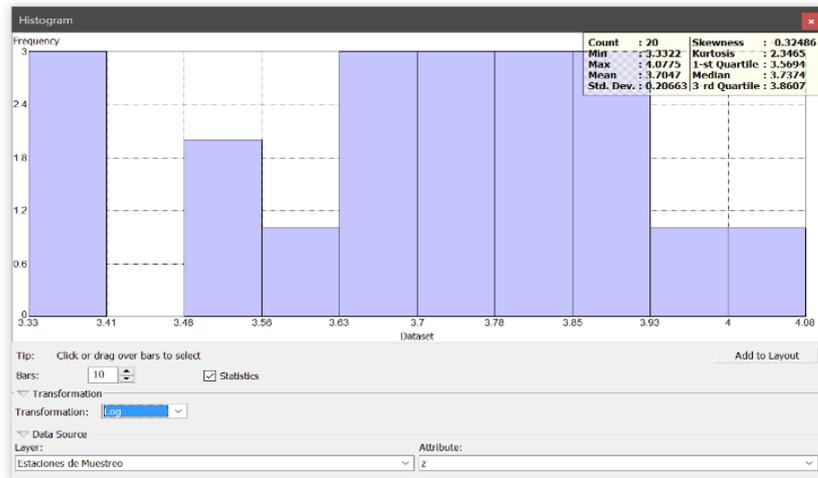


Figura 4-3. Histograma de datos con transformación logarítmica

Fuente: Buzai (2009)

Finalmente se usó la herramienta **Trend Analysis**, esta permitió ver la tendencia que tienen los datos, en el caso de seguir una línea recta la tendencia es lineal, si se expusiera una curva con una concavidad es cuadrática de segundo orden, y si se observara una línea con más de una concavidad, es de tercer orden (Figura 5-3).

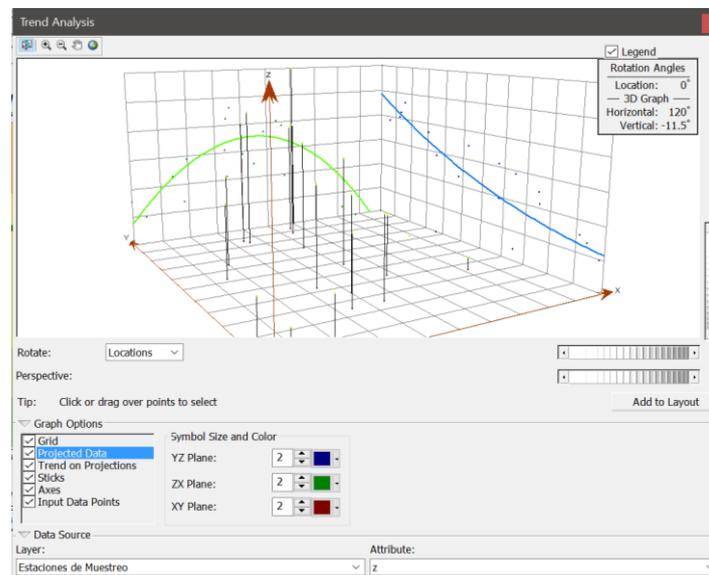


Figura 5-3. Análisis de la tendencia de los datos de predicción

Fuente: Buzai (2009)

3.2.1.1.4. Análisis estructural de los datos

Con la verificación de la distribución y la tendencia de las concentraciones, se seleccionó Geostatistical Analyst/Geostatistical Wizard, se abre una ventana donde se seleccionó los siguientes parámetros:

Method: Se seleccionó el método con el cual se procesaron los datos, en este caso es Kriging, El método Kriging es parecido al de IDW en el cual se pondera los valores medidos circundantes para calcular la predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

(S_o) = La ubicación de la predicción

$Z(S_i)$ = El valor medido en la ubicación i

λ_i = Una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

N = La cantidad de valores medidos

Input data: El shape al cual se aplicó el análisis geo estadístico, en este caso el que correspondió a cada mes analizado.

Attribute: la columna dentro del shape que contiene las concentraciones de PM₂ y SO₂ (Figura 6-3).

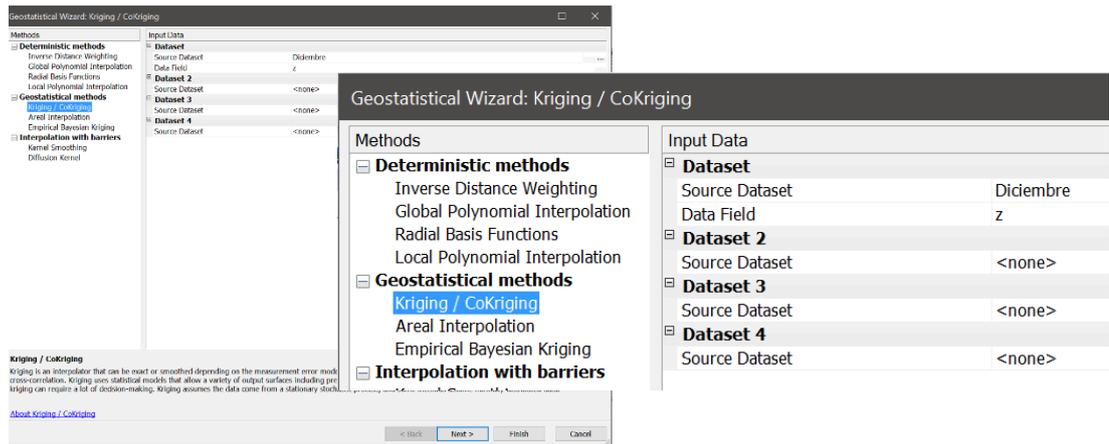


Figura 6-3. Configuración del método de interpolación

Fuente: Buzai (2009)

En la siguiente ventana se seleccionó Ordinary Kriging-Prediction Map.

- **Transformation:** se seleccionó Log, si fuese necesario realizar transformación logarítmica.
- **Order of trend removal:** se seleccionó una de las opciones de acuerdo a la tendencia que tengan los datos (Grafico 7-3).

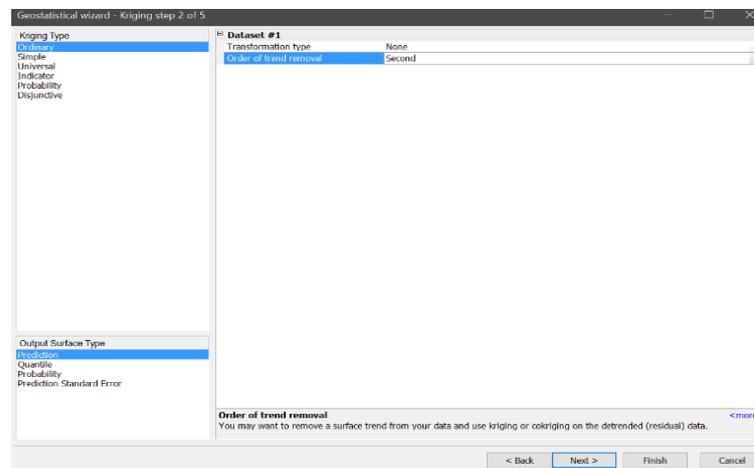


Figura 7-3. Configuración del modelo de interpolación Kriging

Fuente: Buzai (2009)

La siguiente ventana permitió concluir si los datos tienen anisotropía direccional o no; cuando la gráfica que se generó tuvo una forma circular, nos indicó que los datos no tienen anisotropía direccional, de lo contrario se tiene anisotropía direccional. Su presencia o no, se tuvo presente,

ya que es un parámetro tener en cuenta en la configuración final del modelo de interpolación (Figura 8-3).

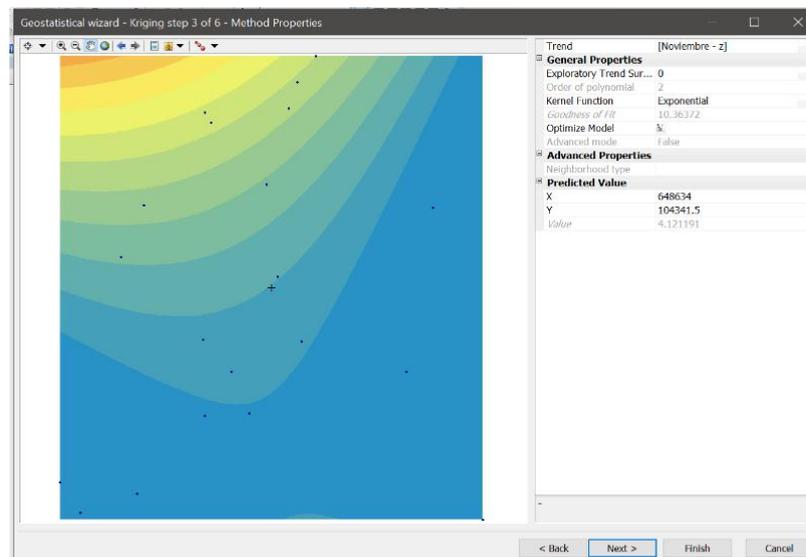


Figura 8-3. Determinación de anisotropía

Fuente: Buzai (2009)

En la siguiente ventana se realizó la configuración final (Grafico 9-3).

- **Model 1:** Se eligió el modelo geo estadístico a usarse para modelar los datos, de acuerdo a la tendencia identificada en el análisis geo estadístico.
- De existir anisotropía, en la opción anisotropy, se escogio true.

Cuando la anisotropía es verdadera se activó: Show Search Direction, habilitándose inmediatamente las opciones Angle direction y Bandwidth.

- **Angle direction:** Se cambió el ángulo hasta que las líneas que se muestran a la izquierda de la figura coincidan con la dirección de la elipse en su parte superior.
- **Bandwidth:** Una vez realizado el paso anterior, los puntos o parte inferior de las líneas deben cortar a la elipse, para ello se aumentará o disminuirá el valor de Bandwidth.

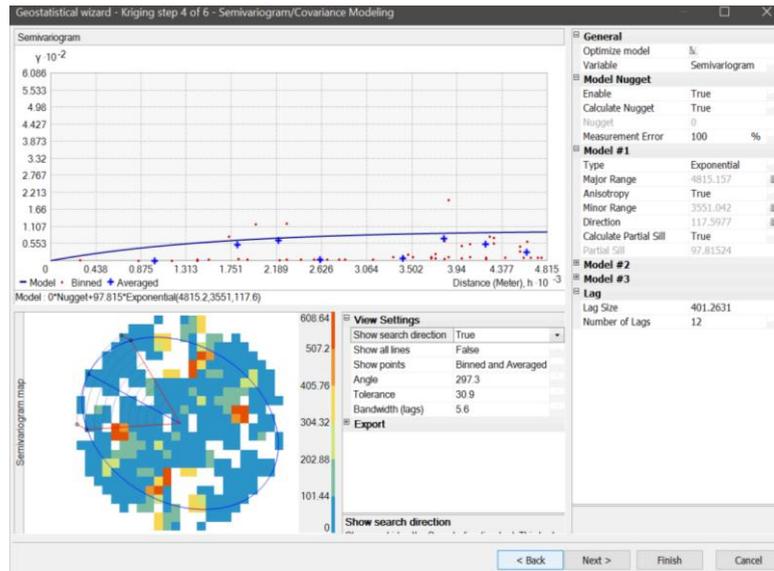


Figura 9-3. Configuración final del modelo de interpolación

Fuente: Buzai (2009)

El software presentó una vista previa de cómo será la dispersión del contaminante en estudio (Figura 10-3)

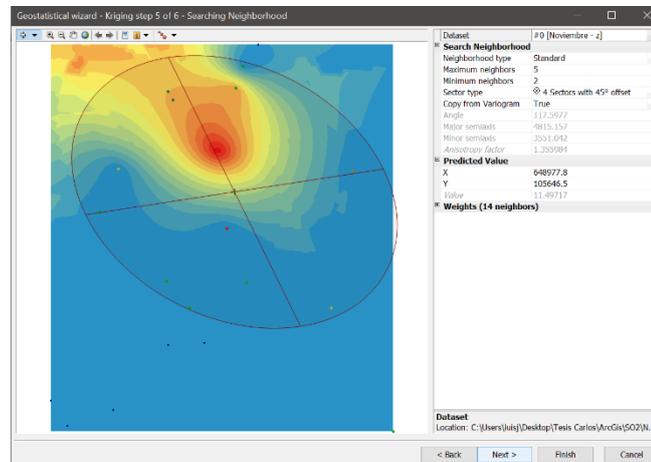


Figura 10-3. vista preliminar del mapa de dispersión

Fuente: Buzai (2009)

Finalmente, se verificó el error de muestreo, mismo que no debe ser mayor a 10, el grafico que se obtuvo es una comparación de los datos medidos y datos calculados, donde se observó que los datos que más se alejan de la línea, son los que mayores errores presentan en su predicción (Figura 11-3).

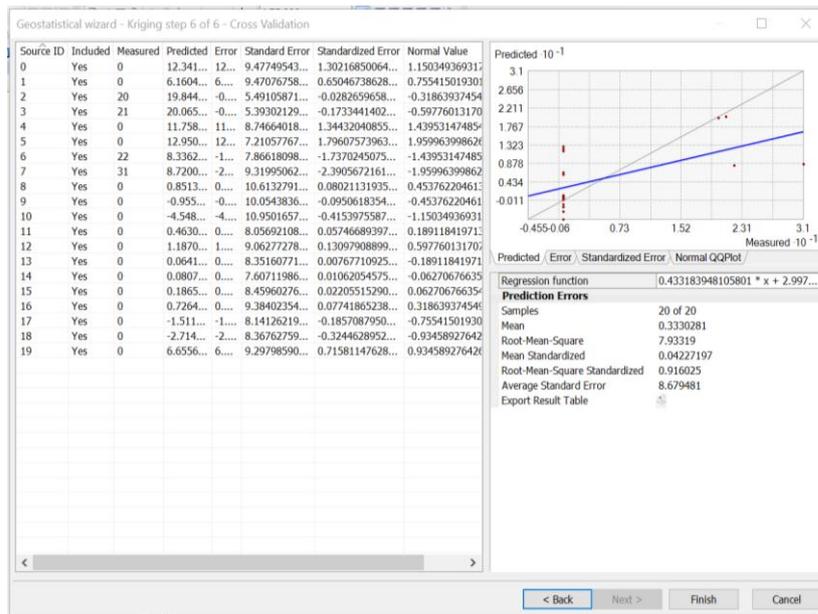


Figura 11-3. Error promedio obtenido del modelo de interpolación

Fuente: Buzai (2009)

La confiabilidad del método se calculó con la ecuación: $Conf = 100 - RMS$, para aceptar un método geo estadístico se requiere obtener una confiabilidad mayor al 90%, de no ser así se concluye que es necesario mejorar la densidad de las medidas, o a su vez aplicar un método diferente (Londoño et al., 2015).

3.2.1.1.5. Análisis estadístico de la variación de las distintas concentraciones de PM_{10} y SO_2

Para visualizar de forma correcta la variación de los niveles de concentración de los contaminantes en estudio, se calculó la media de los datos obtenidos por las estaciones de muestreo para cada mes, los datos obtenidos para los doce meses se visualizaron en diagramas de barra en el software Microsoft Excel, se analizó la tendencia de aumento y disminución que tiene los contaminantes durante el año. Conjuntamente se identificaron los meses cuyos valores máximos sobrepasaron la normativa de calidad de aire vigente en el Ecuador y las poblaciones afectadas.

3.2.1.1.6. Elaborar cartografía temática de las concentraciones de PM_{10} y SO_2

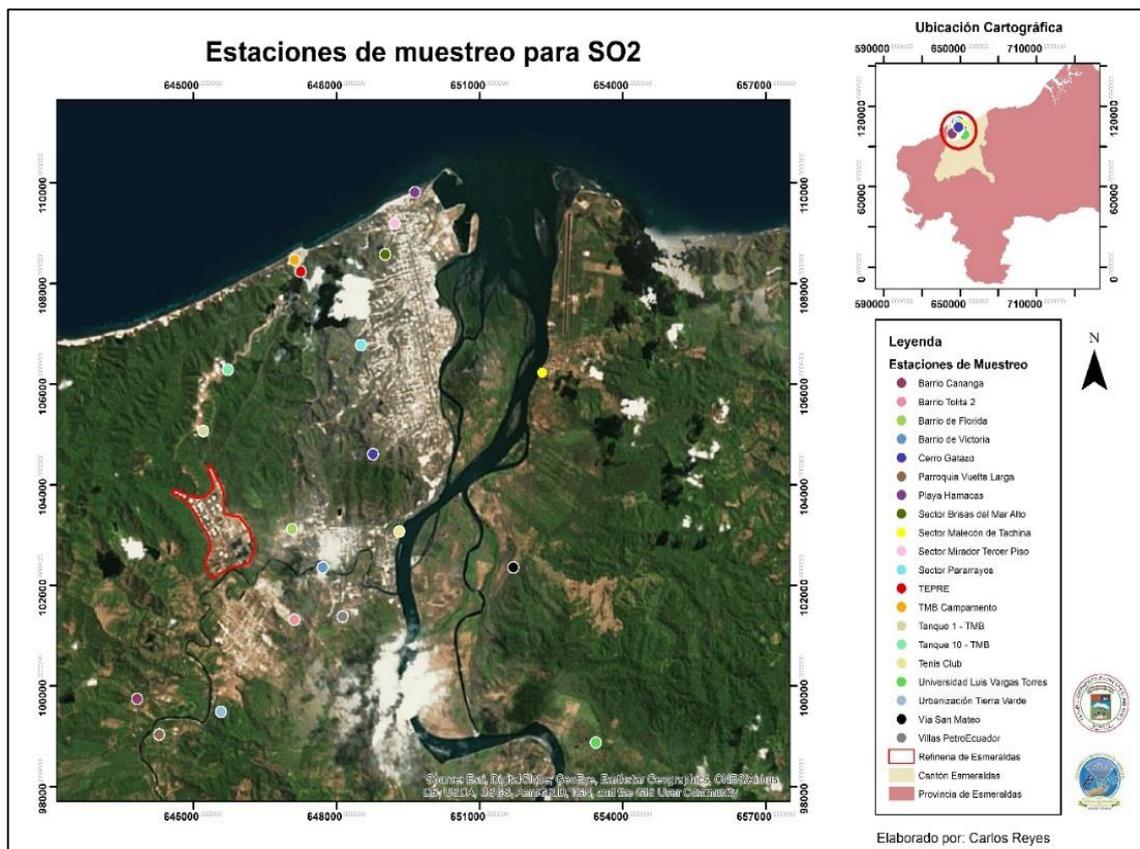
Con toda la información obtenida se elaboró mapas temáticos con información necesaria que permitirá visualizar de una forma correcta como los contaminantes se encuentran dispersos en el área de influencia.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Base de datos de las estaciones de muestreo para SO₂ y PM₁₀

Se realizó la base de datos para cada contaminante analizado (Anexo A), se proyectaron las estaciones de muestreo en el software ArcGis, estas se encontraron distribuidas alrededor de la Refinería de Esmeraldas, el área que abarcaron comienza en la Urb. Costa Verde llegando hasta el perfil costanero de la ciudad Esmeraldas, en la playa las Palmas, abarcando un área aproximada de 105.08 km² (Mapa 1-4).



Mapa 1-4. Distribución de las estaciones de monitoreo en el área de estudio

4.2. Implementación del método de interpolación.

De forma complementaria se optó por el uso del modelo de interpolación IDW para la obtención de mapas de concentración, esto permitió identificar de forma específica las áreas de mayor concentración de los contaminantes en estudio, además de tener una base comparativa para observar cómo se distribuyeron los contaminantes dentro del área que abarcaron las estaciones de muestreo, al usar el modelo de interpolación Kriging.

4.2.1. Análisis de los datos

4.2.1.1. Diagrama de caja

El diagrama de caja, determinó que los datos registrados de SO₂ para cada mes, presentaron datos atípicos, esto se debe a las diferencia existentes en las concentraciones registradas por mes, donde dentro del área de estudio, al revisar la base de datos se observó que varias estaciones registraron una concentración de 0 µg/m³, por lo que no se les consideró como un dato atípico, por tal motivo las estaciones que registraron la presencia de este contaminante con concentraciones altas tampoco se las consideró como un valor atípico, además la gráfica indicó que por mes no existe una distribución que se acerque a la normal (Figura 1-4).

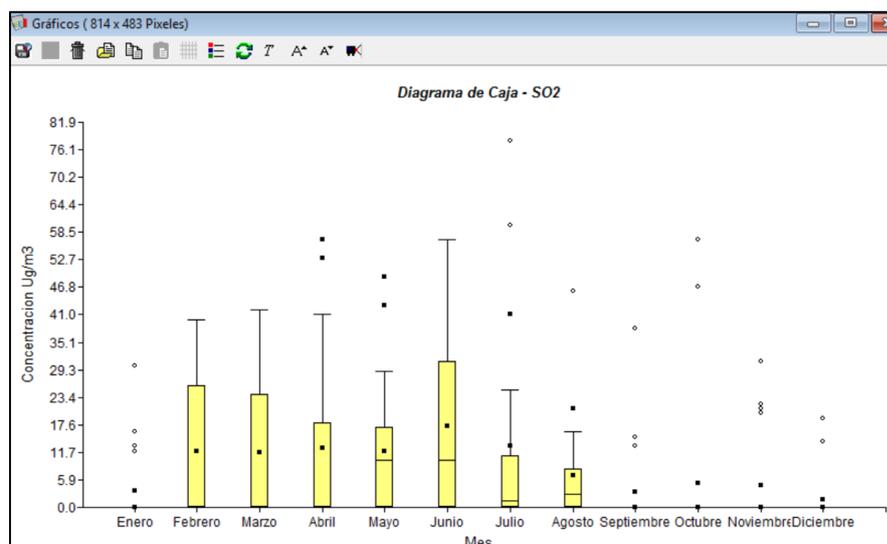


Figura 1-4. Diagrama de caja para SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

Para PM_{10} se registraron valores atípicos, solamente para los meses de enero, abril y septiembre, se verificó la base de datos para estos meses, se optó por mantener estos valores, ya que la distancia existente entre las estaciones de monitoreo provocó la presencia de estos datos, que dependiendo de su ubicación podrían registrar valores fuera de lo registrado por el resto de estaciones; teniendo en cuenta la ubicación de la mediana en el gráfico se puede inferir que los datos registrados por cada mes tienden a una distribución normal (Figura 2-4).

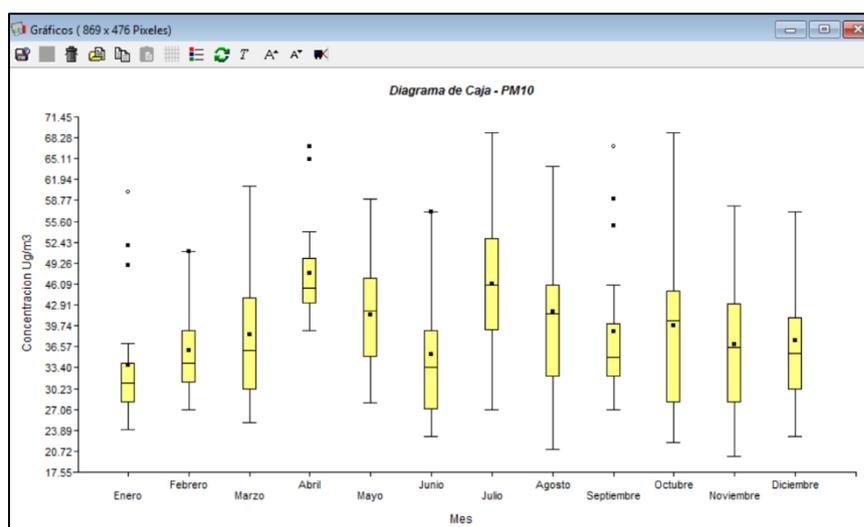


Figura 2-4. Diagrama de caja para PM_{10}

Elaborado por: Reyes, C (2017)

4.2.1.2. Histograma

El cálculo del histograma permitió determinar con certeza si los datos tendían a una distribución normal o no, este cálculo se realizó solamente para PM_{10} , no se realizó para SO_2 ya que la base de datos contiene valores de cero imposibilitando la transformación logarítmica, que permita acercar los datos a una distribución normal, debido a que el Log de 0 es un número indeterminado, lo que ocasionaría que el software presente un error.

Realizado el cálculo del histograma para PM_{10} (Figura 3-4), los resultados estadísticos por mes indicaron que las concentraciones registradas por las estaciones de monitoreo tienden a una distribución normal, esto se determinó al dividir la media para la mediana, los resultados obtenidos registraron valores cercanos a 1 (Tabla 1-4), como lo menciona López (2014) estos valores indicaron que las concentraciones tienden a una distribución normal, por lo que no fue

necesario realizar una transformación logarítmica que modifique los datos iniciales, que pueden repercutir en los resultados finales, al obtener resultados que no se acerquen a la realidad.

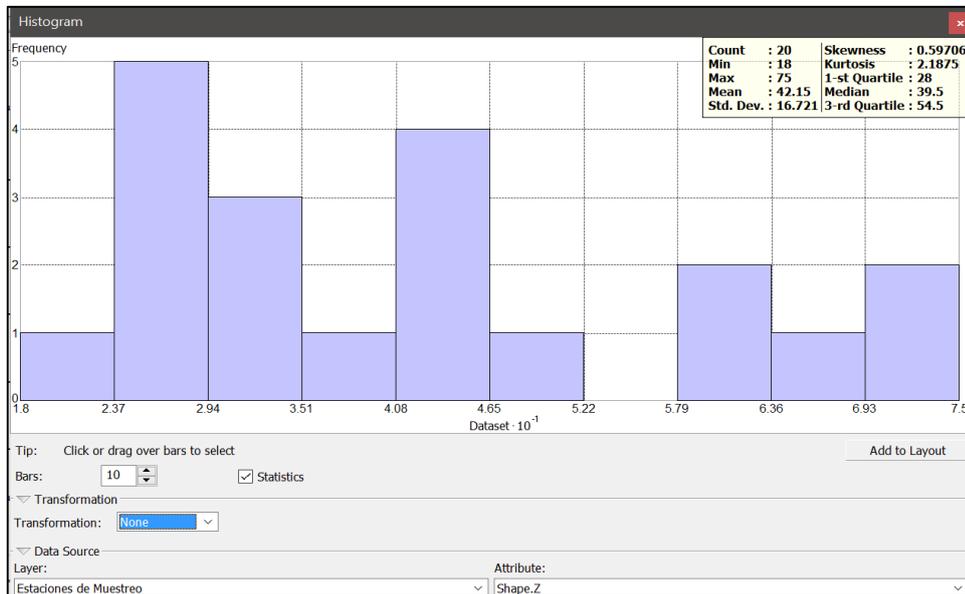


Figura 3-4. Histograma para la base de datos del mes de mayo

Elaborado por: Reyes, C (2017)

Tabla 1-4. Análisis de la tendencia de los datos a una distribución normal

Mes	Media	Mediana	Media/Mediana
Enero	33.8	31	1.090322581
Febrero	33.94	34.5	0.983768116
Marzo	35.25	33	1.068181818
Abril	46.5	41	1.134146341
Mayo	42.15	39.5	1.067088608
Junio	28.15	27	1.042592593
Julio	36.65	34.5	1.062318841
Agosto	44.45	42.5	1.045882353
Septiembre	40.35	36	1.120833333
Octubre	38.45	33.5	1.147761194
Noviembre	32.3	33	0.978787879
Diciembre	40.65	42	0.967857143

Elaborado por: Reyes, C (2017)

4.2.1.3. Error de predicción

Los errores de predicción obtenidos para PM_{10} se encontraron por debajo del 10%, lo que significó una confiabilidad del método elegido de más del 90 % para cada mes, de esta forma se tuvo la certeza de que los mapas de dispersión están representando la realidad de la zona de estudio; por el contrario y concordando con resultados obtenidos en el análisis con el diagrama de caja y el histograma, con lo que respecta al SO_2 , en los meses donde los datos se alejaron de una distribución normal, los errores de la predicción sobrepasaron el 10%, a pesar de lo antes mencionado, estos valores fueron aceptados, tomando en cuenta la distribución propia de los mismo en las estaciones de muestreo, como se observa más adelante en el apartado de *mapas temáticos de concentración y dispersión*, la distribución de las concentraciones de este contaminante son en estaciones específicas, que en ciertos casos, se encuentran demasiado alejadas entre sí, esta distribución y distanciamiento, impiden que los datos se acerquen a una distribución normal, si a esto se suma la presencia de concentraciones de $0 \mu g/m^3$, impidiendo la realización de una transformación logarítmica, produce que los porcentajes de error aumente, siempre tomando en cuenta que las estaciones con concentraciones $0 \mu g/m^3$, al tener una distribución homogénea dentro del área de estudio, no repercuten en el aumento del error de predicción. (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Resumen de los errores de predicción y confiabilidad para PM_{10} y SO_2

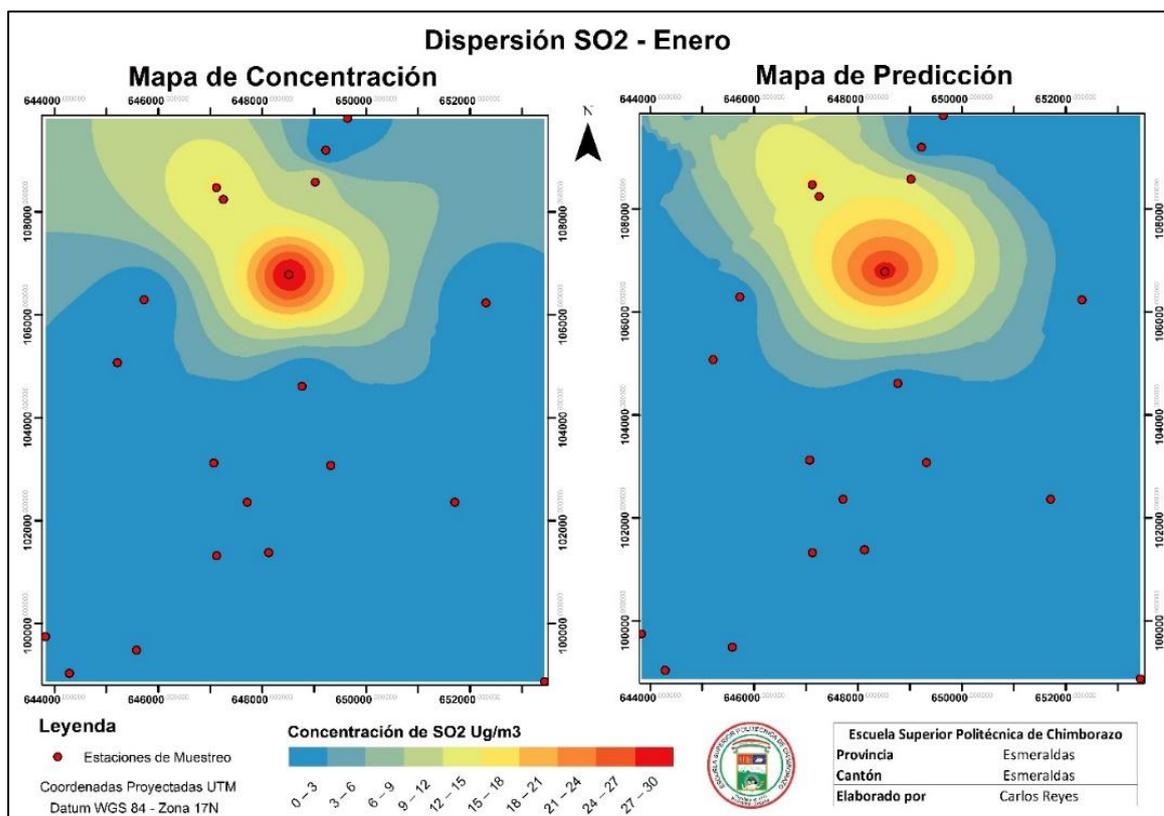
Mes	Error PM_{10}	Confiabilidad	Error SO_2	Confiabilidad
Enero	5.97	94.03	5.36	94.64
Febrero	5.79	94.21	12.42	87.58
Marzo	5.98	94.02	12.01	87.99
Abril	5.89	94.11	11.69	88.31
Mayo	5.45	94.55	11.17	88.83
Junio	7.63	92.37	9.55	90.45
Julio	6.15	93.85	10.74	89.26
Agosto	9.66	90.34	10.37	89.63
Septiembre	7.40	92.60	9.59	90.41
Octubre	5.79	94.21	10.91	89.09
Noviembre	5.39	94.61	6.25	93.75
Diciembre	7.72	92.28	5.66	94.34
Media	6.57	93.43	9.64	90.36

Elaborado por: Reyes, C (2017)

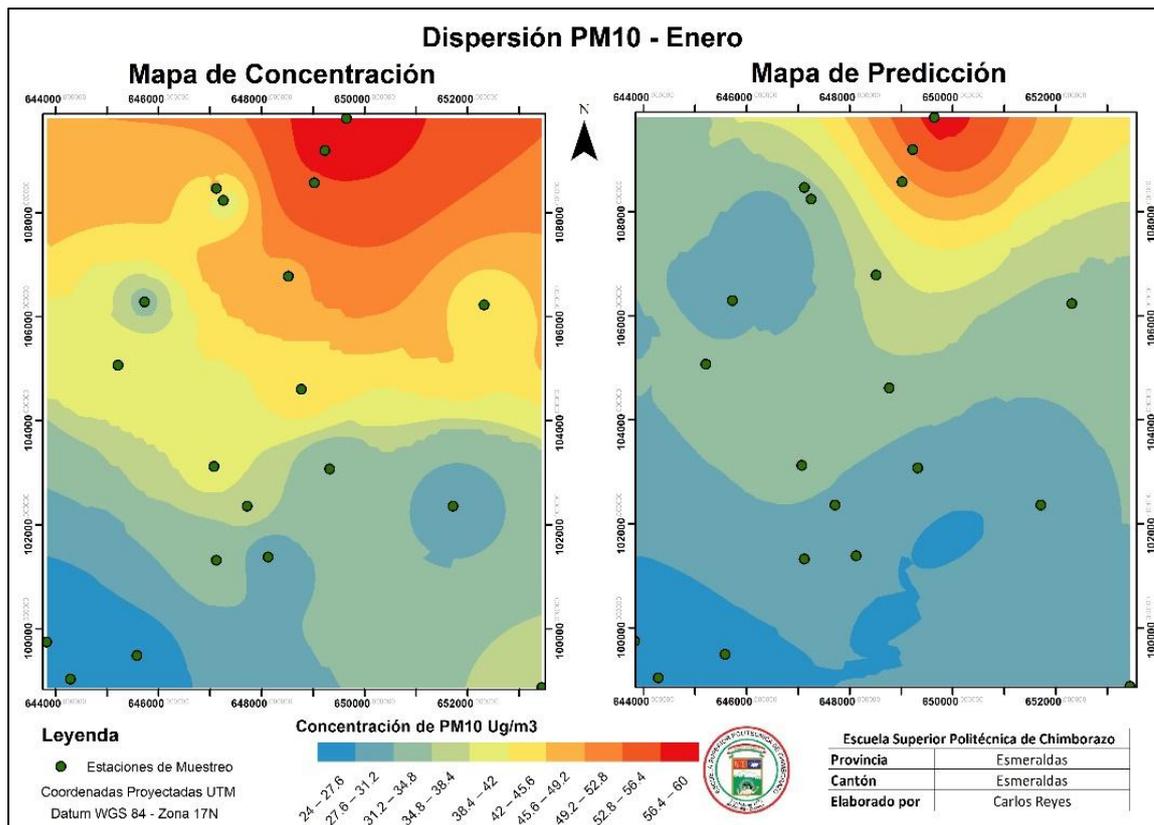
4.2.2. Mapas temáticos de concentración y predicción

4.2.2.1. Enero

Para SO₂, 4 estaciones registraron su presencia, el resto registró una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración que se registró en el mes de enero fue en los sectores de Santa Cruz y Santas Vaina con un rango de 27 a 30 µg/m³; niveles intermedios de concentración se presentaron en las estaciones de muestreo de la refinería: TEPRE y TMB con rangos de 12 a 15 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 24 a 27 µg/m³ (Mapa 2-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona norte de la ciudad de Esmeraldas con un rango de 56.4 a 60 µg/m³, en los sectores conformados por el barrio El Panecillo, barrio El Faro, barrio 14 de marzo y barrio el Churrero, con lo que respecta a los sectores aledaños a la Refinería de Esmeraldas: Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa, La Tolita 1 y 2, presentaron niveles intermedios de contaminación con rangos de 36.4 a 40.3 µg/m³, las concentraciones mínimas se registraron en la Urb. Costa Verde y Urb. Tecnipetrol, el mapa de dispersión indicó con un rango máximo de 56.4 a 60 µg/m³ (Mapa 3-4).



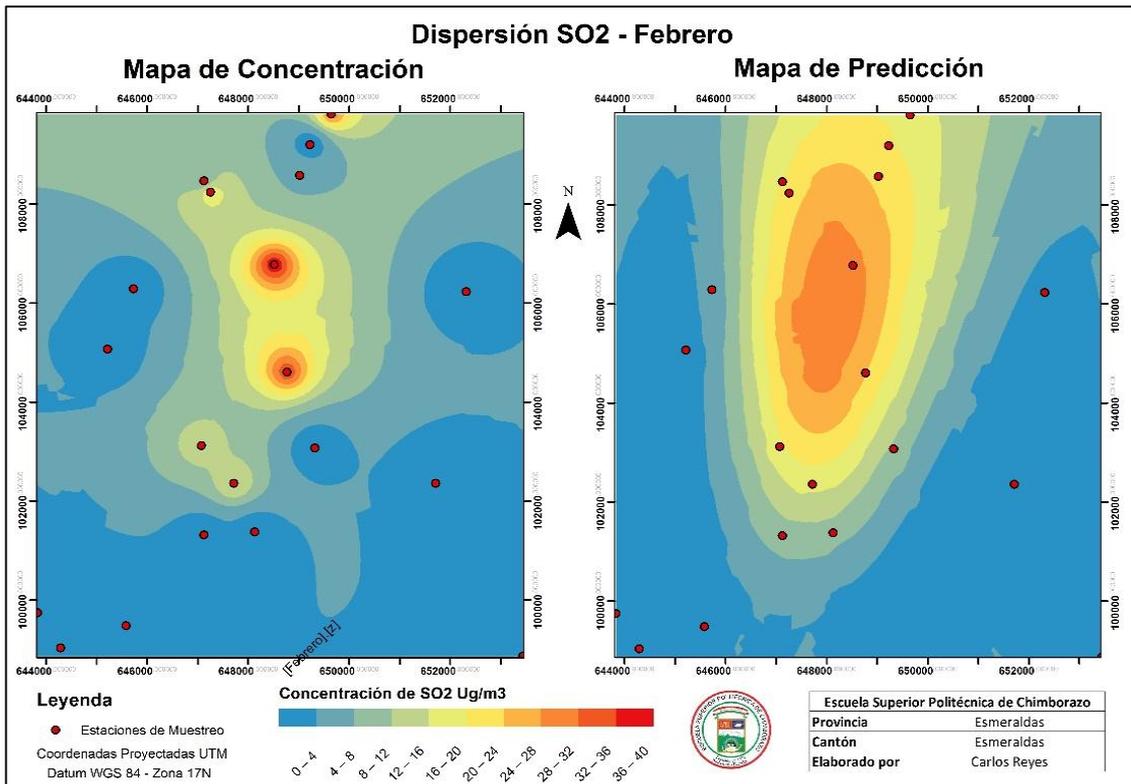
Mapa 2-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Enero



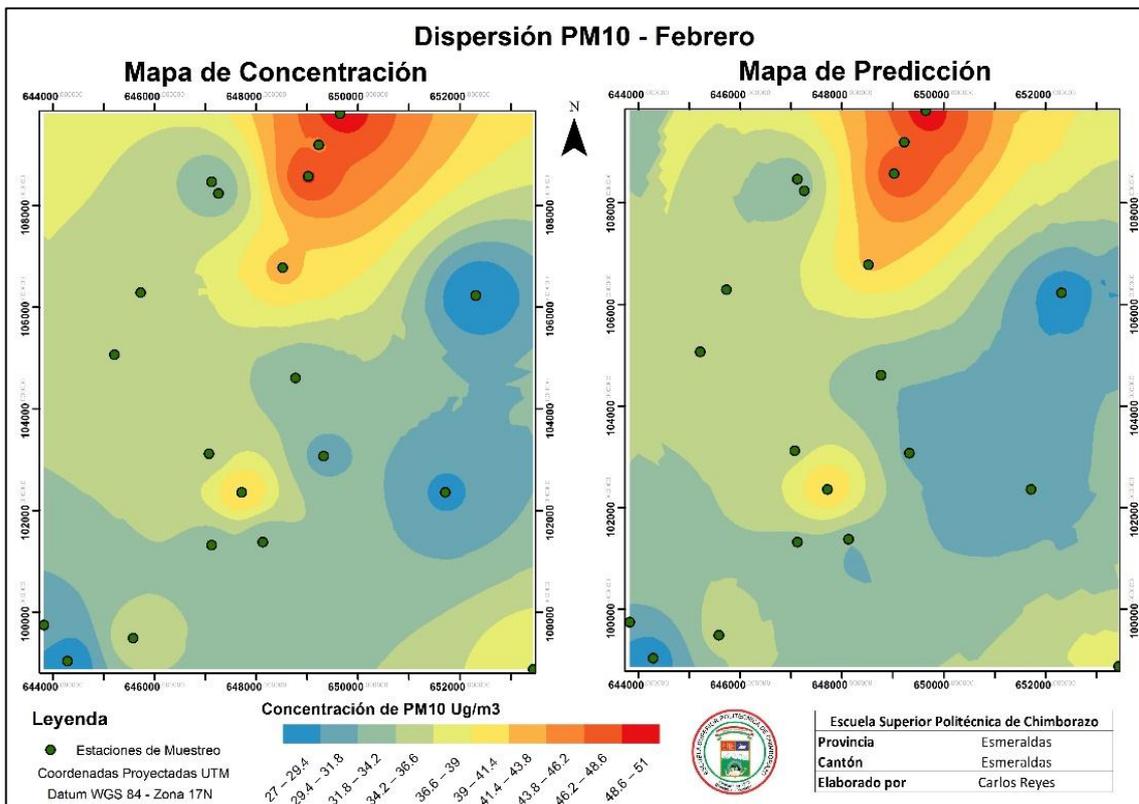
Mapa 3-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Enero

4.2.2.2. Febrero

Ocho estaciones registraron la presencia de SO₂, las restantes registraron una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración de SO₂ en este mes se registró en el sector de los Almendros y las Américas con un rango de 36 a 40 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 28 a 32 µg/m³ (Mapa 4-4), para PM₁₀ todas las estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona norte de la ciudad de Esmeraldas con un rango de 48.6 a 51 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería de Esmeraldas: Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa, La Tolita 1 y 2 presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 36.6 a 41.4 µg/m³, las concentraciones mínimas se encuentran en la Urb. Costa Verde y el Malecón de Tachina con una concentración de 27 a 29.4 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 48.6 a 51 µg/m³ (Mapa 5-4).



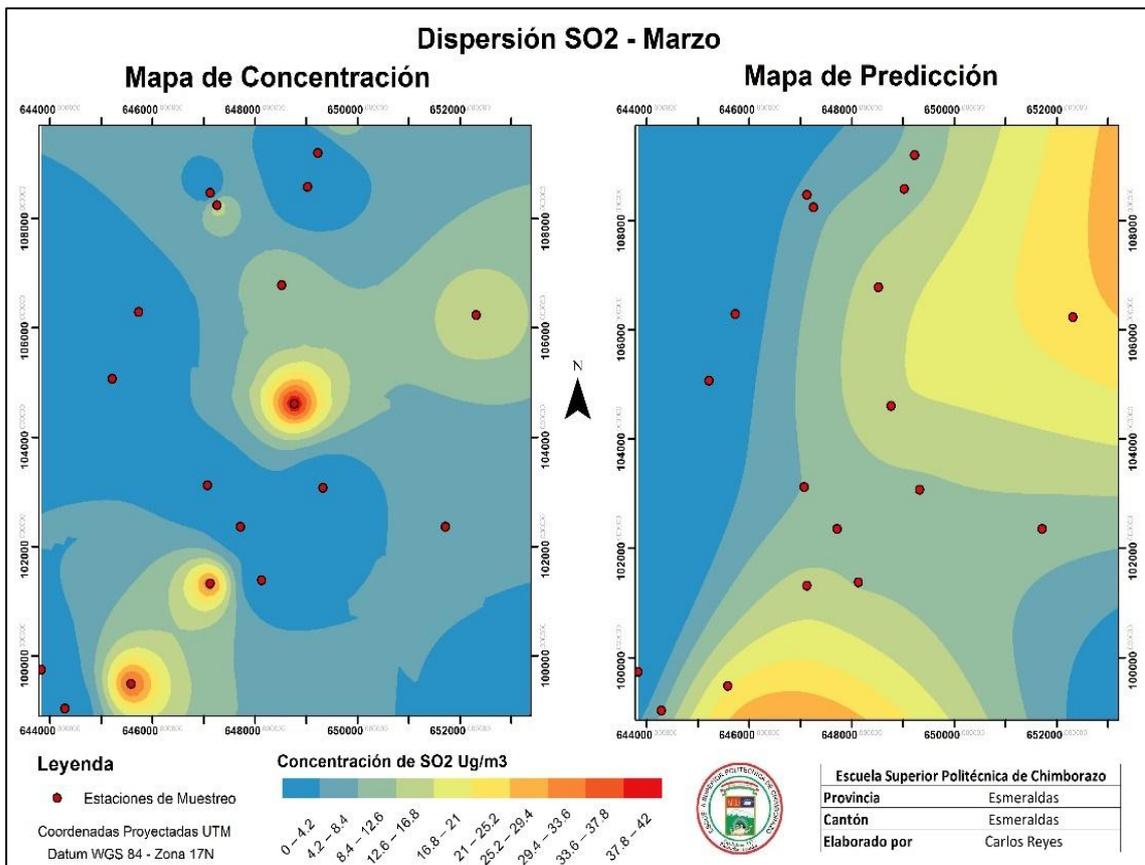
Mapa 4-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Febrero



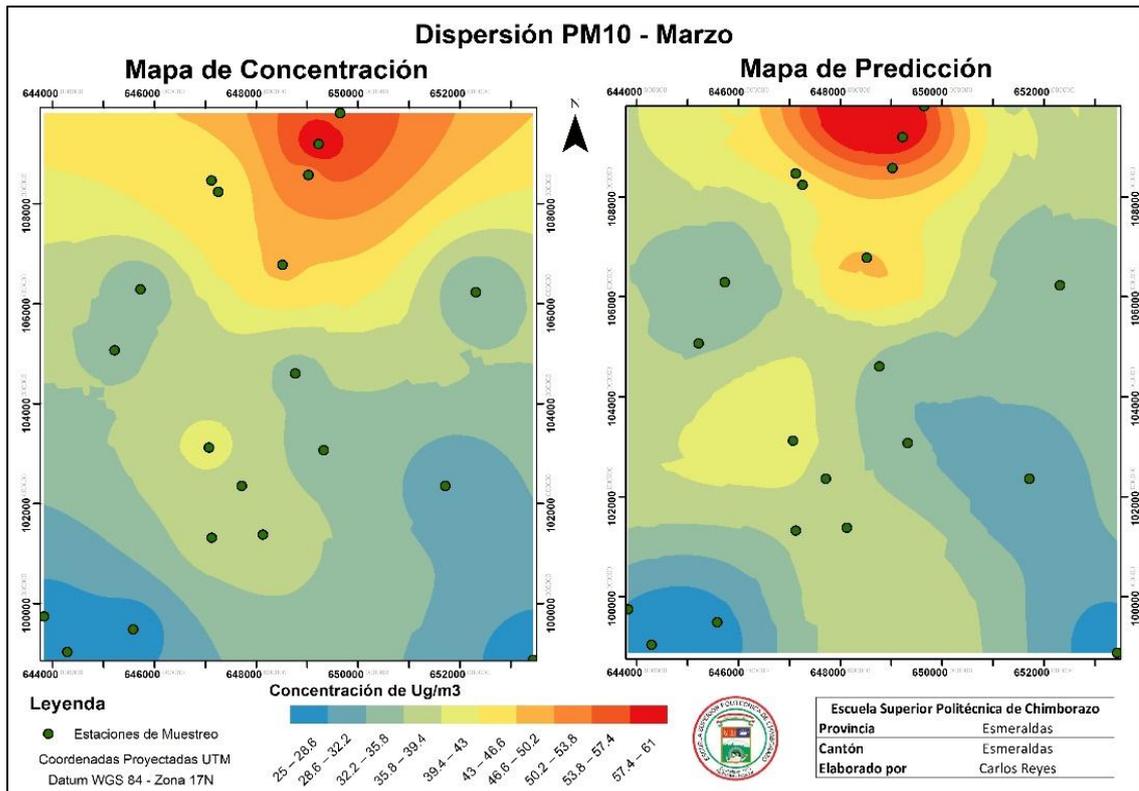
Mapa 5-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Febrero

4.2.2.3. Marzo

De las 20 estaciones de muestreo, 8 registraron la presencia de SO₂, el resto determinó una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración en el mes de marzo se registró en el sector de las Américas con un rango de 37,8 a 42 µg/m³, niveles intermedios del contaminante se presentaron en los sectores de Vuelta Larga, Urb. Costa Verde, los Almendros y Malecón de Tachina con un rango de 16.8 a 25.2 µg/m³, el mapa de dispersión determinó un rango máximo de 25.2 a 29.4 µg/m³ (Mapa 6-4) en la distribución del contaminante; para PM₁₀ todas las estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en el área que abarcó la zona norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: barrio El Faro, barrio Coquito Alto y Barrio 14 de Marzo con un rango de 57.4 a 61 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: Barrio 15 de Marzo y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 39.4 a 46.6 µg/m³, los niveles más bajos se registraron en los sectores: Urb. Costa Verde, Urb. Tecnipetrol y la estación de muestreo de la Universidad Luis Vargas Torres con un rango de 25 a 28.6 µg/m³, el mapa de dispersión indicó la distribución del contaminante con un rango máximo de 57.4 a 61 µg/m³ (Mapa 7-4).



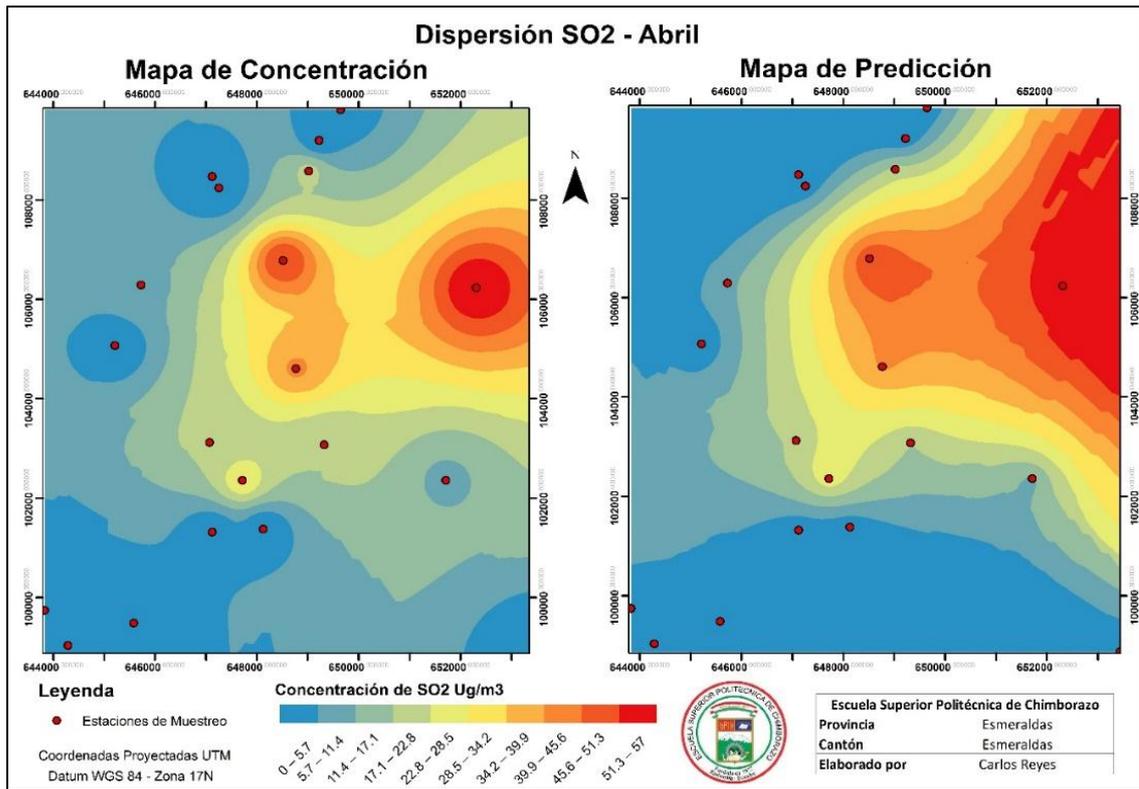
Mapa 6-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Marzo



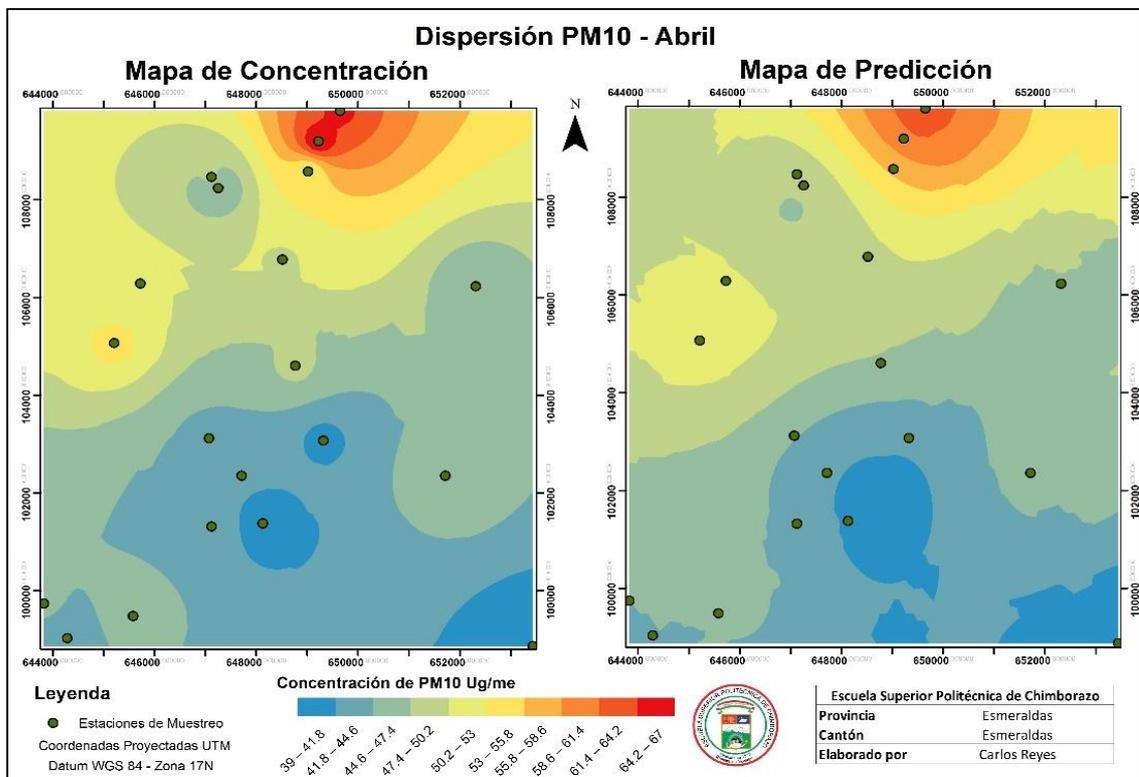
Mapa 7-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Marzo

4.2.2.4. Abril

Con lo que respecta al mes de Abril, 9 estaciones registraron la presencia de SO₂, en las demás se obtuvo una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración se registró en el sector de las Américas, los Almendros y Malecón de Tachina con un rango de 51.3 a 57 µg/m³, los valores intermedios registraron rangos de 22.8 a 34.2 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 51.3 a 57 µg/m³ (Mapa 8-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: Barrio las Palmas, Barrio El Faro, Barrio Coquito Alto, Barrio 14 de Marzo y Barrio el Churero con un rango de 64.2 a 67 µg/m³, los sectores de aledaños a la refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles bajos de concentración con rangos de 36.4 a 40.3 µg/m³, los rangos intermedios abarcaron sectores como las Américas y los Almendros con concentraciones de 50.2 a 55.8 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 61.4 a 64.2 µg/m³ (Mapa 9-4).



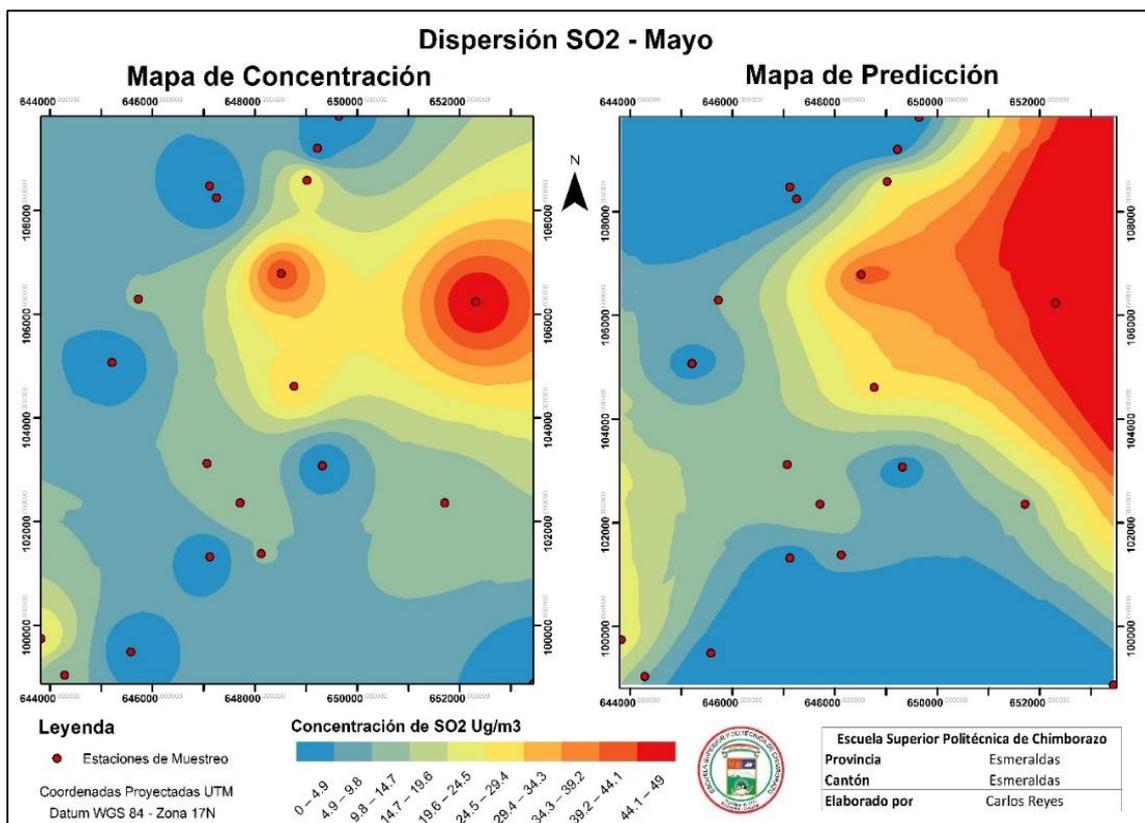
Mapa 8-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Abril



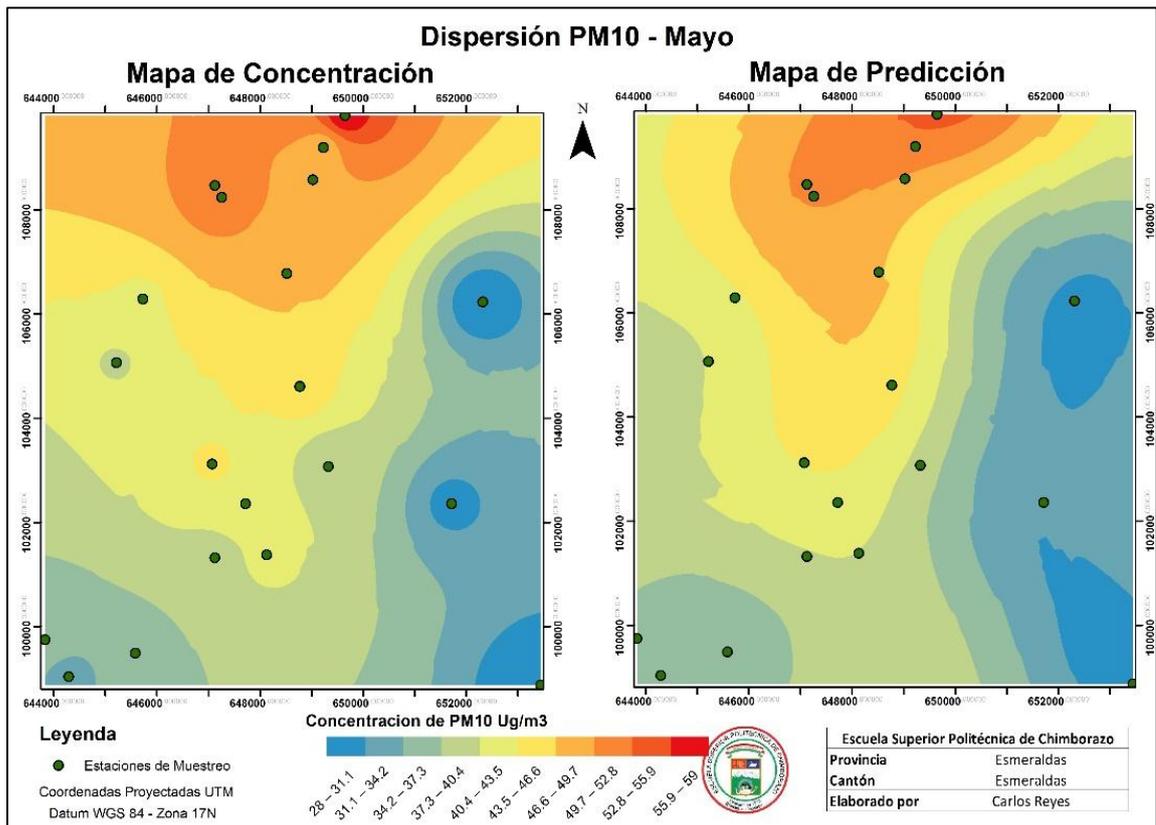
Mapa 9-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Abril

4.2.2.5. Mayo

De las 20 estaciones de muestreo, 11 registraron la presencia de SO₂, el resto registró una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración en el mes de mayo se ubicó en los sectores: los Almendros y Malecón de Tachina con un rango de 44.1 a 49 µg/m³, los valores intermedios registraron rangos de 19.6 a 24.5 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 44.1 a 49 µg/m³ (Mapa 10-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en el zona norte la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: Barrio las Palmas, Barrio El Faro con un rango de 55.9 a 59 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa, La Victoria, Julio Estupiñan y Barrio La Concordia, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 40.4 a 46.6 µg/m³, los rangos bajos abarcaron sectores como Urb. Costa Verde, Malecón de Tachina y la estación de la Universidad Luis Vargas Torres con concentraciones de 28 a 31.1 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 49.7 a 52.8 µg/m³ (Mapa 11-4).



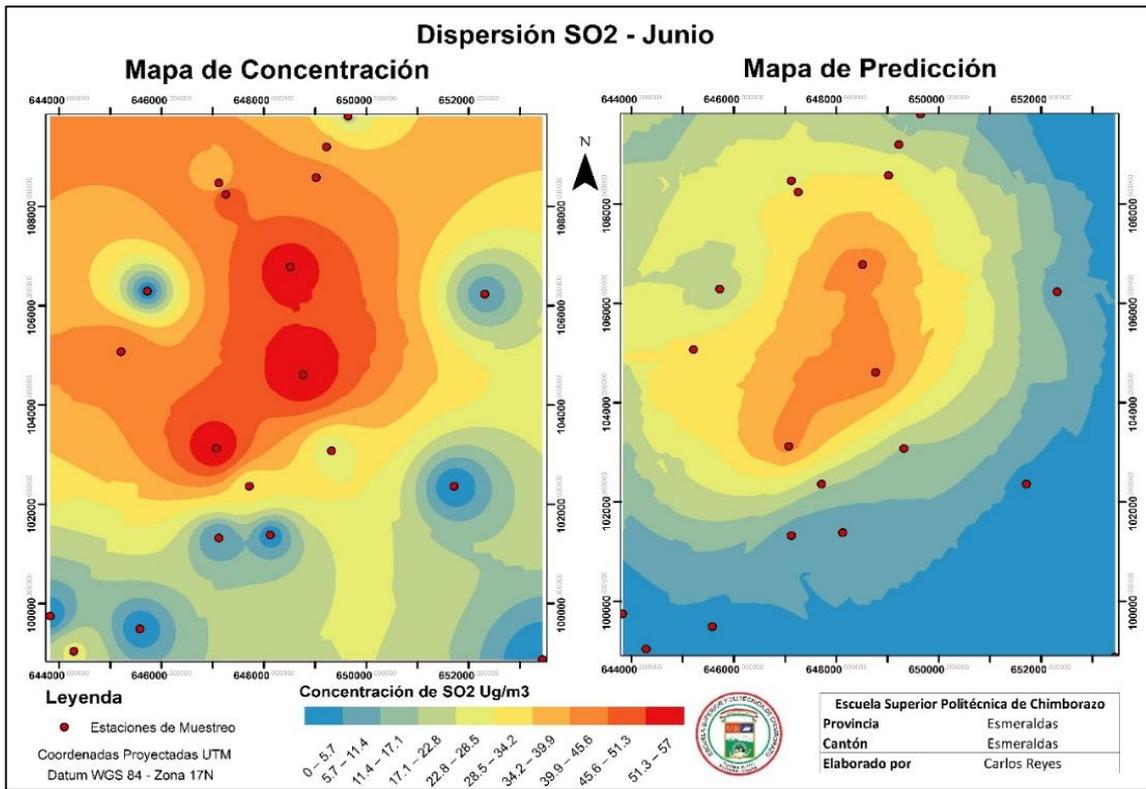
Mapa 10-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Mayo



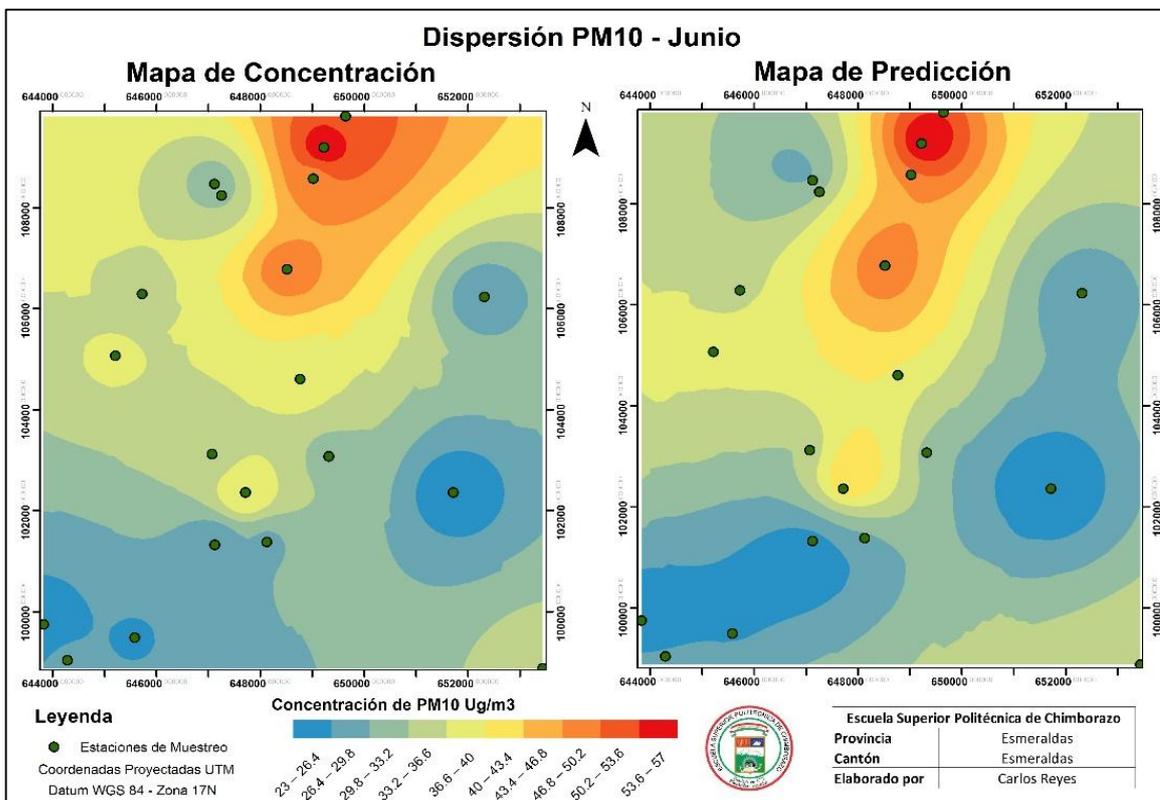
Mapa 11-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Mayo

4.2.2.6. Junio

Trece estaciones registraron la presencia de SO₂, en las restantes se obtuvo una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración en el mes de junio se registró en el sector de las Américas, los Almendros, Codesa y La Victoria con un rango de 51.3 a 57 µg/m³, para los valores intermedios se registraron rangos de 22.8 a 34.2 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 34.2 a 39.9 µg/m³ (Mapa 12-4); para PM₁₀ todas las estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la parte norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: barrio El Faro, Barrio Coquito Alto y Barrio 14 de Marzo con un rango de 53.6 a 57 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles medios de concentración con rangos de 36.6 a 44 µg/m³, los rangos bajos abarcaron sectores como la estación de muestreo en la vía a San Mateo, Urb. Costa Verde y Urb. Tecnipetrol con un rango de 23 a 26,4 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 53.6 a 57 µg/m³ (Mapa 13-4).



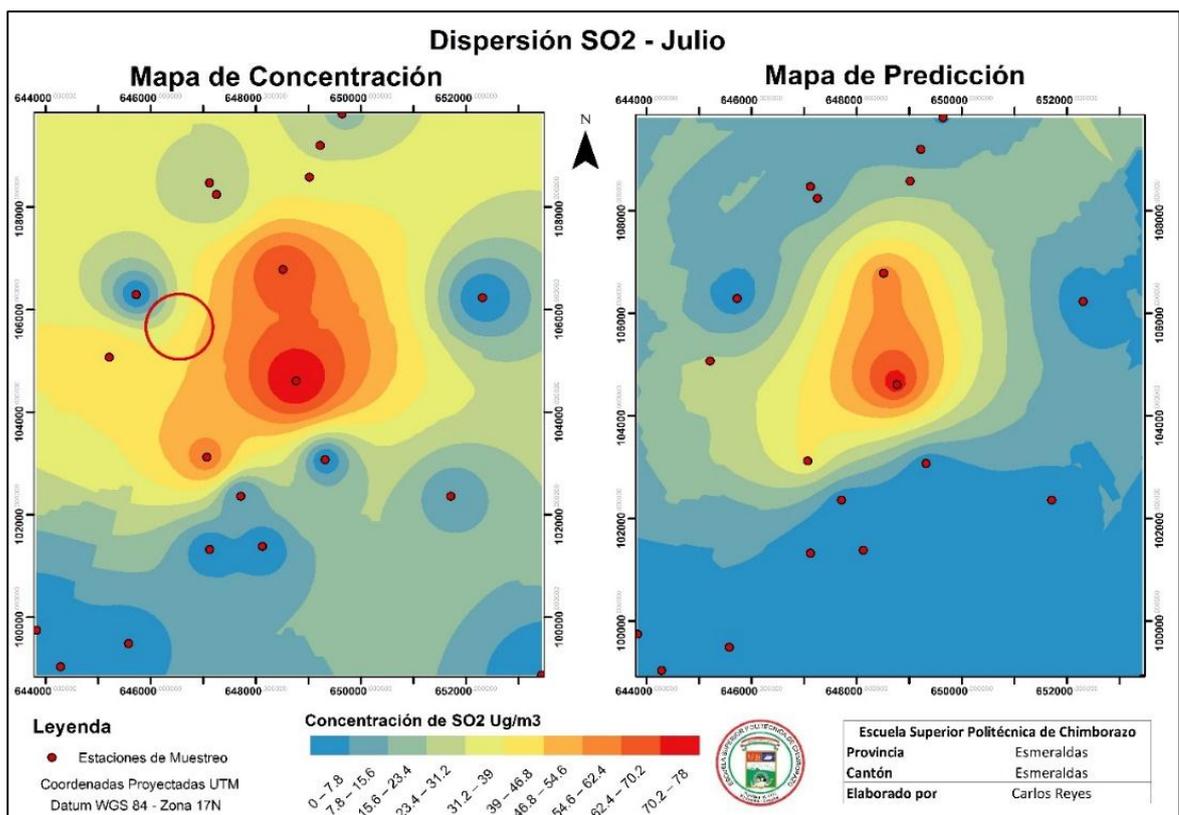
Mapa 12-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Junio



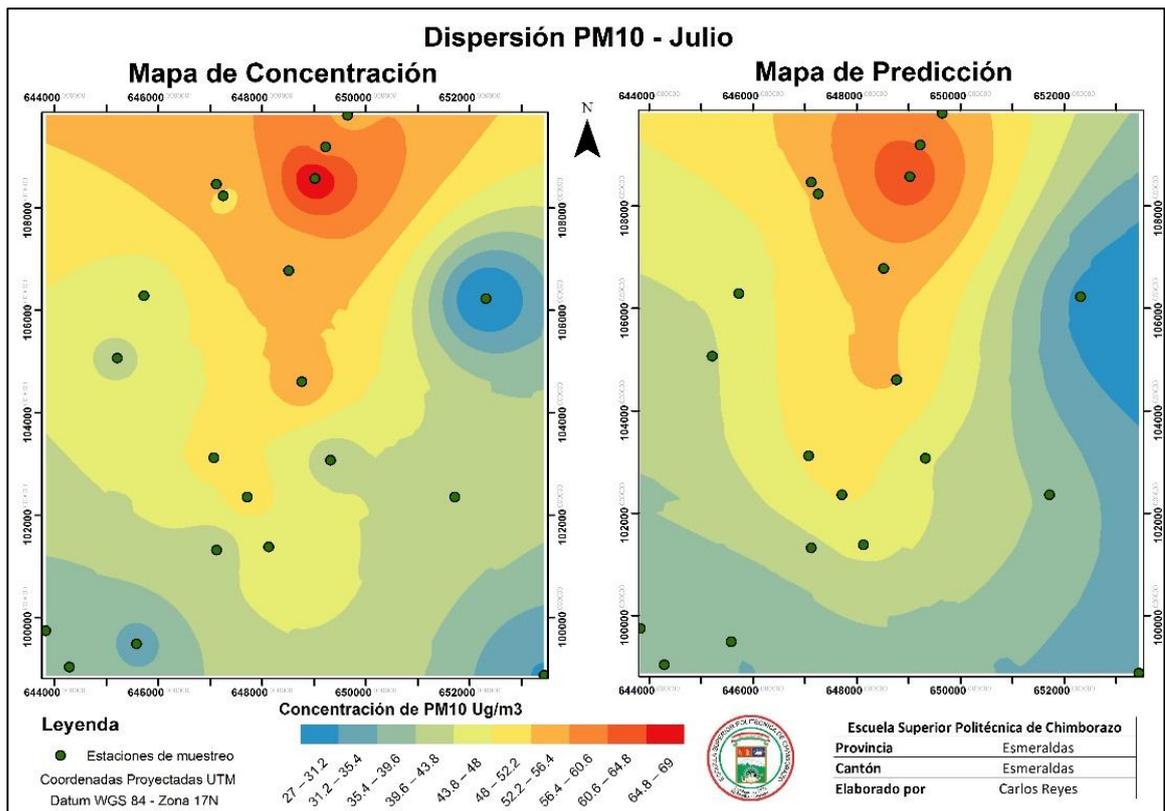
Mapa 13-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Junio

4.2.2.7. Julio

Para este mes 10 estaciones registraron la presencia de SO₂, las 10 restantes no determinaron la presencia del contaminante, la mayor concentración en el mes de julio se registró en el sector de las Américas, los Almendros y Barrio 15 de Marzo con un rango de 70.2 a 78 µg/m³, los valores intermedios se registraron en rangos de 31.2 a 46.8 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 62.4 a 70.2 µg/m³ (Mapa 14-4); para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona centro de la ciudad de Esmeraldas, en los sector Barrio el Churero con un rango de 64.8 a 69 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y la Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 43.8 a 52.2 µg/m³, los rangos bajos abarcaron los sectores: Malecón de Tachina y estación de muestreo de la Universidad Luis Vargas Torres con concentraciones de 27 a 31.2 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 60.6 a 64.8 µg/m³ (Mapa 15-4).



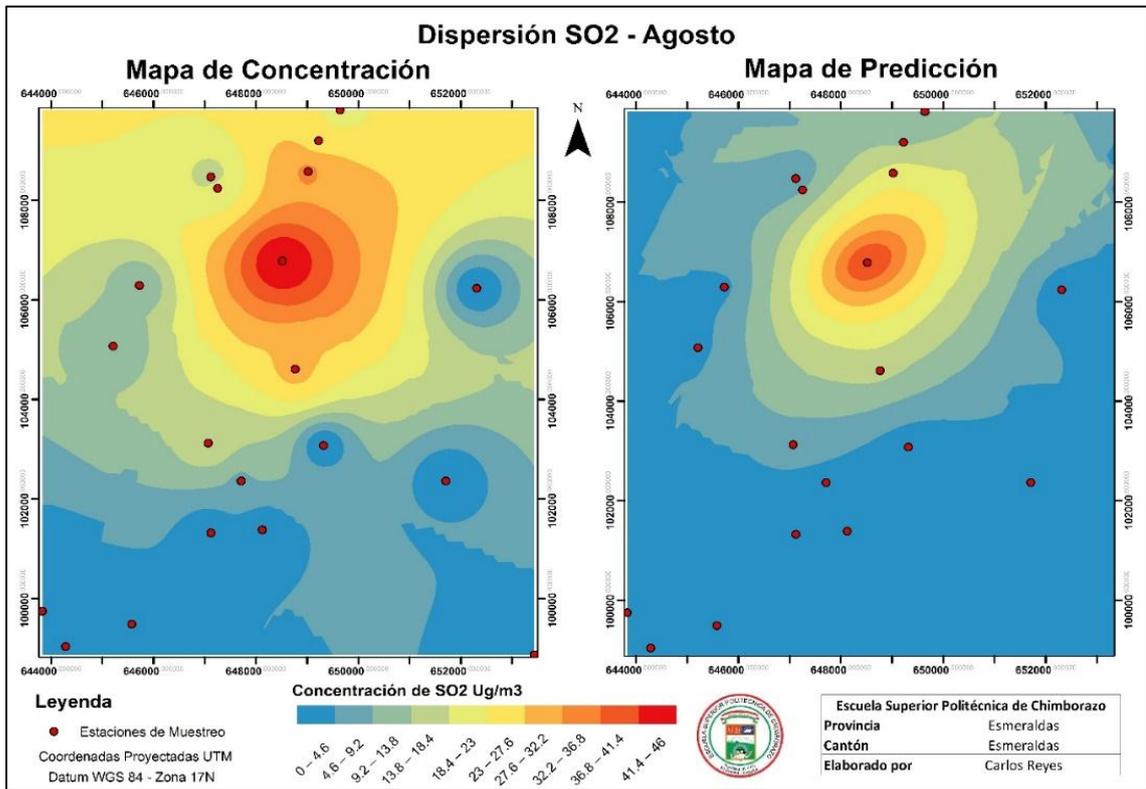
Mapa 14-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Julio



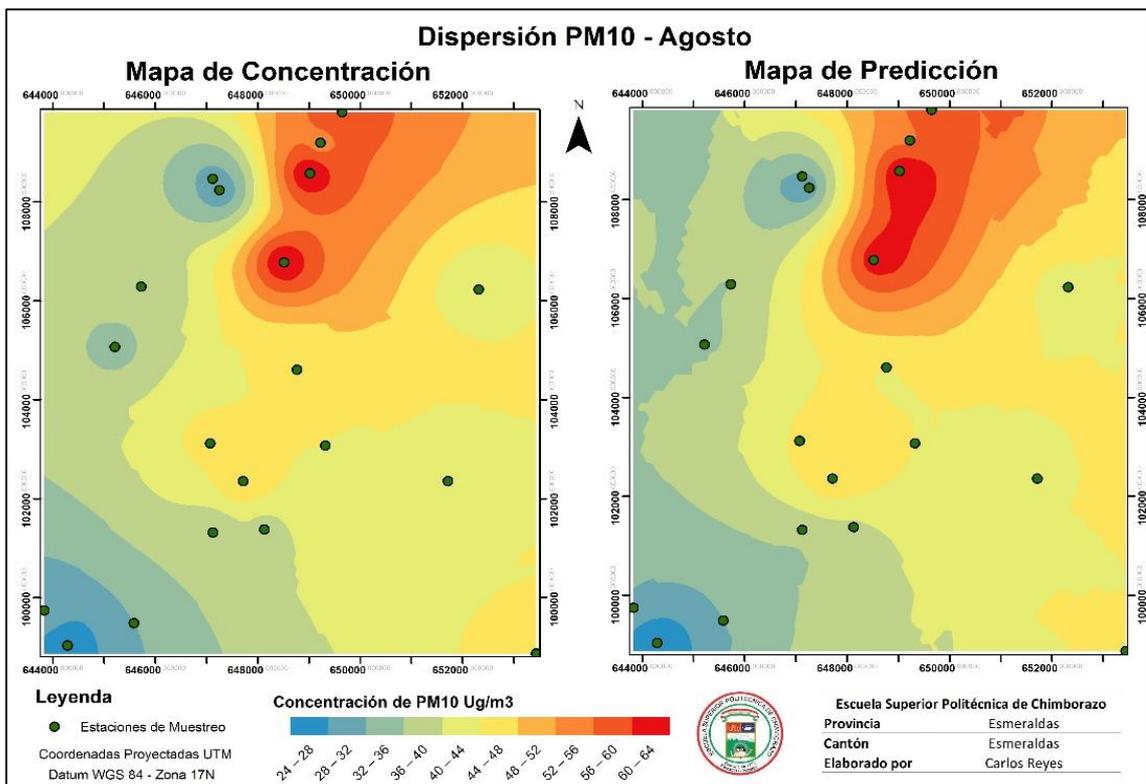
Mapa 15-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Julio

4.2.2.8. Agosto

Con lo que respecta al mes de agosto, 11 estaciones registraron la presencia de SO₂, para las nueve estaciones restantes se tiene una concentración de 0 µg/m³, los mayores niveles de concentración se registraron en el sector de los Almendros, con un rango de 41.4 a 46 µg/m³, los valores intermedios se registraron en rangos de 18.4 a 27.6 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 36.8 a 41.4 µg/m³ (Mapa 16-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona centro de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: Santa Cruz, Santa Vainas y los Almendros con un rango de 60 a 64 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: la Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, barrio 15 de marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 40 a 48 µg/m³, el rango más bajo fue abarcado solo por el sector Urb. Costa Verde con una concentración de 24 a 28 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 60 a 64 µg/m³ (Mapa 17-4).



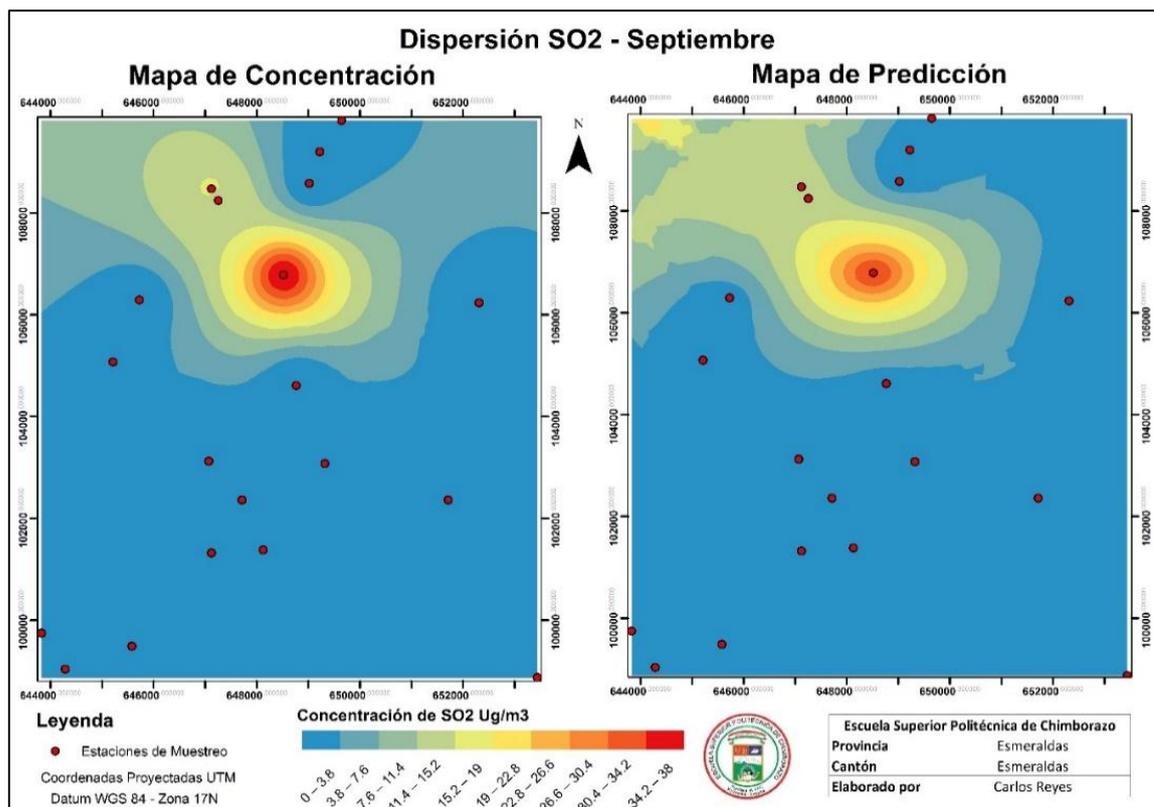
Mapa 16-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Agosto



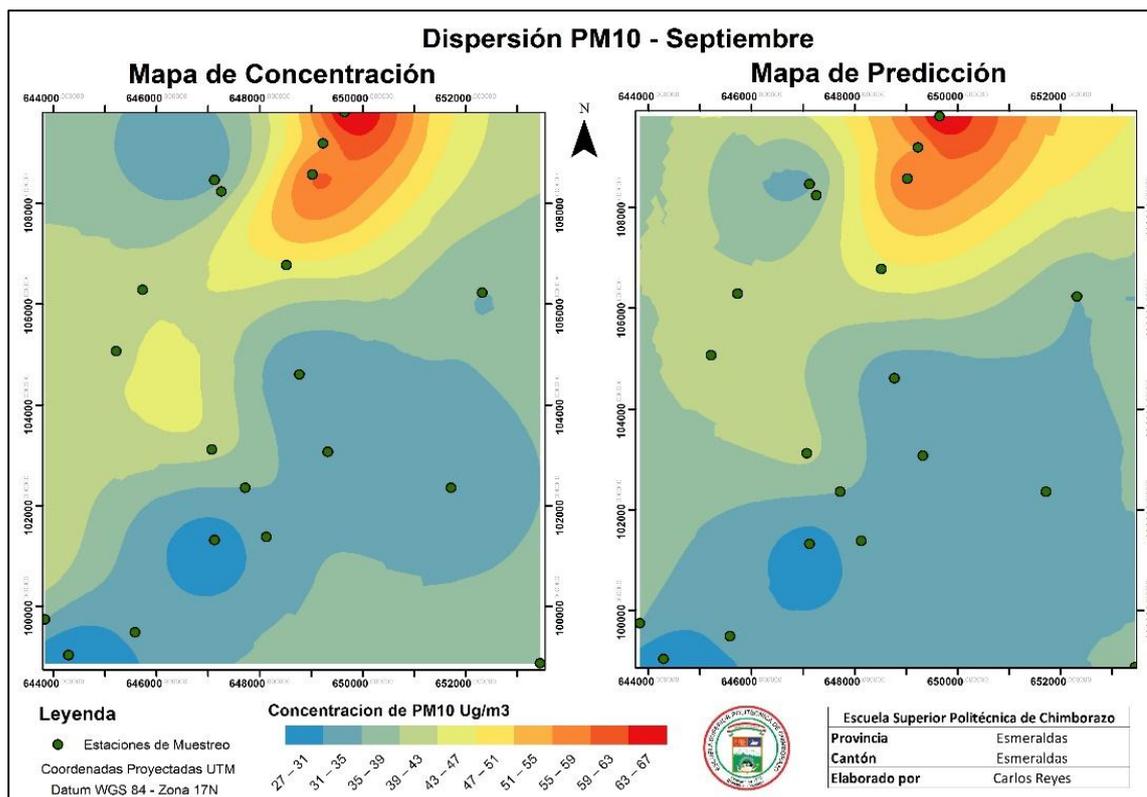
Mapa 17-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Agosto

4.2.2.9. Septiembre

Tres estaciones registraron la presencia de SO₂, las restantes registraron una concentración de 0 µg/m³, la mayor concentración de SO₂ se registró en el sector de las Américas, con un rango de 34.2 a 38 µg/m³, los valores intermedios se registraron en un rango de 15.2 a 22.8 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 30.4 a 34.2 µg/m³ (Mapa 18-4), para PM₁₀ todas las estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en el área que abarca la parte norte de la ciudad, en los sectores: Barrio Las Palmas, barrio El Faro, Barrio Coquito Alto y Barrio 14 de Marzo con un rango de 63 a 67 µg/m³, los sectores de alrededores a la Refinería: Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 43 a 51 µg/m³, los rangos bajos abarcaron los sectores: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga y Urb. Costa verde con concentraciones de 27 a 31 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 63 a 67 µg/m³ (Mapa 19-4).



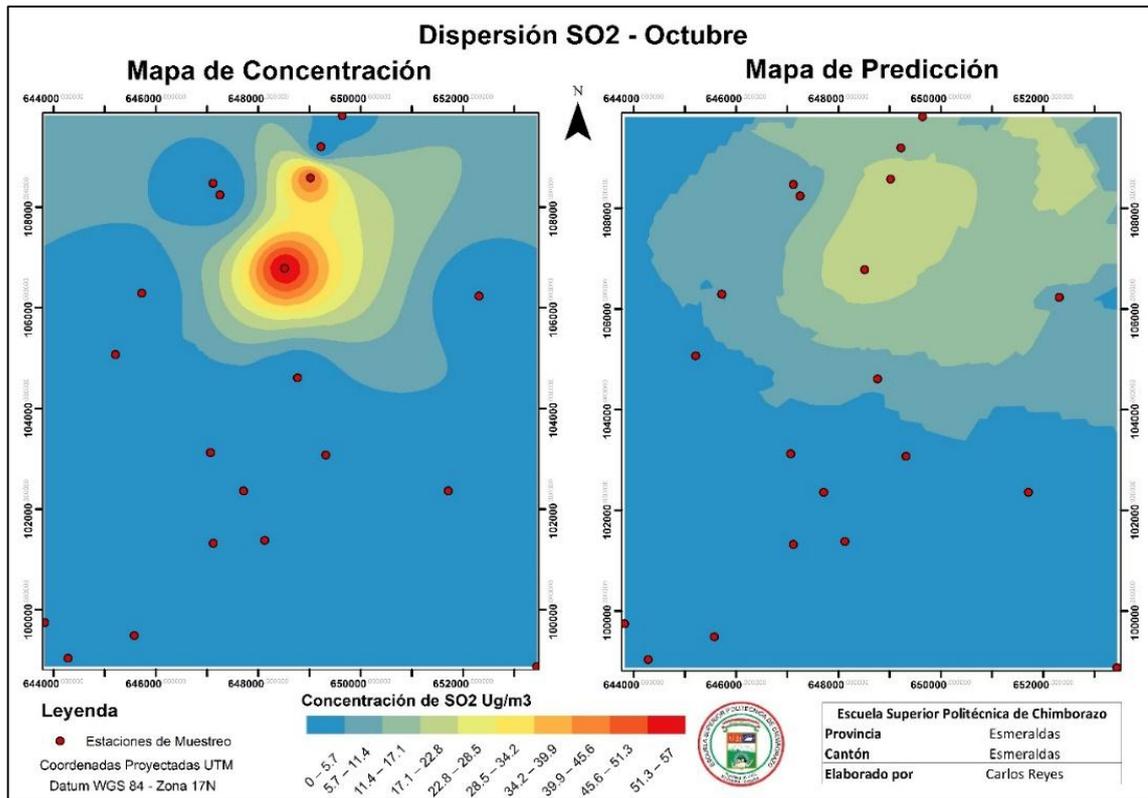
Mapa 18-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Septiembre



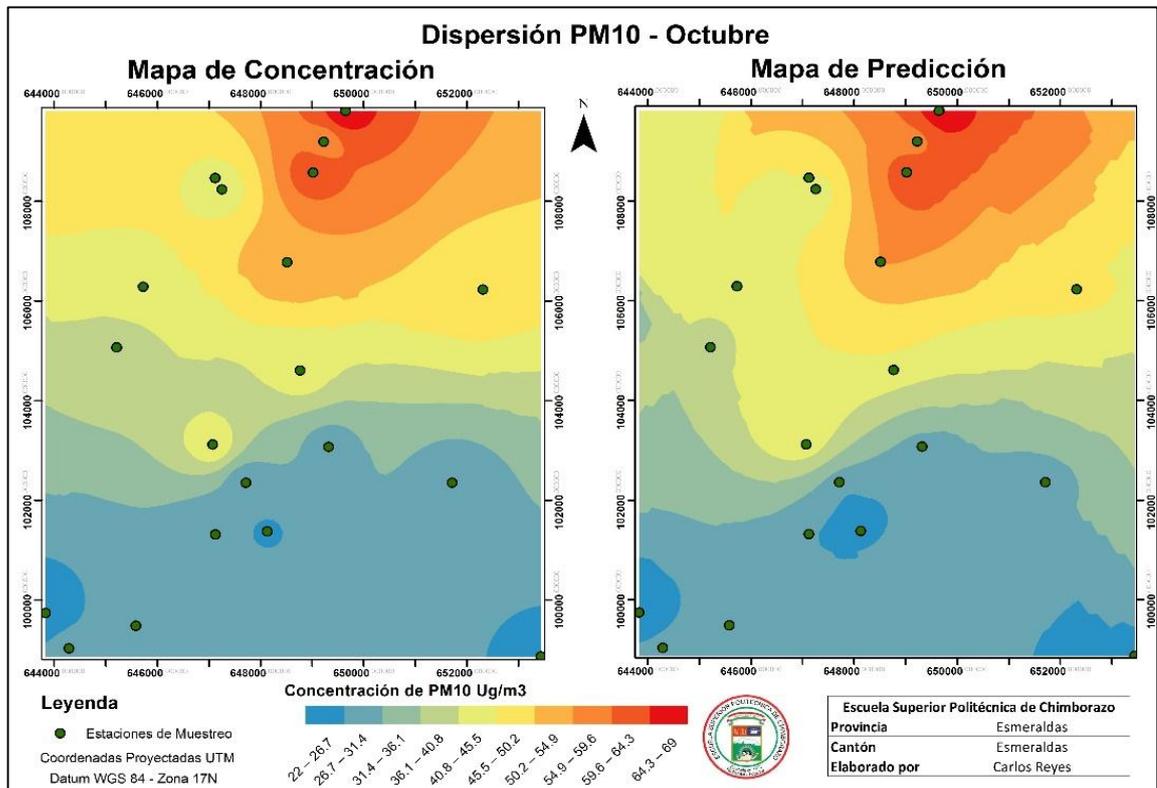
Mapa 19-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Septiembre

4.2.2.10. Octubre

Este mes, fue uno de los dos meses con menos emisiones de SO₂ registradas, de las 18 estaciones solo dos registraron la presencia del contaminante, el resto de estaciones marcaron 0 µg/m³, la mayor concentración en el mes de octubre se registró en el sector de los Almendros con un rango de 51.3 a 57 µg/m³, los valores intermedios se registraron en rangos de 22.8 a 34.2 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 22.8 a 34.2 µg/m³ (Mapa 20-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante; la concentración máxima abarco la zona norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: Barrio Las Palmas y Barrio El Faro con un rango de 64.3 a 69 µg/m³, los sectores de aledaños a la refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 40.8 a 50.2 µg/m³, las concentraciones bajas abarcaron los sectores: Barrio La Concordia, Urb. Tecnipetrol y la estación de muestreo de la Universidad Luis Vargas Torres con concentraciones de 22 a 26.7 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 64.3 a 69 µg/m³ (Mapa 21-4)



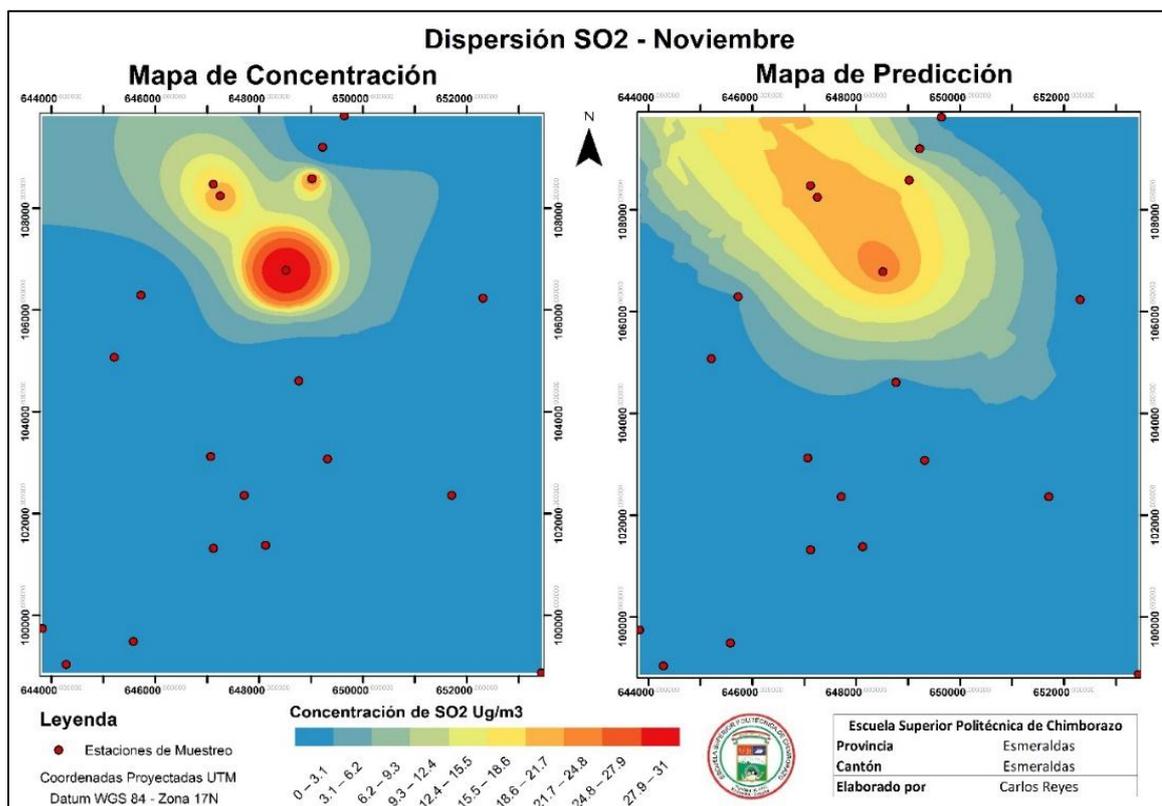
Mapa 20-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Octubre



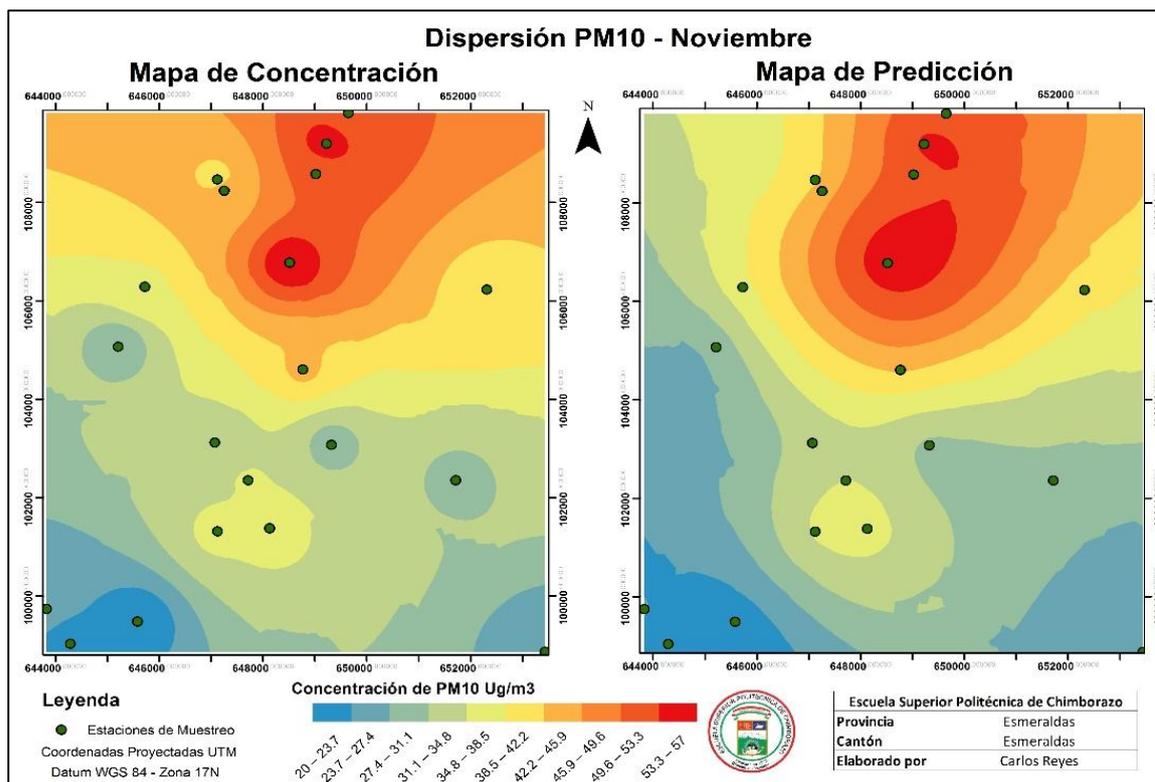
Mapa 21-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Octubre

4.2.2.11. Noviembre

Dieciséis estaciones registraron una concentración de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la presencia de SO_2 se registró solo en 4 estaciones; la mayor concentración se registró en el sector de los Almendros con un rango de 27.9 a 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para las concentraciones intermedias se obtuvieron rangos de 12.4 a 18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 21.7 a 24.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mapa 22-4); para PM_{10} todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en la zona centro norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: barrio El Churero y los Almendros con un rango de 53.3 a 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los sectores aledaños a la Refinería: La Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 34.8 a 42.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los rangos bajos abarcaron sectores como Urb. Costa Verde con concentraciones de 20 a 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 53.3 a 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mapa 23-4).



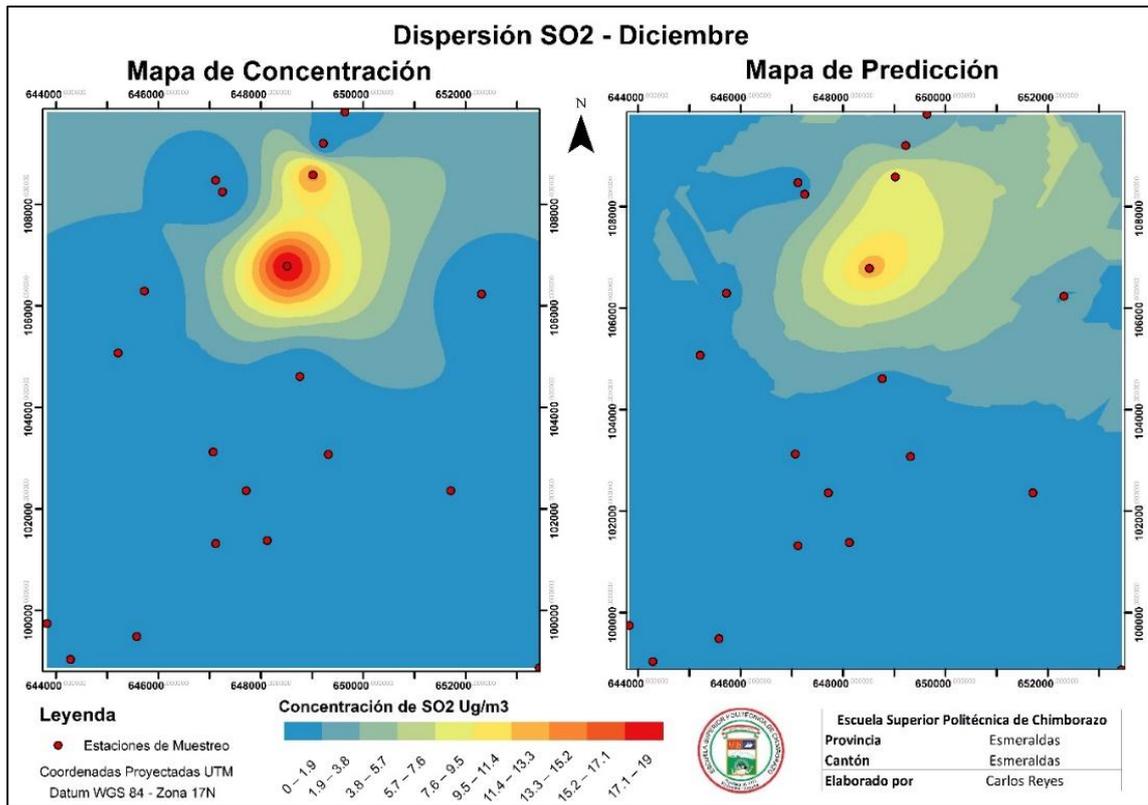
Mapa 22-4. Mapa de dispersión para SO_2 - Noviembre



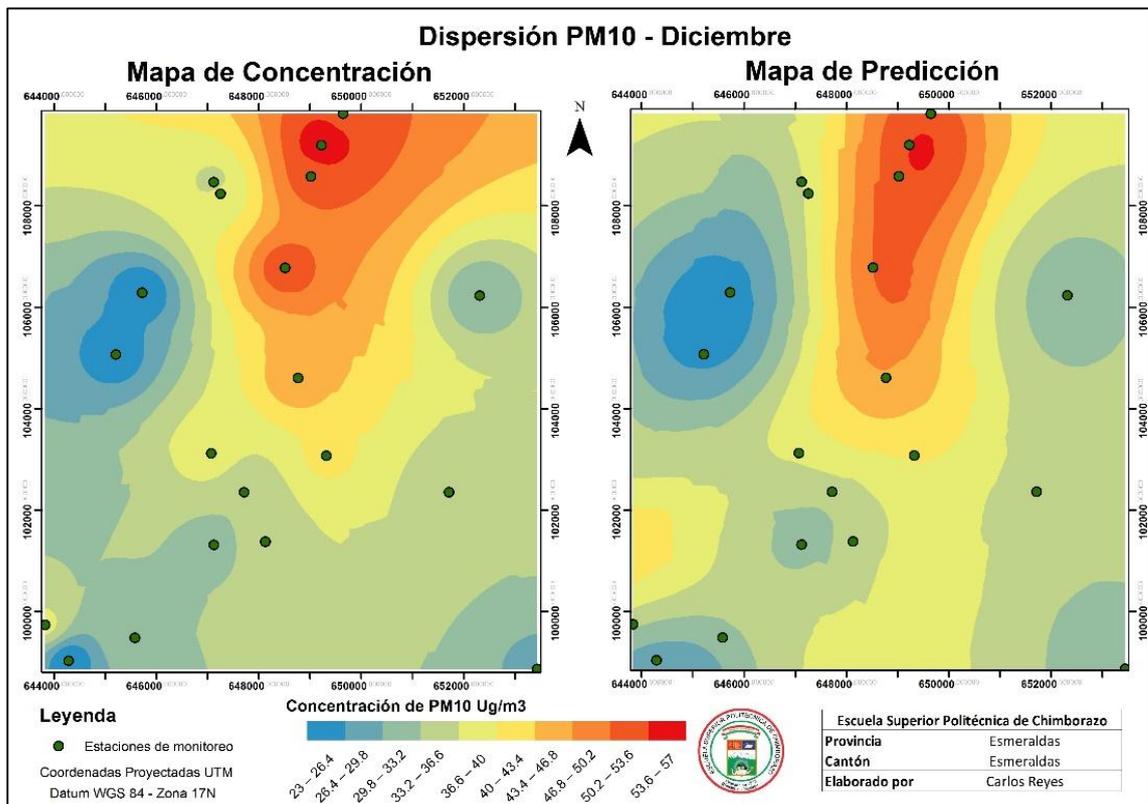
Mapa 23-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Noviembre

4.2.2.12. Diciembre

Diciembre es el segundo mes del año con una menor presencia de SO₂ dentro del área de estudio, solo dos estaciones registraron el contaminante; la mayor concentración de SO₂ se registró en el sector de los Almendros con un rango de 17.1 a 19 µg/m³, los valores intermedios se registraron en rangos de 7.6 a 13.3 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 11.4 a 13.3 µg/m³ (Mapa 24-4), para PM₁₀ todas la estaciones registraron la presencia del contaminante, la concentración máxima se registró en el área que abarca la zona centro norte de la ciudad de Esmeraldas, en los sectores: Barrio Las Palmas, Barrio El Faro, Barrio Coquito Alto, Barrio 14 de Marzo, Barrio El Churero, Santa Cruz, Santa Vainas y los Almendros con un rango de 53.6 a 57 µg/m³, los sectores aledaños a la Refinería: la Tolita 1 y 2, Vuelta Larga, Barrio 15 de Marzo, Codesa y La Victoria, presentaron niveles intermedios de concentración con rangos de 36.6 a 43.4 µg/m³, los rangos bajos abarcaron sectores como: Urb. Costa Verde y las estaciones de muestreo ubicadas en los tanques de almacenamiento 1 y 10 de la Refinería de Esmeraldas con concentraciones de 23 a 26.4 µg/m³, el mapa de dispersión indicó un rango máximo de 50,2 a 53.6 µg/m³ (Mapa 25-4).



Mapa 25-4. Mapa de dispersión para SO₂ - Diciembre



Mapa 24-4. Mapa de dispersión para PM₁₀ - Diciembre

4.2.3. Variación de la Concentración de SO₂

Los valores medios registrados por la estaciones de muestreo durante el año 2015 indicaron que durante el primer semestre del año exceptuando el mes de enero se registraron las valores más altos de concentración del contaminante, los cuales tienen un aumento progresivo desde el mes de febrero con 11.8 µg/m³ hasta llegar a un valor máximo de 17.35 µg/m³ para el mes de junio, para el segundo semestre esta tendencia cambio, mostrándose una clara disminución a partir del mes de julio llegando a un mínimo de 1.65 µg/m³ en el mes de diciembre (Figura 4-4).

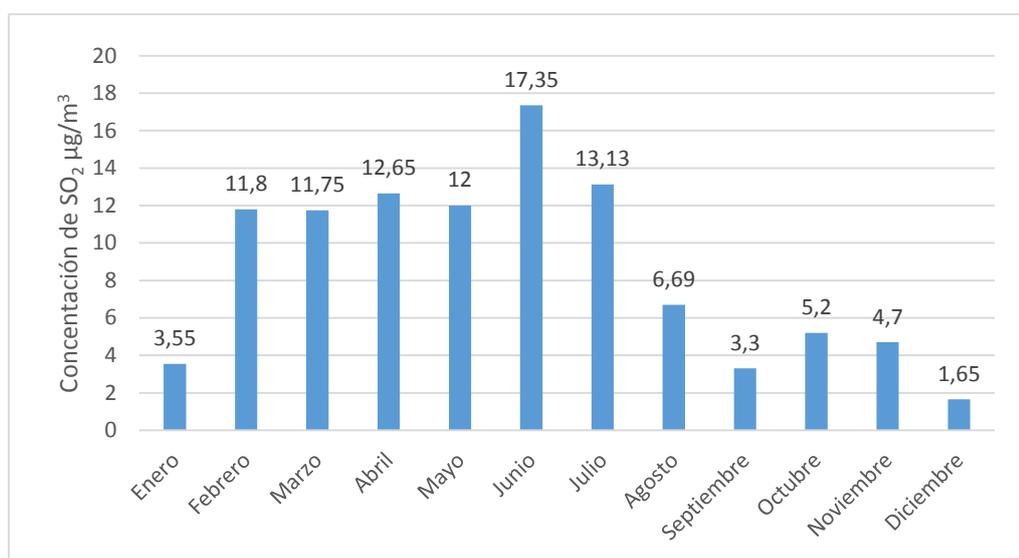


Figura 4-4. Promedio Mensual – Concentración de SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

El mes en que se registró la más alta concentración de SO₂ fue junio con 17.35 µg/m³, se observó que para todos los meses, al menos una estación registró valores altos de SO₂ a excepción del mes de diciembre que registró el valor más bajo de 1.65 µg/m³, como se observó en el apartado de *mapas temáticos de concentración y predicción* existieron zonas donde la concentración del contaminante fue de 0 µg/m³, influenciando directamente a la concentración media calculada por mes, con un primer semestre donde una mayor cantidad de estaciones registraron la presencia del contaminante, con una media de 8.33 estaciones, a diferencia del segundo semestre donde por mes una menor cantidad de estaciones registraron 0 µg/m³ de concentración de SO₂ con una media de 5.16 0 µg/m³, en especial los meses de diciembre y octubre donde solamente dos estaciones registraron la presencia del contaminante (Figura 5-4).

Los valores máximos se registraron en los alrededores de la Refinería, como lo indicaron los mapas de distribución, estos disminuyeron de forma notable para el mes de noviembre y diciembre, esta disminución coincide con la reinauguración de la Refinería de Esmeraldas, luego de la repotenciación establecida por el gobierno de turno, registrándose valores mínimos de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las estaciones aledañas a la Refinería.

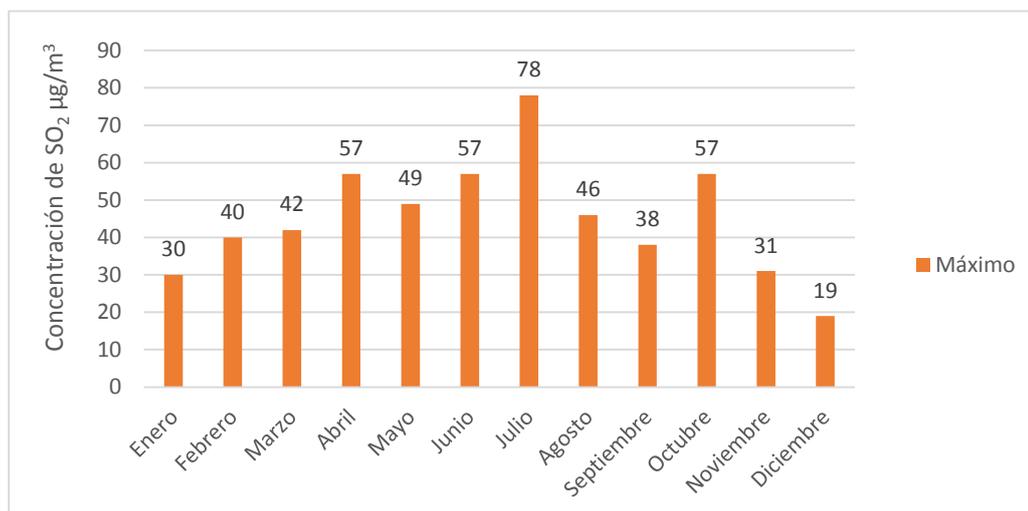


Figura 5-4. Valores máximos mensuales – SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

Analizando las concentraciones medias por estación de muestreo, tenemos que las ubicadas en el cerro Gatazo con 25.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el sector Pararrayos con 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el sector Brisas del Mar Alto con 18.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registraron las mayores concentraciones de SO₂, el resto de estaciones registraron valores entre 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como es el caso de la estación de monitoreo de la Universidad Luis Vargas Torres, única que durante el año no registró la presencia de SO₂ (Figura 6-4).

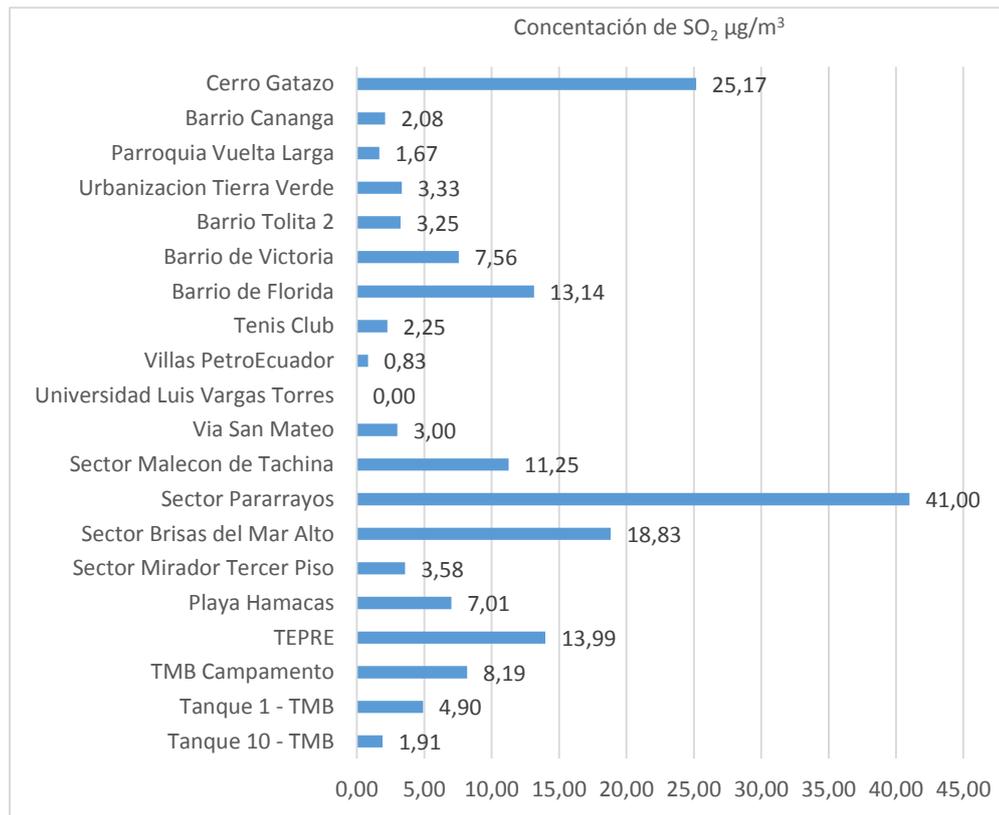


Figura 6-4. Promedio anual por estaciones de monitoreo – SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

Como se observa en la Figura 7-4, la estación Cerro Gatazo fue la que registró la mayor cantidad de SO₂ durante el año, específicamente en el mes de junio con 78 µg/m³, a pesar de esto durante el año no registro concentraciones elevadas lo cual se ve reflejado por la media que registro en el año que es de 25.17 µg/m³, la estación ubicada en el sector Pararrayos le sigue con una concentración de 60 µg/m³, valor registrado también el mes de junio, a diferencia del cerro gatazo esta estación durante el año registro más meses la presencia del contaminante, reflejado en una media de 41 µg/m³, el resto de estaciones a pesar de registrar valores altos de SO₂, durante el año la mayor parte de los registros por estación fueron bajos esto se pone en evidencia en los valores medios mostrados en la figura anterior.

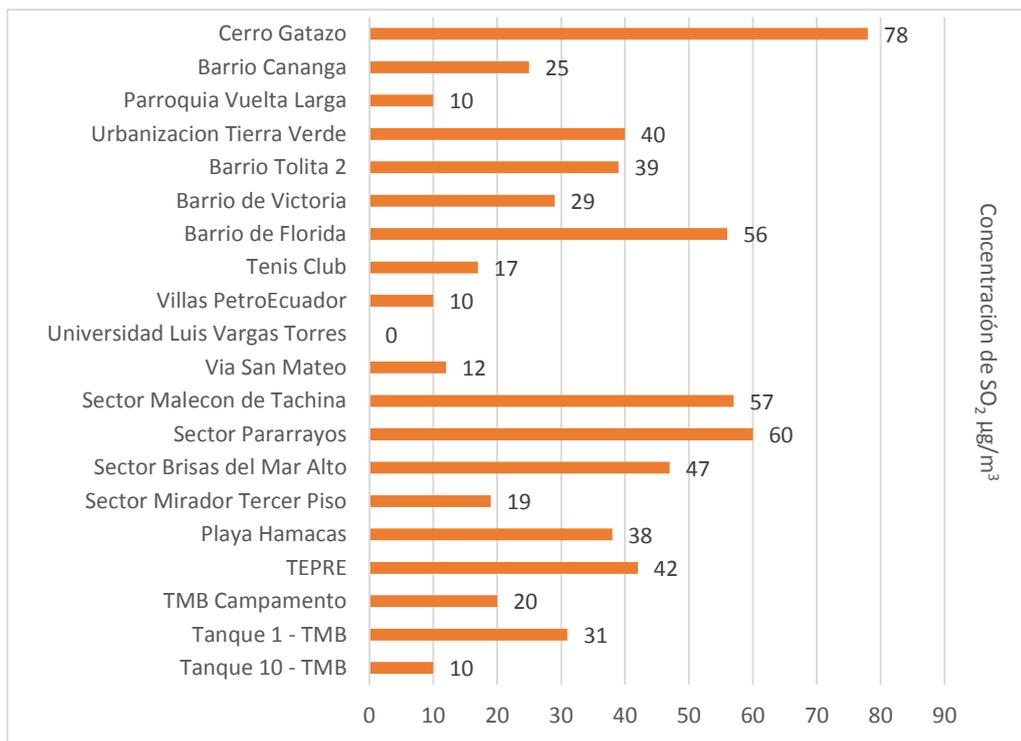


Figura 7-4. Concentración máxima por estaciones de monitoreo – SO₂

Elaborado por: Reyes, C (2017)

4.2.4. Variación de la concentración de PM₁₀

Las concentraciones de PM₁₀ mantuvieron una misma tendencia durante el año, para los meses de enero, febrero, marzo, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se registraron concentraciones que se mantuvieron dentro del rango de los 30 a 40 µg/m³, los meses de mayo y junio alcanzaron 41.45 µg/m³ y 41.8 µg/m³ respectivamente, las concentraciones más altas se registraron en los meses de abril con 47.8 µg/m³ y julio con 46.1 µg/m³, el mes con concentración más baja se registró en enero con 33.8 µg/m³, con una matiz a tener en cuenta que solo existe una diferencia de 1.65 µg/m³ con el siguiente mes de más concentración (Figura 8-4).

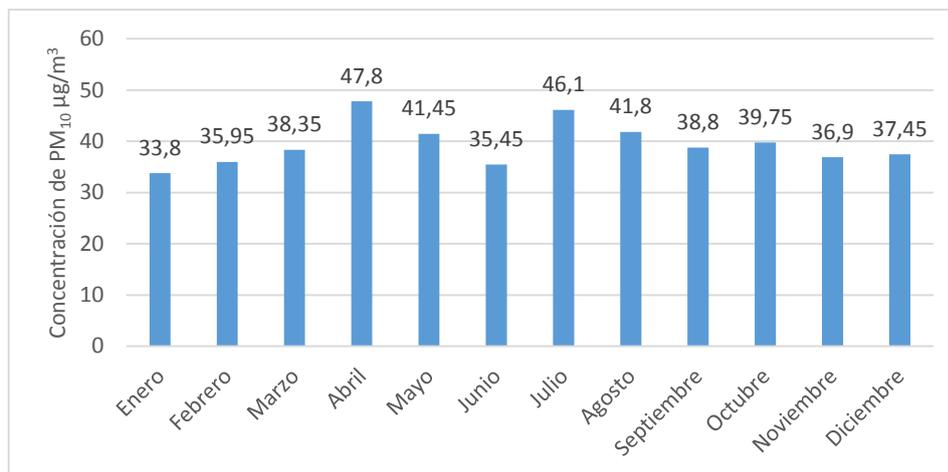


Figura 8-4. Promedio Mensual – Concentración de PM₁₀

Elaborado por: Reyes, C (2017)

Julio y octubre con 69 µg/m³ fueron los meses con más alta concentración de PM₁₀ que se registraron durante el año, como se puede observar en la figura 9-4 todos los meses presentaron concentraciones altas del contaminante, con valores que no descendieron de los 50 µg/m³, por su parte el mes de noviembre presentó la menor concentración de PM₁₀ con una concentración media de 20 µg/m³, se debe recalcar que para el mes de abril la concentración mínima fue de 39 µg/m³, un valor a tener en cuenta, debido a que el resto de meses los valores mínimos no sobrepasaron los 30 µg/m³.

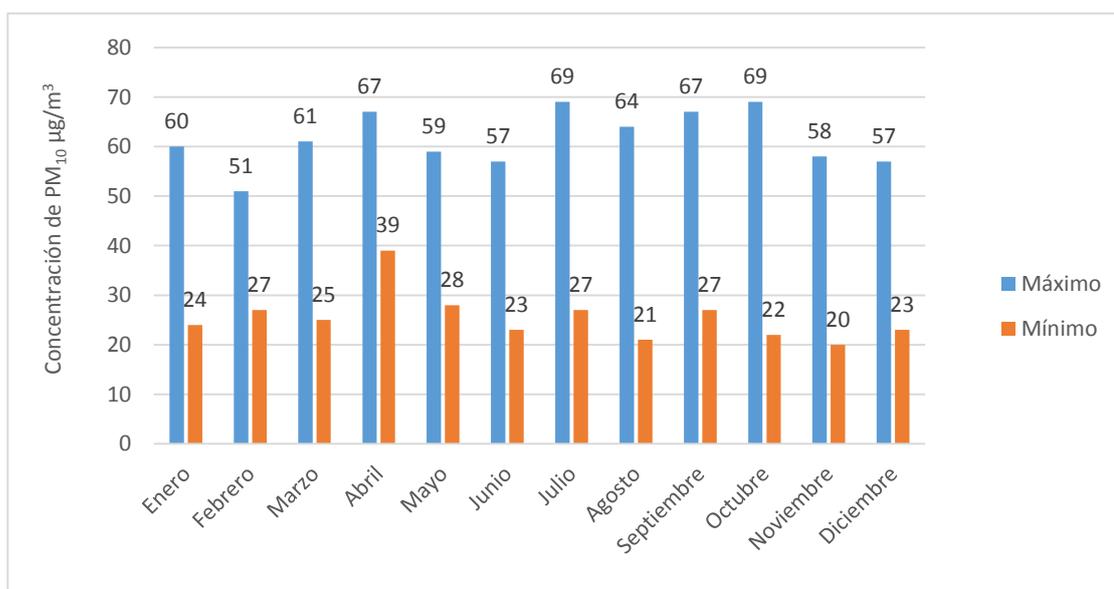


Figura 9-4. Concentraciones máximas y mínimos mensuales – PM₁₀

Elaborado por: Reyes, C (2017)

El análisis realizado por estaciones, indicó que durante el año 4 estaciones: Pararrayos – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Brisas del Mar Alto – 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mirador del Tercer Piso – 55.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Playa Hamacas 58.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registraron las mayores concentraciones de PM_{10} , el resto de estaciones registraron una variación de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando una presencia constante del material particulado en las zonas que abarcan cada una de las estaciones, el promedio más bajo lo registro la estación ubicada en la parroquia Vuelta Larga con una concentración de 28.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 10-4).

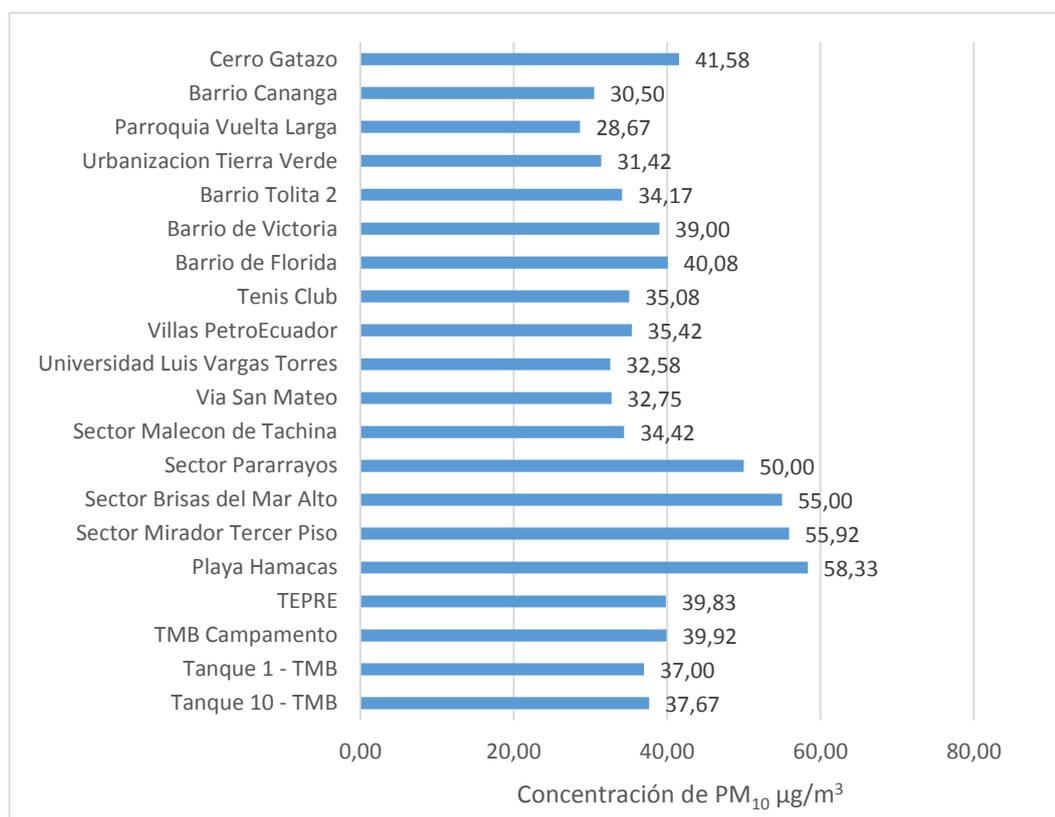


Figura 10-4. Promedio anual por estaciones de monitoreo – PM_{10}

Elaborado por: Reyes, C (2017)

En concordancia con los valores medios, los valores máximos por estación son los registrados por las siguientes estaciones: pararrayos – 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Brisas del Mar Alto – 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mirador Tercer Piso 63 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Playa Hamacas 69 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cabe recalcar que dentro de las concentraciones mínimas los valores más altos que se registran pertenecen a las estaciones antes mencionada, lo que indica que estos sectores durante el años han tenido una presencia continua de altas concentraciones de este contaminante, en especial las áreas circundantes a Playa Hamacas cuyo valor mínimo es de 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el máximo 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en lo que respecta al esto de estaciones se registró un mínimo de 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de Cananga (Grafico 11-4).

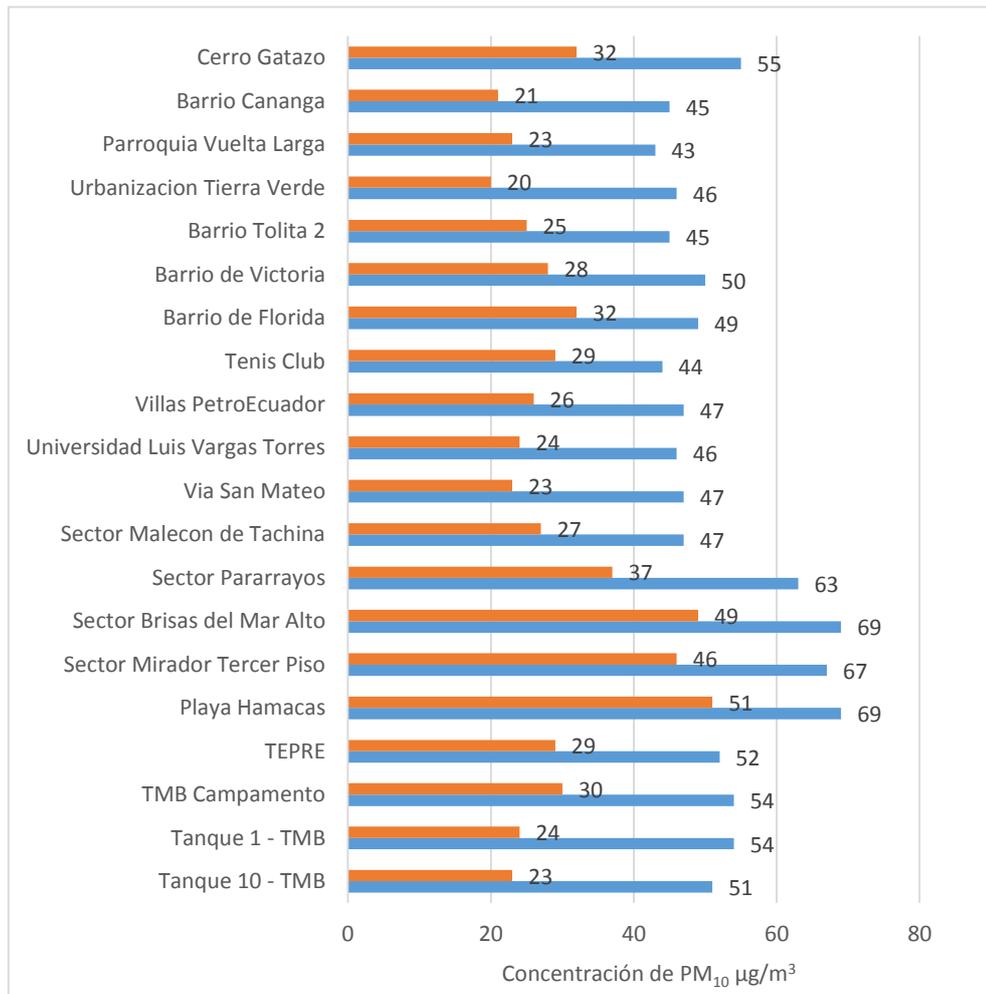


Figura 11-4. Concentraciones máximas y mínimas por estaciones de monitoreo – PM₁₀

Elaborado por: Reyes, C (2017)

4.2. DISCUSIÓN

El análisis exploratorio de datos como lo describen Buzai y Baxendale (2009), resultó ser una herramienta útil e indispensable al momento de generar las primeras aproximaciones del análisis de la información espacial del área de estudio, se determinó que los datos no se acercan a una distribución normal en el caso del SO₂, esto se produjo por la variación existente en los datos registrados por las estaciones dentro del área de estudio, al tener concentraciones de 0 µg/m³ y 78 µg/m³ dentro de un mismo mes; estos valores no se les puede considerar atípicos y se les incluyo dentro del proceso de interpolación por que las estaciones que registraron valores iguales a cero abarcaron un área homogénea, mientras que las estaciones que si registraron la presencia del contaminante se encontraban en sectores específicos y no dispersas unas de otras; con lo que respecta a PM₁₀, están tendencia cambio, los valores registrados se acercaron a una distribución normal, no se alcanzó la misma por la presencia de valores máximos y mínimos que se alejaban de la media; no se recurrió a una transformación logarítmica ya que la diferencia entre la media y mediana registradas en el histograma era mínima, como lo indica López (2014), al dividir la media para la mediana, de obtener valores cercanos a uno se puede considerar una distribución normal de datos; esta no tendencia a una distribución normal se produjo principalmente por la conformación propia de las áreas donde se encontraron las estaciones de muestreo, encontrándose distribuidas en zonas con una mayor densidad poblacional como es el caso de la ciudad de Esmeraldas, un área residencial y zonas boscosas, ocasionando la variabilidad registrada entre las concentraciones que las estaciones registraron.

El modelo de interpolación Kriging elegido para este estudio fue el Ordinario, el mismo entrego los menores errores de predicción, generando un porcentaje de confiabilidad del modelo alto, concordando con lo mencionado por Rodríguez y Heyner (2014), que obtuvo resultados satisfactorios, con errores de predicción reducidos al implementar el modelo Kriging ordinario para modelar la dispersión de PM₁₀ y Sánchez et al., (2015) que menciona en su estudio que la interpolación espacial con el modelo de kriging Ordinario, es una herramienta efectiva para datos dispersos en una superficie, basándose en la correlación espacial de una magnitud, para este estudio la concentración de los contaminantes.

El error de predicción, reflejo los resultados mostrados en el análisis de datos, así en el caso de SO₂, los meses cuyos datos de las estaciones no se acercaron a una distribución normal, presentaron un error mayor alcanzando un porcentajes de 12.42 en el mes de febrero, el cual disminuyo hasta el 5.36 en el mes de enero, en lo que respecta a todo el año se obtuvo un valor medio de 9.64; en lo que respecta a PM₁₀ la tendencia a la normal de los datos se vio reflejado en errores de muestreo inferiores, así para el mes de noviembre se obtuvo el menor error con 5.39,

el más alto fue de 9.66; a pesar de los errores obtenidos para SO₂ se aceptó el modelo de interpolación, tomando en cuenta la distribución y variación de datos obtenidos por las estaciones, consideraciones analizadas y justificadas con el diagrama de caja y el histograma.

Finalizado el proceso de obtención de los mapas, se realizó una comparación entre los mapas de predicción y concentración, se observó como Kriging eliminó los valores máximos y mínimos suavizando las áreas que se generan en las imágenes resultantes, este suavizado se produce ya que el modelo basa su predicción tomando en cuenta la distancia entre puntos, de esta forma los puntos de monitoreo con una menor distancia entre sí, las áreas que se generen tendrán los valores más semejantes a los atributos de los puntos mencionados, que a los correspondientes a zonas más distantes (Moral, 2003); esta fue la principal razón por la que se optó por el modelo de interpolación IDW para elaborar los mapas de concentración, el cual al ser de tipo determinista y exacto, no se apoya en métodos estadísticos (Villatoro et al., 2008), por esta razón, tanto las concentraciones máximas y mínimas se ven representadas en forma de círculos concéntricos alrededor de las estaciones de muestreo, esto resulto útil para identificar zonas críticas de contaminación y los lugares donde los niveles se mantienen bajos.

Los resultados obtenidos por los mapas de concentración y dispersión registraron información que concuerda con lo mencionado por Weng y Yang (2006), donde indican que las mayores concentraciones de los contaminantes en estudio, se registraron en las zonas urbanas antes que los suburbios y zonas rurales, con la consecuente pérdida de la calidad del aire, principalmente en la zona norte de la ciudad de Esmeraldas, en especial en los siguientes sectores: barrio el Faro, barrio el Panecillo, barrio 14 de marzo, barrio el Churero y playa las Palmas; donde se registraron las mayores concentraciones de PM₁₀, estos valores pueden deberse principalmente por la alta circulación vehicular en esta zona, debido a que es un sector turístico, por las playas que allí se encuentran; concordando con lo planteado por Buzzelli (2008) y Kim (2004), que indican que las concentraciones de contaminantes pueden verse agravadas a causa de un mayor tráfico vehicular. Esto se ve reflejado al analizar las estaciones que registraron las menores concentraciones de PM₁₀ durante el año; la imagen satelital y un recorrido por la zona, determinaron que estas áreas tenían poca actividad vehicular, además de una densidad poblacional menor.

En lo referente a las estaciones de monitoreo ubicadas alrededor de la refinera de esmeraldas, estas registraron niveles menores a los registrados por las estaciones ubicadas en la ciudad, lo que indica que la misma no representa un foco alto de contaminación, a diferencia de lo que aporta el parque automotor; como se puede observar en los mapas de distribución y concentración toda el área que abarcan las estaciones de muestreo registraron la presencia de PM₁₀, su distribución

estará regida a los cambios meteorológicos, como las variaciones en la temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de los vientos (Dawson et al., 2009).

Los resultados registrados para SO_2 a diferencia del PM_{10} , registraron su presencia en áreas específicas durante el año, como se observa en los mapas obtenidos, su presencia fue continua principalmente en los sectores de las américas y los almendros con una concentración máxima de $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de julio; cabe recalcar que varios sectores, registraron concentraciones de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en varias estaciones durante el año; analizando cada uno de los mapas podemos decir que ha excepción del mes de junio y julio, el resto de meses más del 50% de las estaciones registraron $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; al igual que con el PM_{10} las mayores concentraciones se registraron en zonas pobladas con alta presencia vehicular, llegando a cero en áreas poco pobladas y aisladas; otro detalle a tener en cuenta es que solamente la estación sector Pararrayos registro al mismo tiempo altas concentraciones de SO_2 y PM_{10} , el resto los resultados son variados donde por lo general se tiene zonas donde se registra PM_{10} pero no SO_2 , esto pudo deberse a las características propias de la climatológicas y topográficas, la densidad de tráfico, la densidad poblacional y los usos del suelo (Londoño et al., 2015).

De acuerdo al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Calidad del Aire Ambiente o nivel de inmisión, los límites máximos permitidos para SO_2 de la media aritmética de las muestras tomadas por las estaciones, la concentración en un año no deberá ser mayor a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el caso de este estudio ninguna de las estaciones sobrepaso este límite, solamente la estación ubicada en el sector pararrayos con $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fue la estación que más alta concentraciones registro; todo lo contrario ocurre con el PM_{10} donde cuatro estaciones registraron valores que sobrepasan e igualan el límite máximo permitido de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un año, Pararrayos – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Brisas del Mar Alto – $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mirador Tercer Piso – $55.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Playa Hamacas – $58.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$; esto implica tomar medidas inmediatas para contrarrestar este aumento de la contaminación, en post de mejorar la calidad de aire y por ende de vida de las personas que allí habitan.

CONCLUSIONES

- Alcanzar un error de predicción bajo está directamente relacionado con que los datos usados alcancen una distribución normal, tomando en cuenta que, al evaluar los datos atípicos, de existir valores fuera de lo normal estos no serán eliminados, mientras estén representando características propias del área que se está evaluando.
- El método de interpolación Kriging Ordinario, permitió determinar cómo se dispersan los contaminantes en el área de estudio, alcanzando un error medio de 6,57 para PM_{10} y de 9.64 para SO_2 , alcanzando una confiabilidad de más del 90% para ambos casos, validando así los resultados obtenidos.
- El proceso de interpolación para SO_2 , represento un caso especial por la diferencia existente entre las concentraciones registradas por las estaciones de muestreo para cada mes, realizado los análisis estadísticos pertinentes, se determinó que estos pueden ser usados, ya que no pueden ser considerados como valores atípicos, tomando en cuenta que las estaciones que registraron concentraciones de $0 \mu g/m^3$ abarcan un área homogénea y que las que sí lo hicieron no están dispersas.
- De acuerdo a los mapas de dispersión, durante todo el año en la parte norte de la ciudad de Esmeraldas principalmente en los sectores de: playa las Palmas, barrio el Faro, Barrio 14 de Marzo, barrio el Churero, los Almendros, Santas Vainas y Santa Cruz, registraron las concentraciones más altas, en el caso del SO_2 el sector de los Almendros registro las mayores concentraciones.
- Durante el año las estaciones que excedieron la norma de legislación ecuatoriana de calidad del aire que tiene como límite máximo $50 \mu g/m^3$, al obtener un promedio medio anual que excede este valor en el caso de PM_{10} son: pararrayos, brisas del mar alto mirador tercer piso y playa hamacas; para el SO_2 ninguna estación excedió el promedio anual que dicta la norma que es de $60 \mu g/m^3$.
- Los mapas de dispersión y concentración, indicaron que en los alrededores de la refinería de esmeraldas no se excedieron los límites máximos para los dos contaminantes en estudio, los rangos se mantuvieron en una media de 30 a $40 \mu g/m^3$, de acuerdo a la literatura citada en este trabajo investigativo, las mayores concentraciones de contaminantes en el aire se registran en zonas con una alta densidad poblacional, donde el parque automotor es grande y son estas zonas dentro del área de estudio las que presentan las concentraciones más altas.

RECOMENDACIONES

- Aumentar el número de contaminantes a ser evaluados, sobre todo en las zonas donde se haya registrado los mayores niveles de contaminación.
- Dar a conocer los resultados a las autoridades de turno de la ciudad de Esmeraldas, lugar donde se determinó existen las mayores concentraciones de PM_{10} y SO_2 .
- Ampliar la presente investigación con la implementación de otros métodos de predicción que permita realizar comparaciones estadísticas con los resultados aquí obtenidos, determinando si existe diferencias significativas con los métodos implementados.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Julio. *Comparación de los métodos: diferencias finitas, elemento finito y kriging aplicados a freaticometría.* [En línea] (Tesis). (Titulación). Universidad Autónoma Agraria, Buenavista, México. 2001. 2005, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, pág. 98.

[Citado el: 10 de enero de 2017]. Disponible en:
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5488/T12874%20AGUILAR%20CLAUDEZ%2C%20JULIO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>

ALDUNATE, P. et al., *Los efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre la salud ciudad de La Paz–Bolivia (3650 msnm).* 2006, Acta Nova, pág. 422.

ALVAREZ , Esperanza. *La eliminación de SO2 en gases de combustión. Catalizadores y adsorbentes para protección ambiental en la región iberoamericana.* 1998, CYTED, págs. 74 - 84.

BALLESTER, Ferran. *Contaminación atmosférica, cambio climático y salud.* 2005, Revista española de salud pública, págs. 159 - 175.

Ballester, F. et al., *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción vol. 73, no 2.* 1999, Revista Española de Salud Pública, págs. 109 - 121.

BENITEZ, Galo. *La refinera estatal de Esmeraldas, un puntal para la economía nacional.* *RED VOLTAIRE.* 21 de Marzo de 2005, pág. 4.

BUZAI, G. et al., *Análisis exploratorio de datos espaciales.* 2009, Geografía y sistemas de información geográfica, págs. 1 - 11.

BUZZELLI, M. *A political ecology of scale in urban air pollution monitoring .* 2008, Transactions of the Institute of British Geographers, págs. 502-517.

DAWSON, J. et al., *Impacts of climate change on regional and urban air in the quality in the Eastern United.* 2009, Journal of Geophysical Research, pág. 114.

FERNÁNDEZ, Jorge. et al., *Inmovilización de hongos ligninolíticos para la remoción del colorante negro reactivo 5*. 2009, Revista Colombiana de Biotecnología , págs. 59-72.

GAITÁN, Mauricio. et al., *Analisis del estado de la calidad del aire en Bogotá*. 2007, Revista de Ingeniería, págs. 81-92.

GARCÍA, Francisco. et al., *Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia*. 2006, Salud Publica, págs. 73 -82.

GARCÍA, F. *Aplicacion de la geoestadistica en las ciencias ambientales*. 2004, Revista ecosistemas.

GARY, James y HANDWERK, Glenn. *Refino de petroleo: tecnología y economía*. Barcelona : Editorial Reverte S.A, 1980.

GIL, L. et al., *Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco*. 1997, Universidad de Chile, págs. 70 - 78.

GILLIES, John. et al. *Long-term efficiencies of dust suppressants to reduce PM10 emissions from unpaved roads*. 1999, Journal of the Air & Waste Management Association, págs. 3 - 16.

GONZÁLEZ, Arturo y GARNICA, Germán. *Modelaje espacial de la influencia de combustibles forestales sobre la regeneración natural de un bosque perturbado*. 2005, Agrociencia, págs. 339 - 349.

JIMÉNEZ, Riaño y QUELVER, Yesid. *Evaluación de la eficiencia de remoción de material particulado y dióxido de azufre (SO₂) en un lavador tipo venturi para una caldera que emplea carbón como combustible*. [En línea] (Tesis). (Maestría). Universidad Nacional de Colombia. 2012. [Citado el: 8 de enero de 2017]. Disponible en: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/evaluacion-eficiencia-remocion-material-particulado-dioxido-azufre-so2-lavador-tipo/id/58339363.html

KIM, J. et al., *Traffic Related Air Pollution near busy roads: The East Bay Children 's*. 2004, American journal of respiratory and critical care medicine, págs. 520-526.

KRAVCHENKO, A. *Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods*. 2003, Soil science society of american journal, págs. 1564 - 1571.

LONDOÑO, Libardo. et al., *Caracterización espacial de PM10 en la ciudad de Medellín mediante modelos geoestadísticos.* 2015, Ingenierías USBmed, págs. 26-35.

LÓPEZ, Fernanda. Distribución espacial de contaminantes gaseosos NO₂, SO₂ y O₃ mediante el método de interpolación determinista y exacto IDW. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador* 2014. [Citado el: 5 de enero de 2017]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4024/1/10623.pdf>.

LOZANO, Z. et al., *Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos.* 2004, Bioagro, págs. 1 - 17.

MICHÉL, René. et al., *Análisis del grado de contaminación del aire en la ciudad de Terija.* 2013, Revista Ventana Científica, pág. 53.

MORAL, Francisco. *La representación gráfica de las variables regionalizadas, geoestadística lineal.* 2003, Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.

MOZUR, Carolina. *Los sistemas de gestión ambiental en la industria petrolera internacional.* 2003, Interciencia, págs. 528 - 533.

O'RYAN, Raúl y LARRAGUIBEL, Luis. *Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones.* 2000, Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile, págs. 2-20.

QUEROL, Xavier. *Calidad del aire, partículas en suspensión y metales.* 2008, Revista española de salud pública, págs. 447-454.

RODRÍGUEZ, R y HEYNER, F. Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá DC. [En línea] (Tesis) (Titulación) *Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.* 2014. [Citado el: 5 de enero de 2017]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13446>.

ROJAS, Guadalupe. et al., *Decoloración del Azul Brillante de Remazol R (RBBR) en presencia de sulfato de cobre por dos nuevas cepas de Trametes sp.* 2010, Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal, págs. 143-154.

ROMERO, Manuel. et al., *La contaminación atmosférica del aire su repercusión como problema de salud.* 2006, Revista cubana de higiene y epidemiología.

SÁNCHEZ, Rubén. et al., *Análisis espacial estimando regiones de riesgo por contaminantes que exceden con más frecuencia la norma en Guadalajara, México*. 2015, Revista Iberoamericana de Ciencias, págs. 65-85.

SIABATO, W y YUDEGO, C. *Geoestadística y medio ambiente.*. 2004, Territorio y medio ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica., págs. 17-18.

SOTTER, Adriana. et al., *Geoestadística aplicada a estudios de contaminación*. 2001, Ingeniería, págs. 31 - 38.

SUÁREZ, Valeria y PÉREZ, Carlos. *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras*. 2006, Acta Nova, pág. 308.

TORRECILLA, Cañada. et al., *Interpolación Espacial y Visualización Cartográfica para el Análisis de la Justicia Ambiental: Ensayo Metodológico sobre la Contaminación por Partículas Atmosféricas en Madrid*. 2011, GeoFocus, págs. 118 - 154 .

VILLATORO, Mario. et al., *Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo*. 2008, Agronomía Costarricense, págs. 95-105.

WENG, Qihao y YANG, Shihong. *Urban air pollution patterns, land use, and thermal landscape: an examination of the linkage using GIS*. 2006, Environmental Monitoring and Assessment. Springer, págs. 463-489.

ANEXOS

ANEXO A. Base de datos SO₂

Tabla 1. Concentración de SO₂ µg/m³ - enero

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	16	TMB Campamento
4	13	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	12	Sector Brisas del Mar Alto
8	30	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas PetroEcuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	0	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 2. Concentración de SO₂ µg/m³ - febrero

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	17	TMB Campamento
4	32	TEPRE
5	38	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	15	Sector Brisas del Mar Alto
8	40	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	26	Barrio de Florida

15	29	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	39	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 3. Concentración de SO₂ µg/m³ - marzo

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	0	TMB Campamento
4	29	TEPRE
5	23	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	0	Sector Brisas del Mar Alto
8	24	Sector Pararrayos
9	27	Sector Malecón de Tachina
10	11	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	39	Barrio Tolita 2
17	40	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	42	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 4.- Concentración de SO₂ µg/m³ - abril

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	10	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	0	TMB Campamento
4	0	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	19	Sector Brisas del Mar Alto
8	53	Sector Pararrayos
9	57	Sector Malecón de Tachina
10	10	Vía San Mateo

11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	17	Tenis Club
14	18	Barrio de Florida
15	28	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	41	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 5. Concentración de SO₂ - mayo

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	10	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	0	TMB Campamento
4	0	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	25	Sector Brisas del Mar Alto
8	43	Sector Pararrayos
9	49	Sector Malecón de Tachina
10	12	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	10	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	10	Barrio de Florida
15	17	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	10	Parroquia Vuelta Larga
19	25	Barrio Cananga
20	29	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 6. Concentración de SO₂ µg/m³ - junio

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	31	Tanque 1 - TMB
3	15	TMB Campamento
4	42	TEPRE
5	8	Playa Hamacas
6	19	Sector Mirador Tercer Piso

7	32	Sector Brisas del Mar Alto
8	51	Sector Pararrayos
9	2	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	10	Tenis Club
14	56	Barrio de Florida
15	14	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	10	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	57	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 7. Concentración de SO₂ µg/m³ - julio

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	25	Tanque 1 - TMB
3	10	TMB Campamento
4	8.7	TEPRE
5	6.9	Playa Hamacas
6	11	Sector Mirador Tercer Piso
7	19	Sector Brisas del Mar Alto
8	60	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	3	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	41	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	78	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 8. Concentración de SO₂ µg/m³ - agosto

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	2.9	Tanque 10 - TMB
2	2.8	Tanque 1 - TMB
3	5.3	TMB Campamento
4	9.2	TEPRE
5	8.2	Playa Hamacas
6	13	Sector Mirador Tercer Piso
7	21	Sector Brisas del Mar Alto
8	46	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	6.7	Barrio de Florida
15	2.7	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	16	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 9. Concentración de SO₂ µg/m³ - septiembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	15	TMB Campamento
4	13	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	0	Sector Brisas del Mar Alto
8	38	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas PetroEcuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga

19	0	Barrio Cananga
20	0	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 10. Concentración de SO₂ µg/m³ - octubre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	0	TMB Campamento
4	0	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	47	Sector Brisas del Mar Alto
8	57	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	0	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 11. Concentración de SO₂ µg/m³ - noviembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	20	TMB Campamento
4	21	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	22	Sector Brisas del Mar Alto
8	31	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas PetroEcuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida

15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	0	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 12. Concentración de SO₂ µg/m³ - diciembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	0	Tanque 10 - TMB
2	0	Tanque 1 - TMB
3	0	TMB Campamento
4	0	TEPRE
5	0	Playa Hamacas
6	0	Sector Mirador Tercer Piso
7	14	Sector Brisas del Mar Alto
8	19	Sector Pararrayos
9	0	Sector Malecón de Tachina
10	0	Vía San Mateo
11	0	Universidad Luis Vargas Torres
12	0	Villas Petroecuador
13	0	Tenis Club
14	0	Barrio de Florida
15	0	Barrio de Victoria
16	0	Barrio Tolita 2
17	0	Urbanización Tierra Verde
18	0	Parroquia Vuelta Larga
19	0	Barrio Cananga
20	0	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

ANEXO B. Base de datos para PM₁₀

Tabla 1. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - enero

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	30	Tanque 10 - TMB
2	32	Tanque 1 - TMB
3	35	TMB Campamento
4	30	TEPRE
5	60	Playa Hamacas
6	52	Sector Mirador Tercer Piso
7	49	Sector Brisas del Mar Alto
8	37	Sector Pararrayos

9	33	Sector Malecón de Tachina
10	28	Vía San Mateo
11	31	Universidad Luis Vargas Torres
12	28	Villas Petroecuador
13	29	Tenis Club
14	32	Barrio de Florida
15	31	Barrio de Victoria
16	30	Barrio Tolita 2
17	26	Urbanización Tierra Verde
18	24	Parroquia Vuelta Larga
19	25	Barrio Cananga
20	34	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 2. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - febrero

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	35	Tanque 10 - TMB
2	36	Tanque 1 - TMB
3	32	TMB Campamento
4	33	TEPRE
5	51	Playa Hamacas
6	46	Sector Mirador Tercer Piso
7	49	Sector Brisas del Mar Alto
8	42	Sector Pararrayos
9	27	Sector Malecón de Tachina
10	29	Vía San Mateo
11	39	Universidad Luis Vargas Torres
12	32	Villas Petroecuador
13	31	Tenis Club
14	35	Barrio de Florida
15	43	Barrio de Victoria
16	33	Barrio Tolita 2
17	36	Urbanización Tierra Verde
18	27	Parroquia Vuelta Larga
19	31	Barrio Cananga
20	32	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 3. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - marzo

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	33	Tanque 10 - TMB
2	35	Tanque 1 - TMB
3	45	TMB Campamento
4	44	TEPRE
5	57	Playa Hamacas
6	61	Sector Mirador Tercer Piso
7	53	Sector Brisas del Mar Alto
8	47	Sector Pararrayos
9	33	Sector Malecón de Tachina
10	30	Vía San Mateo
11	27	Universidad Luis Vargas Torres
12	38	Villas Petroecuador
13	33	Tenis Club
14	41	Barrio de Florida
15	38	Barrio de Victoria
16	37	Barrio Tolita 2
17	27	Urbanización Tierra Verde
18	25	Parroquia Vuelta Larga
19	28	Barrio Cananga
20	35	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 4. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - abril

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	51	Tanque 10 - TMB
2	54	Tanque 1 - TMB
3	48	TMB Campamento
4	44	TEPRE
5	65	Playa Hamacas
6	67	Sector Mirador Tercer Piso
7	53	Sector Brisas del Mar Alto
8	50	Sector Pararrayos
9	45	Sector Malecón de Tachina
10	47	Vía San Mateo
11	39	Universidad Luis Vargas Torres
12	39	Villas Petroecuador
13	41	Tenis Club
14	44	Barrio de Florida
15	42	Barrio de Victoria
16	45	Barrio Tolita 2
17	46	Urbanización Tierra Verde
18	43	Parroquia Vuelta Larga
19	45	Barrio Cananga

20	48	Cerro Gatazo
----	----	--------------

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 5. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - mayo

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	43	Tanque 10 - TMB
2	40	Tanque 1 - TMB
3	50	TMB Campamento
4	52	TEPRE
5	59	Playa Hamacas
6	48	Sector Mirador Tercer Piso
7	49	Sector Brisas del Mar Alto
8	47	Sector Pararrayos
9	28	Sector Malecón de Tachina
10	30	Vía San Mateo
11	28	Universidad Luis Vargas Torres
12	41	Villas Petroecuador
13	38	Tenis Club
14	44	Barrio de Florida
15	43	Barrio de Victoria
16	39	Barrio Tolita 2
17	35	Urbanización Tierra Verde
18	33	Parroquia Vuelta Larga
19	36	Barrio Cananga
20	46	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 6. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - junio

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	35	Tanque 10 - TMB
2	37	Tanque 1 - TMB
3	30	TMB Campamento
4	33	TEPRE
5	53	Playa Hamacas
6	57	Sector Mirador Tercer Piso
7	49	Sector Brisas del Mar Alto
8	50	Sector Pararrayos
9	27	Sector Malecón de Tachina
10	23	Vía San Mateo
11	36	Universidad Luis Vargas Torres
12	29	Villas Petroecuador
13	32	Tenis Club
14	34	Barrio de Florida
15	43	Barrio de Victoria
16	25	Barrio Tolita 2

17	26	Urbanización Tierra Verde
18	27	Parroquia Vuelta Larga
19	24	Barrio Cananga
20	39	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 7. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - julio

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	45	Tanque 10 - TMB
2	43	Tanque 1 - TMB
3	54	TMB Campamento
4	51	TEPRE
5	55	Playa Hamacas
6	60	Sector Mirador Tercer Piso
7	69	Sector Brisas del Mar Alto
8	53	Sector Pararrayos
9	27	Sector Malecón de Tachina
10	40	Vía San Mateo
11	31	Universidad Luis Vargas Torres
12	47	Villas Petroecuador
13	42	Tenis Club
14	49	Barrio de Florida
15	50	Barrio de Victoria
16	41	Barrio Tolita 2
17	34	Urbanización Tierra Verde
18	39	Parroquia Vuelta Larga
19	37	Barrio Cananga
20	55	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 8- Concentración de PM₁₀ µg/m³ – agosto

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	36	Tanque 10 - TMB
2	35	Tanque 1 - TMB
3	31	TMB Campamento
4	29	TEPRE
5	60	Playa Hamacas
6	55	Sector Mirador Tercer Piso
7	64	Sector Brisas del Mar Alto
8	63	Sector Pararrayos
9	41	Sector Malecón de Tachina
10	42	Vía San Mateo
11	46	Universidad Luis Vargas Torres
12	39	Villas Petroecuador
13	44	Tenis Club

14	45	Barrio de Florida
15	48	Barrio de Victoria
16	37	Barrio Tolita 2
17	32	Urbanización Tierra Verde
18	24	Parroquia Vuelta Larga
19	21	Barrio Cananga
20	44	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 9. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - septiembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	40	Tanque 10 - TMB
2	41	Tanque 1 - TMB
3	34	TMB Campamento
4	37	TEPRE
5	67	Playa Hamacas
6	55	Sector Mirador Tercer Piso
7	59	Sector Brisas del Mar Alto
8	46	Sector Pararrayos
9	35	Sector Malecón de Tachina
10	31	Vía San Mateo
11	36	Universidad Luis Vargas Torres
12	33	Villas Petroecuador
13	32	Tenis Club
14	40	Barrio de Florida
15	35	Barrio de Victoria
16	29	Barrio Tolita 2
17	32	Urbanización Tierra Verde
18	27	Parroquia Vuelta Larga
19	35	Barrio Cananga
20	32	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinera Esmeraldas

Tabla 10. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - octubre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	43	Tanque 10 - TMB
2	39	Tanque 1 - TMB
3	45	TMB Campamento
4	42	TEPRE
5	69	Playa Hamacas
6	57	Sector Mirador Tercer Piso
7	64	Sector Brisas del Mar Alto
8	55	Sector Pararrayos
9	47	Sector Malecón de Tachina
10	29	Vía San Mateo

11	25	Universidad Luis Vargas Torres
12	26	Villas Petroecuador
13	29	Tenis Club
14	45	Barrio de Florida
15	28	Barrio de Victoria
16	27	Barrio Tolita 2
17	30	Urbanización Tierra Verde
18	29	Parroquia Vuelta Larga
19	22	Barrio Cananga
20	44	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 11. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - noviembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	38	Tanque 10 - TMB
2	28	Tanque 1 - TMB
3	40	TMB Campamento
4	45	TEPRE
5	51	Playa Hamacas
6	56	Sector Mirador Tercer Piso
7	50	Sector Brisas del Mar Alto
8	58	Sector Pararrayos
9	40	Sector Malecón de Tachina
10	30	Vía San Mateo
11	24	Universidad Luis Vargas Torres
12	37	Villas Petroecuador
13	29	Tenis Club
14	32	Barrio de Florida
15	35	Barrio de Victoria
16	36	Barrio Tolita 2
17	20	Urbanización Tierra Verde
18	23	Parroquia Vuelta Larga
19	24	Barrio Cananga
20	43	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas

Tabla 12. Concentración de PM₁₀ µg/m³ - diciembre

Id	Concentración µg/m³	Descripción
1	23	Tanque 10 - TMB
2	24	Tanque 1 - TMB
3	35	TMB Campamento
4	38	TEPRE
5	53	Playa Hamacas
6	57	Sector Mirador Tercer Piso
7	52	Sector Brisas del Mar Alto

8	53	Sector Pararrayos
9	30	Sector Malecón de Tachina
10	34	Vía San Mateo
11	29	Universidad Luis Vargas Torres
12	36	Villas Petroecuador
13	41	Tenis Club
14	40	Barrio de Florida
15	32	Barrio de Victoria
16	31	Barrio Tolita 2
17	33	Urbanización Tierra Verde
18	23	Parroquia Vuelta Larga
19	38	Barrio Cananga
20	47	Cerro Gatazo

Fuente: Monitoreo de calidad del aire en el área de influencia de la refinería Esmeraldas