

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**“ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LAS
CONCENTRACIONES DE NO₂, O₃, SO₂ y BTX PROVENIENTES DE
ZONAS DE ALTA CONCENTRACIÓN POBLACIONAL Y ALTO
TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE
QUITO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOESTADÍSTICAS”**

**Previa a la obtención del Título de: INGENIERA GEÓGRAFA Y
DEL MEDIO AMBIENTE**

ELABORADO POR:

ANDREA XIMENA ECHEVERRIA ECHEVERRIA

SANGOLQUÍ, 25 DE ENERO DE 2012

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NO₂, O₃, SO₂ y BTX PROVENIENTES DE ZONAS DE ALTA CONCENTRACIÓN POBLACIONAL Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOESTADÍSTICAS”, tiene por objetivo modelar espacialmente la variación de las concentraciones de NO₂, O₃, SO₂ y BTX provenientes de zonas de alta concentración poblacional y alto tráfico vehicular en 8 Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito.

El desenvolvimiento y uso de los Sistemas de Información Geográfica ha venido creciendo visiblemente y evolucionando durante la última década permitiendo de ésta manera que se alcancen valiosos logros en aquellos sectores en donde se requiere de gestión y análisis de información espacial de manera rápida y eficaz

Esto apunta a que la era del mapa digital en SIG está siendo sobrepasada por la demanda de análisis geográficos más específicos y avanzados y que en lo futuro será necesario incorporar procedimientos analíticos más adecuados para la presentación de datos geográficos.

La teoría de los métodos Geoestadísticos, es una aproximación de interpolación, la cual está basada en el concepto de correlación espacial de los datos geográficos. Es usada principalmente cuando la variación del atributo es tan irregular y la densidad de puntos es tan grande que tanto los métodos globales y locales no son factibles; es cuando la geoestadística proporciona estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación y con este proyecto de investigación se pretende mostrar cartográficamente la variabilidad de las concentraciones dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

SUMMARY

This research paper called "Spatial patterns of variation in concentrations of NO₂, O₃, SO₂, BTX in areas from high population concentration and high traffic in the Distrito Metropolitano of Quito, using tools of geostatistics", aims modeling the spatial variation in concentrations of NO₂, O₃, SO₂ and BTX from areas of high population density and high traffic in 8 Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito.

The development and use of Geographic Information Systems has been visibly growing and evolving over the last decade, thus allowing the attainment of valuable achievements in those areas where it requires management and analysis of spatial information quickly and efficiently.

This suggests that the era of digital map in GIS is being overwhelmed by demand for more specific geographic analysis and advanced and in the future will need to incorporate appropriate analytical procedures for the presentation of geographic data.

The theory of geostatistical methods, interpolation is an approximation, which is based on the concept of spatial correlation of geographic data. It is used primarily when the attribute variation is so irregular and the density of points is so great that both global and local methods are not feasible, is when geostatistics provides probabilistic estimates of the quality of the interpolation and this research project cartographically aims to show the variability of concentrations within the Metropolitano de Quito.

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRAFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICADO

Nosotros: ING. MARCO LUNA y QUIM.ERIKA MURGUEITIO

CERTIFICAN

Que, el Proyecto de grado titulado “ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NO₂, O₃, SO₂ y BTX PROVENIENTES DE ZONAS DE ALTA CONCENTRACIÓN POBLACIONAL Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOESTADÍSTICAS”, realizado por la señorita ANDREA XIMENA ECHEVERRÍA ECHEVERRÍA ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. Francisco León L., en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, 12 de Enero de 2012

Ing. Marco Luna
DIRECTOR

Quim. Erika Murgueitio
CODIRECTORA

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Andrea Ximena Echeverría Echeverría

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NO₂, O₃, SO₂ y BTX PROVENIENTES DE ZONAS DE ALTA CONCENTRACIÓN POBLACIONAL Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOESTADÍSTICAS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 12 de Enero de 2012.

Andrea Ximena Echeverría Echeverría
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL
MEDIO AMBIENTE**

A U T O R I Z A C I Ó N

Yo, Andrea Ximena Echeverría Echeverría

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NO₂, O₃, SO₂ y BTX PROVENIENTES DE ZONAS DE ALTA CONCENTRACIÓN POBLACIONAL Y ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOESTADÍSTICAS” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 12 de Enero de 2012.

Andrea Ximena Echeverría Echeverría

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado para a las cuatro mujeres de mi vida, mi Madre Auxiliadora, mi Mami Ximena Echeverría Haro, Rosita Ormaza y mi Tía Carmita; porque ellas son mi fuente diaria y constante de inspiración, lo que me ha impulsado a seguir superándome cada día y a salir adelante. Las quiero muchísimo y les dedico este trabajo porque, yo soy lo que soy por ustedes y gracias a ustedes.

Andrea Ximena Echeverría Echeverría

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento desde lo más profundo de mi corazón de igual manera a las cuatro mujeres de mi vida, gracias al apoyo incondicional por siempre extenderme una mano cuando más lo he necesitado, por darme una palabra de aliento y por su apoyo incondicional, todo esto ha contribuido para culminar con éxito este y otros capítulos de mi vida.

Mi agradecimiento al hombre que amo, Franklin, por estar siempre conmigo apoyándome, dándome una mano y una palabra de aliento en los momentos buenos y también en los difíciles.....

Mi agradecimiento a todas aquellas personas quienes supieron guiarme y ayudarme durante el desarrollo de este trabajo de tesis, de manera especial a David, José, Alex y Moni quienes constantemente me brindaron todo su apoyo.

Mi agradecimiento a la Escuela Politécnica del Ejército porque en ella pase momentos inolvidables, y a sus profesores por brindar una educación de calidad a sus estudiantes y particularmente al Ing. Marco Luna Director y la Quim. Erika Murgueitio Codirectora de tesis.

Andrea Ximena Echeverría Echeverría

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Andrea Ximena Echeverría Echeverría

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

Ing. Francisco León

DELEGADO UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Dr. Marcelo Mejía

Sangolquí, 12 de Enero de 2012

ÍNDICE

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS	ix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2. Justificación e importancia	3
1.3. Descripción del área de estudio	5
1.4. Datos generales del área de estudio.....	6
1.5. Identificación del problema.....	7
1.6. Objetivos	7
1.6.1. General.....	7
1.6.2. Específicos	8
1.7. Identificación de los actores	8
CAPÍTULO II	9
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	9
2.1 Definición de NO ₂ , O ₃ , SO ₂ y BTX	9
2.1.1 Dióxido de Nitrógeno:	9
2.1.2 Ozono	10
2.1.3 Dióxido de azufre.....	11
2.1.4 Benceno, tolueno y xileno – BTX.....	12
2.1.4.1 Benceno	12
2.1.4.2 Tolueno	13
2.1.4.3 Xileno	13
2.2 Importancia de NO ₂ , O ₃ , SO ₂ y BTX.....	14
2.2.1 Dióxido de Nitrógeno:	14
2.2.2 Ozono:	15
2.2.3 Dióxido de azufre:.....	17
2.2.4 Benceno, Tolueno y Xileno – BTX.....	18

2.2.4.1 Benceno	18
2.2.4.2 Tolueno	18
2.2.4.3 Xileno	19
2.3 Toxicidad de cada uno de los contaminantes	19
2.3.1 Dióxido de Nitrógeno:	19
2.3.2 Ozono:	21
2.3.3 Dióxido de azufre:	22
2.3.4 Benceno, Tolueno y Xileno - BTX:	23
2.3.4.1 Benceno	23
2.3.4.2 Tolueno	24
2.3.4.1 Xileno	25
2.4 Límites máximos permitidos según Normativa Ecuatoriana	26
2.5 Origen de la Geoestadística	27
2.6 Definición de Geoestadística	28
2.7 Variables Regionalizadas	30
2.8 Variograma	32
2.9 Semivariograma	33
2.10 Modelos teóricos de semivarianza	35
2.10.1 Modelo Esférico	35
2.10.2 Modelo Exponencial	36
2.10.3 Modelo Gaussiano	37
2.10.4 Modelo Monómico	38
2.10.5 Modelo de Independencia	38
2.11 Predicción espacial	40
2.11.1 Predicción Espacial Óptima	40
2.11.2 Definición de Kriging	40
2.11.2.1 Kriging ordinario	43
2.11.2.2 Kriging simple	44
2.11.2.3 Kriging por bloques	44
2.11.2.4 Kriging universal	45
2.11.2.5 Kriging residual	45
2.11.2.6 Kriging indicador	46
2.11.2.7 Kriging log normal y multigaussiano	46
CAPITULO III	47
MODELAMIENTO Y APLICACIÓN GEOESTADÍSTICA	47
3.1 Descripción del área de estudio	47
3.2 Localización de las principales características	51

3.3	Análisis exploratorio de los datos	53
3.3.1	Distribución Normal	54
3.3.3	Organización de Información	55
3.3.4	Tabla de Frecuencias	57
3.3.5	Histograma de Frecuencias	59
3.3.6	Cálculo de Parámetros Geoestadísticos.....	59
3.3.6.1	Medidas de tendencia central	59
3.3.6.2	Medidas de dispersión	61
(ec. 3.6)	61
3.3.6.3	Medidas de distribución	62
3.5	Verificación de la normalidad	65
3.5.1	Con respecto a la media, moda y mediana	65
3.5.2	Con respecto a la asimetría horizontal (coeficiente de asimetría, sesgo).....	66
3.5.3	Con respecto al coeficiente de variación	66
3.6	Procedimiento para el análisis exploratorio de los datos en el software Variowin 2.2 y ArcGis 9.2.....	67
3.6.1	Procedimiento para el modelamiento de datos con el software Variowin 2.2.....	68
3.6.2	Procedimiento para el modelamiento de datos con el software ArcGis 9.2.....	77
CAPÍTULO IV.....		86
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		86
4.1	Red de Monitoreo Pasivo.....	86
4.2	Análisis exploratorio de los datos.....	87
4.3	Selección del mejor interpolador para cada variable utilizando técnicas geoestadísticas	117
CAPÍTULO V		137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		140

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades físicas del Dióxido de Nitrógeno	9
Tabla 2.2 Propiedades físicas del Ozono	11
Tabla 2.3 Propiedades físicas del Dióxido de azufre.....	11
Tabla 2.4 Propiedades físicas del Benceno	12
Tabla 2.5 Propiedades físicas del Tolueno	13
Tabla 2.6 Propiedades físicas del Xileno	14
Tabla 2.7 Resumen de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente	26
Tabla 2.8 Concentración (límites inferiores) de contaminantes comunes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) que	26
Tabla 2.9 Tipos de predictores krigging y sus propiedades	41
Tabla 3.1 Tabla de Variable a Trabajar	55
Tabla 3.2 Muestra de Información de O_3 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ disponible del año 2010.....	56
Tabla 3.3 Tabla de Distribución de Frecuencias	57
Tabla 3.4 Tabla de Frecuencias O_3 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2009	58
Tabla 3.5 Tabla de cálculo de parámetros geoestadísticos de O_3 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2009	64
Tabla 3.6 Tabla de Verificación de Normalidad de O_3 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2009	65
Tabla 4.1 Tabla Resumen de estadísticos descriptivos de la variable NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2006	87
Tabla 4.2 Tabla Resumen de parámetros geoestadísticos de la variable NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2006.....	88
Tabla 4.3 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la Variable O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2006	89
Tabla 4.4 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la Variable O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2006	89
Tabla 4.5 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2007	90
Tabla 4.6 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2007.....	91
Tabla 4.7 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2007	92
Tabla 4.8 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2007	92
Tabla 4.9 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2007	93

Tabla 4.10 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2007.....	94
Tabla 4.11 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2008 95	
Tabla 4.12 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2008.....	95
Tabla 4.13 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2008 96	
Tabla 4.14 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2008.....	97
Tabla 4.15 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2008 98	
Tabla 4.16 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2008.....	98
Tabla 4.17 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Benceno µg/m ³ del año 2008.....	99
Tabla 4.18 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Benceno µg/m ³ del año 2008.....	100
Tabla 4.19 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2009 101	
Tabla 4.20 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2009.....	101
Tabla 4.21 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2009 102	
Tabla 4.22 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2009.....	103
Tabla 4.23 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2009 104	
Tabla 4.24 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2009.....	104
Tabla 4.25 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Benceno µg/m ³ del año 2009.....	105
Tabla 4.26 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Benceno µg/m ³ del año 2009.....	105
Tabla 4.27 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Tolueno µg/m ³ del año 2009.....	107
Tabla 4.28 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Tolueno µg/m ³ del año 2009.....	107
Tabla 4.29 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Xileno µg/m ³ del año 2009.....	108
Tabla 4.30 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Xileno µg/m ³ del año 2009.....	108

Tabla 4.31 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2010	110
Tabla 4.32 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO ₂ µg/m ³ del año 2010	110
Tabla 4.33 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2010	111
Tabla 4.34 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O ₃ µg/m ³ del año 2010	111
Tabla 4.35 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2010	113
Tabla 4.36 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO ₂ µg/m ³ del año 2010	113
Tabla 4.37 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Tolueno µg/m ³ del año 2010	114
Tabla 4.38 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Tolueno µg/m ³ del año 2010	114
Tabla 4.39 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Xileno µg/m ³ del año 2010	115
Tabla 4.40 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Xileno µg/m ³ del año 2010	116
Tabla 4.41 Precipitaciones anuales y mensuales de la Estación Quito INAMHI - IÑAQUITO	128

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 3.1 Histograma de Frecuencias para O ₃ en ug/m ³ para el año 2009.....	59
Cuadro 4.1 Curva de Variación Estacional.....	129

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del área de estudio	6
Figura 2.1 Estructura molecular del Nitrógeno	9
Figura 2.2 Estructura molecular del Ozono	10
Figura 2.3 Estructura molecular del Dióxido de Azufre	11
Figura 2.4 Estructura molecular del Benceno.....	12
Figura 2.5 Estructura molecular del Tolueno.....	13
Figura 2.6 Estructura molecular del Xileno.....	14
Figura 2.7 Modelamiento Geoestadístico	30
Figura 2.8 Componentes de una variable regionalizada	31
Figura 2.9 Componentes de una variable regionalizada	32
Figura 2.10 Parámetros del semivariograma.....	34
Figura 2.11 Parámetros del semivariograma.....	35
Figura 2.12 Modelo esférico	36
Figura 2.13 Modelo exponencial.....	37
Figura 2.14 Modelo exponencial.....	38
Figura 2.15 Modelo Monómico	38
Figura 2.16 Modelo de Independencia o “Pepita Puro”	39
Figura 2.17 Representación Gráfica de los Modelos más conocidos.....	40
Figura 2.18 Comparación entre interpoladores determinísticos	42
Figura 3.1 Ubicación del Área de Estudio con respecto al Ecuador Continental	48
Figura 3.2 Área de Estudio	51
Figura 3.3 Distribución Normal o Gaussiana	54
Figura 3.4 Comparación Gráficas del coeficiente de curtosis	63
Figura 3.5 Base de datos.....	68
Figura 3.6 Base de datos Archivos con extensión .dat.....	68
Figura 3.7 Ubicación del módulo Prevar 2D en la barra de tareas.....	70
Figura 3.8 Primera vista del módulo Prevar 2D.....	70
Figura 3.9 Ubicación de archivos .dat	70
Figura 3.10 Ventana con número de datos y variables	71
Figura 3.11 Ventana donde se muestra la selección de coordenadas.....	71
Figura 3.12 Ventana que genera archivo con extensión .pcf	72
Figura 3.13 Ubicación del módulo Vario 2D en la barra de tareas	72
Figura 3.14 Ventana con información del módulo Vario 2D	73

Figura 3.15 Ventana donde se abre el archivo con extensión .pcf.....	73
Figura 3.16 Cálculo del Variograma Direccional	74
Figura 3.17 Parámetros para el Cálculo del Variograma.....	74
Figura 3.18 Ubicación del módulo Model en la barra de tareas	75
Figura 3.19 Ventana de información del módulo Model	75
Figura 3.20 Ventana con pantalla para buscar archivos	76
Figura 3.21 Ventana con cuadro de diálogo para el ajuste del modelo teórico del semivariograma	76
Figura 3.22 Ubicación del software ArcMap desde la barra de tareas de Windows	78
Figura 3.23 Activación de extensiones en ArcMap.....	78
Figura 3.24 Extensiones disponibles en ArcMap.....	79
Figura 3.25 Agregar la extensión Geostatistical Analyst	79
Figura 3.26 Ventana con información de extensiones para agregar al ArcMap.....	80
Figura 3.27 Ventana que muestra el archivo de la variable a utilizar	80
Figura 3.28 Ventana de Geostatistical Wizard para seleccionar el método de interpolación a utilizarse	81
Figura 3.29 Selección del interpolador a utilizarse en el estudio.....	81
Figura 3.30 Parámetros utilizados en el semivariograma.....	82
Figura 3.31 Selección de parámetros de vecindad	82
Figura 3.32 Validación cruzada en Geostatistical Wizard	83
Figura 3.33 Resumen del método utilizado en Geostatistical Wizard	84
Figura 3.34 Representación de la interpolación generada por el Geostatistical Wizard ...	85
Figura 4.1 Ubicación de la Red de Monitoreo Pasivo.....	87
Figura 4.2 Modelo Esférico de O ₃ – año 2006.....	118
Figura 4.3 Modelo Exponencial de O ₃ – año 2006	119
Figura 4.4 Modelo Gaussiano de O ₃ – año 2006.....	120
Figura 4.5 Comparación de modelos para la variable O ₃ del año 2008	122
Figura 4.6 Mapa de la variable O ₃ – 2008 utilizando el modelo exponencial	123
Figura 4.7 Comparación de modelos para la variable NO ₂ del año 2006.....	124
Figura 4.8 Mapa de la variable NO ₂ – 2006 utilizando el modelo exponencial.....	125
Figura 4.9 Comparación de modelos para la variable NO ₂ del año 2007.....	126
Figura 4.10 Mapa de la variable NO ₂ – 2007 utilizando el modelo exponencial.....	127
Figura 4.11 Pruebas con la variable O ₃ – 2009.....	130
Figura 4.12 Mapa de la variable O ₃ – 2009 utilizando el modelo esférico.....	132
Figura 4.13 Pruebas con la variable NO ₂ – 2010	134
Figura 4.14 Mapa de la variable NO ₂ – 2010 utilizando el modelo esférico	136

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1 – Información Disponible de Variables

Anexo 2 – Tabla de Frecuencias e Histograma Frecuencias

Anexo 3 – Parámetros Geoestadísticos

Anexo 4 – Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos

NOMENCLATURA UTILIZADA

BTX : benceno, tolueno y xileno

CFC : clorofluorocarbono

COV: compuestos orgánicos volátiles

CORPAIRE : Corporación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Quito

DMQ : Distrito Metropolitano de Quito

EPA : Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Gas L.P. : Gas licuado de petróleo

IARC : Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

IMQ : Ilustre Municipio de Quito

NO₂ : dióxido de nitrógeno

NO_x: óxidos de nitrógeno

OMS : Organización Mundial de la Salud

O₃ : ozono

REMPA : Red de Monitoreo Pasivo

SIG : Sistemas de Información Geográfica

SO₂ : dióxido de azufre

TNT: trinitrotolueno

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

Podemos definir a la contaminación del aire como la presencia de sustancias que normalmente no componen la atmósfera de nuestro planeta. La contaminación atmosférica se debe a la presencia de materiales indeseables en el aire, en cantidades suficientes como para producir efectos nocivos, en especial daños en la salud humana, la vegetación y el medio ambiente global, así como cambiar el aire a un color café, tener una pequeña nube permanente de color gris o hasta generar olores desagradables. Una gran parte de materiales indeseables en el aire provienen de fuentes que aún no están bajo el control humano; pero en lugares poblados, en especial países industrializados, las fuentes principales de estos materiales indeseables son por causas de actividades humanas (Buitrago Arango, 2003).

Teniendo en cuenta que la atmósfera terrestre (la parte del planeta formada de gases y que llamamos aire) se compone de un 78% de nitrógeno, 20% de oxígeno y el resto formado de otros gases en pequeñas cantidades, como vapor de agua, dióxido de carbono, hidrógeno, helio y algunos gases nobles. Cualquier sustancia que no forme parte de los elementos gaseosos normales del aire se llama contaminante (Hiojosa, 2008).

El aire es uno de los recursos naturales más importantes, ya que está presente en todos los aspectos de la vida existente en la tierra. Prácticamente, todas las actividades humanas están vinculadas con el aire y podemos citar algunos ejemplos: actividades poblacionales, uso agrícola, pecuario, industrial, generación de energía, transporte y actividades recreativas.

El desenvolvimiento y uso de los Sistemas de Información Geográfica ha venido creciendo visiblemente y evolucionando durante la última década permitiendo de ésta manera que se alcancen valiosos logros en aquellos sectores en donde se requiere de gestión y análisis de información espacial de manera rápida y eficaz, pero aun existen muchas oportunidades que deben ser explotadas e investigadas como el análisis geoestadístico para el desarrollo de investigaciones que contribuyan al perfeccionamiento del mismo.

Openshaw (1988) apunta a que la era del mapa digital en SIG está siendo sobrepasada por la demanda de análisis geográficos más específicos y avanzados y que en lo futuro será necesario incorporar procedimientos analíticos más adecuados y ligados con las facilidades existentes para la presentación de datos geográficos.

Lo interesante radica en cómo hacer que los datos obtenidos puedan ser convertidos en informaciones; en muchos casos, los analistas desean convertir los datos en mapas, diagramas de perspectiva o imágenes. En otros casos infieren valores en localizaciones particulares entre los puntos muestreados. En cualquiera de los casos los procesos de interpolación son necesarios y útiles para

presentarnos resultados que nos permitan tomar decisiones que puedan contribuir para el normal funcionamiento de la sociedad en general.

1.2. Justificación e importancia

El aumento poblacional y sus consecuentes necesidades materiales para el desarrollo imponen progresivamente mayores exigencias de los recursos y en ocasiones abusos de los mismos, ya que el normal funcionamiento de la sociedad produce trastornos ambientales que en ocasiones modifican el normal desenvolvimiento de la sociedad.

Está preocupación, existente desde hace algunas décadas, se ha traducido en estudiar al aire que respiramos, desde una perspectiva holística dando una especial significación a la dimensión ambiental, en particular a los aspectos de la calidad del aire presente en el Distrito Metropolitano de Quito; y es así como gracias a software's apropiados que manejen sistemas de información geográfica se puede estudiar la variabilidad de los datos.

La Corporación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Quito - CORPAIRE- es la institución que se ha preocupado desde el año 2001 por la calidad del aire que respiramos dentro del Distrito Metropolitano de Quito, es así como se creó la Red de Monitoreo Pasiva – REMPA - , en donde se registran concentraciones como dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre, benceno, tolueno y xileno

Muchos de los métodos tradicionales de interpolación que vienen incorporados en los SIG's están basados en funciones matemáticas. Burrough (Burrough, Métodos de Interpolación, 1987) presenta varios métodos de interpolación espacial como: poligonal, triangulación, etc. En general, estos métodos son fácilmente implementados y razonablemente rápidos. Pero por otro lado, dichos métodos poseen limitaciones en la representación de la variabilidad espacial, porque no consideran la anisotropía y la continuidad del fenómeno a observarse.

A continuación se presentan los contaminantes atmosféricos a estudiarse y los posibles daños que pueden presentarse en la salud y el ambiente.

Dióxido de nitrógeno: Es el resultado de la combinación de nitrógeno y oxígeno en la atmósfera; la exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares, mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos de dióxido de nitrógeno puede causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar similares a un enfisema.

Ozono: A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades, es tóxico y puede provocar la muerte.

Dióxido de azufre: El óxido de azufre (IV) es un gas incoloro, irritante y tóxico, formado principalmente por la combustión de combustibles fósiles. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. El óxido de azufre (IV) es el principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico.

BTX: Benceno, tolueno y xileno, estos compuestos son algunos de los compuestos orgánicos volátiles que pueden tener efectos dañinos sobre el sistema nervioso central, en el caso del benceno es un contaminante cancerígeno con varios efectos sobre la salud como la leucemia.

En la realidad, las propiedades naturales de la superficie terrestre son espacialmente continuas, es por esta razón que el presente proyecto es una investigación que pretende espacializar y estudiar la variabilidad de la Red de Monitoreo Pasiva del DMQ que presenta datos de concentraciones desde el año 2006 de NO₂ (exposición de 30 días por mes), O₃ (exposición de 10 días, 2 veces

por mes); SO₂ (exposición de 30 días por mes) y benceno – tolueno y xilenos (BTX) (exposición de 30 días por mes); a través de la geoestadística mediante el análisis exploratorio, análisis estructural y finalmente las predicciones, que nos ayudan mucho en el tratamiento de datos y en unir la brecha que se ha venido manteniendo entre la parte estadística y los sistemas de información geográfica.

La OMS afirma que la contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, en base a este antecedente en las *Directrices* de la OMS se han incluido una serie de objetivos provisionales para fomentar la reducción gradual de emisiones mientras se ponen en marcha políticas para reducir la contaminación en aquellos países donde todavía se registran niveles de polución muy elevados (OMS, Contaminación Ambiental, Nota descriptiva N°313, Agosto 2006).

Con este antecedente en el Ecuador y específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito ya existe la preocupación por parte de las autoridades con lo que, la creación de Estaciones de Monitoreo nos ayuda mucho para monitorear el estado del aire en el Distrito y este trabajo de investigación nos ayudará para visualizar la variabilidad de estos datos y así obtener resultados que nos permitan en un futuro cercano tomar decisiones que nos ayuden a reducir emisiones al ambiente.

1.3. Descripción del área de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito está localizado en la provincia de Pichincha, situada en la zona central norte de la Cordillera de los Andes, que atraviesa el Ecuador de Norte a Sur. La provincia tiene un área de 1.358.100 hectáreas (IMQ, 1992), de las cuales el Distrito Metropolitano comprende más de 290.746 hectáreas, incluyendo a la ciudad de Quito propiamente dicha así como a 24 parroquias suburbanas y rurales que rodean al núcleo urbano (FAO 1998).

El área de estudio comprende 8 Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito; en el que se encuentra distribuida la Red de Monitoreo Pasiva (REMPA) con un máximo de 38 estaciones de monitoreo por variable.

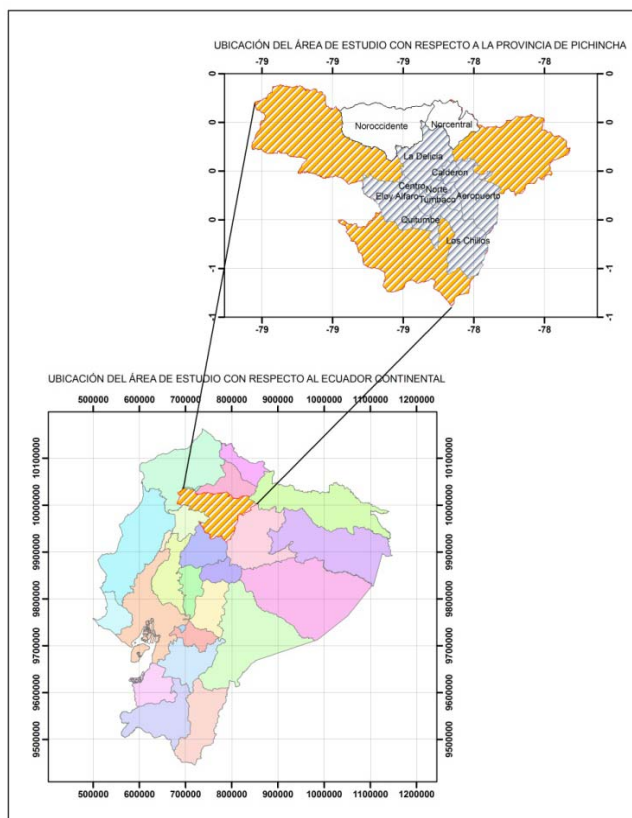


Figura 1.1 Ubicación del área de estudio

Fuente: Límites Referenciales – INEC; Cartografía Base del DMQ 2010

1.4. Datos generales del área de estudio

A continuación se presentan algunas características generales:

Ubicación: 0°13'S 78°31'O

Altitud: 2850 msnm

Patrón: San Francisco de Asís

Patrona: Virgen de la Merced

El Distrito Metropolitano de Quito, es un cantón que forma parte de la provincia de Pichincha. Su nombre se deriva de su cabecera. La división política

del Distrito está dividida en 8 administraciones zonales, las cuales contienen a 32 parroquias urbanas (zona metropolitana de la ciudad de Quito) y 33 parroquias rurales y suburbanas (afueras de la ciudad).

1.5. Identificación del problema

La CORPAIRE - Corporación para el Mejoramiento del Aire en el Distrito Metropolitano de Quito – cuenta con un máximo de 38 estaciones de monitoreo por variable estudiada pertenecientes a la Red de Monitoreo Pasivo, que permite realizar un muestreo simultáneo de concentraciones de dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y BTX – benceno, tolueno y xilenos – distribuidos a lo largo y ancho del DMQ ubicadas en zonas de alta concentración de población y sometidas a alto tráfico vehicular, lo que se quiere es espacializar esta información y realizar un análisis espacial que permita modelar el comportamiento de las variables y por lo tanto determinar el efecto o impacto de las concentraciones antes mencionadas sobre la población y conocer como estas concentraciones se esparcen a lo largo del Distrito para de esta manera, poder determinar el deterioro de la calidad del aire y el impacto social que este tiene sobre la población y en el cauce natural de sociedad en general.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Modelar espacialmente la variación de las concentraciones de NO₂, O₃, SO₂ y BTX provenientes de zonas de alta concentración poblacional y alto tráfico vehicular en 8 Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito, utilizando herramientas de geoestadística a escala 1: 50.000 mediante el software VARIOWIN Y ARCGIS 9.2.

1.6.2. Específicos

- Realizar un tratamiento geoestadístico de la información por concentraciones de dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y bencenos, toluenos y xilenos.
- Establecer el método geoestadístico Krigging para generar el modelo espacial de cada contaminante.
- Aplicar el modelado espacial para cada uno de los contaminantes.
- Representar cartográficamente las concentraciones de NO₂, O₃, SO₂ y BTX a escala 1:50.000

1.7. Identificación de los actores

Los actores que intervienen dentro de este estudio son los siguientes:

- Población del Distrito Metropolitano de Quito

Las personas son los principales actores de este proyecto porque se pretende analizar los efectos del normal desenvolvimiento de una sociedad con un ritmo de vida acelerado.

- Parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito

El parque automotor del Distrito es únicamente el resultado del movimiento de la sociedad y de las exigencias que este impone con el ritmo de vida que la sociedad ha venido desarrollando todo este tiempo, lo que da como resultado tener que aumentar vehículos que circulen en mayor cantidad y a la misma hora, generando malestar y problemas de tráfico y por consiguiente pérdida de tiempo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Definición de NO₂, O₃, SO₂ y BTX

2.1.1 Dióxido de Nitrógeno: Es un compuesto químico formado por los elementos nitrógeno y oxígeno, conocido también como NO₂, es un agente sumamente oxidante, soluble en agua, de color café o marrón-rojizo, se encuentra constituido por un átomo de nitrógeno y dos átomos de oxígeno en su estructura molecular.

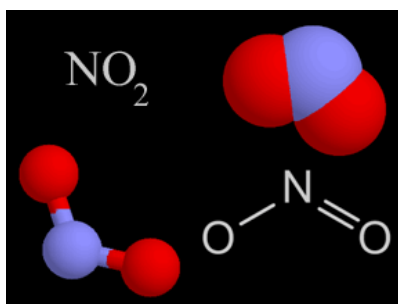


Figura 2.1 Estructura molecular del Nitrógeno
Fuente: Russell 2006

A continuación se presentan las propiedades físicas del dióxido de nitrógeno:

Tabla 2.1 Propiedades físicas del Dióxido de Nitrógeno

Propiedades físicas	Marrón amarillento
Estado de agregación	Gas

Densidad	1.449 kg/m ³ ; 0,001449 g/cm ³
Masa molar	46,1 g/mol
Punto de fusión	K (- 11.20 °C)
Punto de ebullición	K (21.2 °C)

Fuente: Mordecai 2001

Constituye uno de los precursores básicos de la neblina o smog fotoquímico y se distingue a simple vista en las grandes urbes por la coloración café-rojizo.

2.1.2 Ozono: El Ozono es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular, formada al disociarse los 2 átomos que componen el gas de oxígeno.

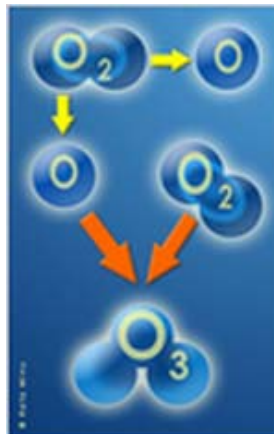


Figura 2.2 Estructura molecular del Ozono
Fuente: Fisher 2011

Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno (O₂), formando moléculas de Ozono, cuyas siglas es O₃. El ozono es un gas altamente reactivo de color azul pálido, constituido por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular.

A continuación se presentan las propiedades físicas del ozono:

Tabla 2.2 Propiedades físicas del Ozono

Propiedades físicas	NO ₂
Estado de agregación	Gas
Apariencia	Azul pálido
Densidad	2140 kg/m ³ ; 2,14 g/cm ³
Masa molar	47,998 g/mol
Punto de fusión	80,7 K (- 192,45 °C)
Punto de ebullición	161 K (- 112,15 °C)
Índice de refracción	1,2226 (liquid)

Fuente: Mordecai 2001

2.1.3 Dióxido de azufre: El dióxido de azufre es un óxido cuya fórmula molecular es SO₂. Es un gas incoloro de olor característico, constituido por un átomo de azufre y dos átomos de oxígeno en su estructura molecular.

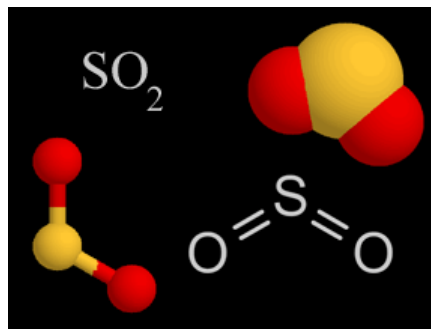


Figura 2.3 Estructura molecular del Dióxido de Azufre
Fuente: Russell 2006

A continuación se presentan las propiedades físicas del dióxido de azufre:

Tabla 2.3 Propiedades físicas del Dióxido de azufre

Propiedades físicas	SO ₂
Estado de agregación	Gas
Apariencia	Incoloro
Densidad	1400 kg/m ³ ; 1,4 g/cm ³
Masa molar	64,1 g/mol
Punto de fusión	198 K (- 75 °C)
Punto de ebullición	263 K (- 10 °C)

Fuente: López - Arnado 2003

2.1.4 Benceno, tolueno y xileno – BTX

2.1.4.1 Benceno: El **benceno** se obtiene por destilación del alquitrán de hulla y del petróleo, es un hidrocarburo aromático poliinsaturado de fórmula molecular C_6H_6 , con forma de anillo (se le llama anillo bencénico, o aromático, ya que posee un olor característico) y puede considerarse una forma poliinsaturada del ciclohexano.

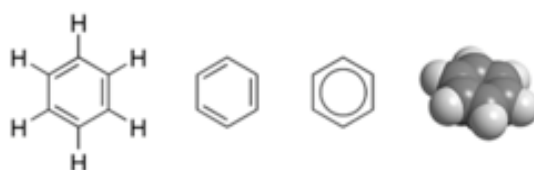


Figura 2.4 Estructura molecular del Benceno
Fuente: García Calleja 2010

El benceno, conocido también como benzol, es un líquido incoloro de olor dulce. El benceno se evapora al aire rápidamente y es sólo ligeramente soluble en agua. El benceno es sumamente inflamable. La mayoría de la gente puede empezar a detectar el olor del benceno en el aire cuando está en concentraciones de 1.5 a 4.7 partes de benceno por millón de partes de aire (ppm) y en el agua cuando la concentración es de 2 ppm. La mayoría de la gente empieza a detectar el sabor del benceno cuando está en concentraciones entre 0.5 y 4.5 ppm en el agua. Es necesario considerar que una parte por millón equivale aproximadamente a una gota en 40 galones. El benceno se encuentra en el aire, el agua y el suelo. El benceno proviene tanto de fuentes industriales como naturales.

A continuación se presentan las propiedades físicas del dióxido del benceno:

Tabla 2.4 Propiedades físicas del Benceno

Propiedades físicas	C_6H_6
Peso molecular	78,11 g/mol
Estado de agregación	Líquido (15 °C)
Punto de ebullición	353,2 K (80,05 °C)
Densidad	878,6 kg/m ³ , 0,8786 g/cm ³

Fuente: McMurry 2006

2.1.4.2 Tolueno: El tolueno o metilbenceno, es un líquido incoloro con un olor característico, su fórmula molecular es $C_6H_5CH_3$. El tolueno ocurre en forma natural en el petróleo crudo y en el árbol tolú. También se produce durante la manufactura de gasolina y de otros combustibles a partir de petróleo crudo y en la manufactura de coque a partir de carbón.

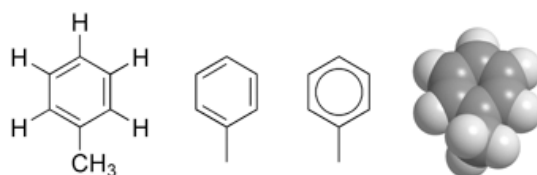


Figura 2.5 Estructura molecular del Tolueno
Fuente: García Calleja 2010

El tolueno se usa en la fabricación de pinturas, diluyentes de pinturas, barniz para las uñas, lacas, adhesivos y gomas, y en ciertos procesos de imprenta y curtido de cuero.

A continuación se presentan las propiedades físicas del tolueno:

Tabla 2.5 Propiedades físicas del Tolueno

Propiedades físicas	$C_6H_5CH_3$
Densidad	866,9 kg/m ³ ; 0,8669 g/cm ³
Masa molar	92,14 g/mol
Punto de fusión	178 K (6 °C)
Punto de ebullición	383,8 K (110,6 °C)
Temperatura crítica	591.64 (°C)

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, 2011

2.1.4.3 Xileno: El xileno, xilol o dimetilbenceno, su fórmula molecular es $C_6H_4(CH_3)_2$, se obtiene a partir del benceno. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo bencénico, se diferencia entre orto-, meta-, o para-

xileno (o con sus nombres sistemáticos 1,2-; 1,3-; y 1,4-dimetilbenceno). Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno.

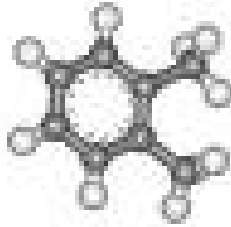


Figura 2.6 Estructura molecular del Xileno
Fuente: Terra 2000

A continuación se presentan las propiedades físicas del dióxido del tolueno:

Tabla 2.6 Propiedades físicas del Xileno

Propiedades físicas	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂
Apariencia	Incoloro
Densidad	865 kg/m ³ ; 0.865 g/cm ³
Masa molar	106.16 g/mol
Punto de fusión	248.15 K (-25 °C)
Punto de ebullición	138-144 °C
Temperatura crítica	0.620-8.10 (20°C)

Fuente: ATSDR 2007

2.2 Importancia de NO₂, O₃, SO₂ y BTX

2.2.1 Dióxido de Nitrógeno: La formación de NO₂ en la atmósfera resulta de la oxidación del NO generado en los cilindros de los motores de combustión interna por combinación directa de nitrógeno y oxígeno.



La mayor fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno es el uso de combustibles fósiles por fuentes fijas y móviles, aunque también se producen óxidos de nitrógeno durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas L.P. y el proceso de soldadura.

Los óxidos de nitrógeno se generan de manera natural por actividad bacteriana, volcánica, y por descargas eléctricas atmosféricas; sin embargo, la cantidad generada es baja en comparación con las emisiones de origen antropogénico.

La permanencia media del dióxido de nitrógeno en la atmósfera es de un día, aproximadamente.

2.2.2 Ozono: Con fines didácticos se va a poner en conocimiento el ozono estratosférico y troposférico a continuación:

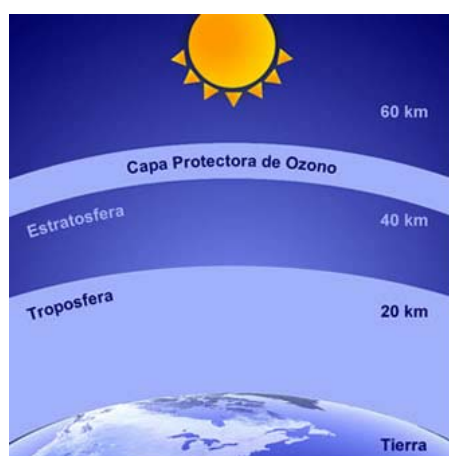


Figura 2.7. Ozono Estratosférico
Fuente: Grupoquimicouni

El **ozono estratosférico** se origina de forma natural en la estratósfera (entre 12 y 50 Km a partir del suelo) mediante la fotodisociación del oxígeno producida por la radiación solar ultravioleta, se concentra en una capa delgada

denominada ozonósfera, la cual filtra y modera la intensidad de la radiación solar ultravioleta y otras partículas energéticas que inciden sobre la superficie terrestre.

Esta acción protectora de la capa de ozono permite que se lleven a cabo diversos procesos en los ecosistemas naturales, a nivel celular evita que se rompan las moléculas de ADN y enlaces de carbono.

En los últimos 50 años la emisión de clorofluorocarbono (CFC), usados en equipos de refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y esponjas plásticas, ha provocado el deterioro y debilitamiento de la ozonósfera en un orden de 3% cada diez años.

Para tener una idea de su efecto, basta un solo átomo de CFC para destruir 100,000 moléculas de ozono, su permanencia en la atmósfera fluctúa entre 75 y 120 años.

El **ozono troposférico**, debido a la contaminación que paulatinamente ha vivido la atmósfera se encuentra presente el ozono (O_3) que es un oxidante fuerte y hace que la reacción anterior se efectúe de forma acelerada. El ozono en la tropósfera se genera debido al ciclo fotolítico del dióxido de nitrógeno (NO_2) ya que el dióxido de nitrógeno es altamente reactivo fotoquímicamente, para radiaciones por debajo de $0,38 \mu m$, el gas se disocia como se ve a continuación.

A nivel de la tropósfera (de 0 a 12 Km a partir de la superficie terrestre) el ozono se produce por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) derivados del uso de combustibles fósiles, los cuales se denominan precursores del ozono.

La reacción fotoquímica se produce cuando los NO_x y los COV's reaccionan con la luz solar, lo que produce un átomo libre de oxígeno (O). Este átomo libre puede adicionarse a una molécula de oxígeno (O₂) y formar una molécula de ozono (O₃). Este proceso es reversible y está condicionado por la intensidad de la radiación solar (Buitrago Arango, 2003).

2.2.3 Dióxido de azufre: El dióxido de azufre se origina por la combustión o proceso de combustibles que contienen azufre (diesel y combustóleo principalmente) y la fundición de minerales ricos en sulfatos. Se genera principalmente por la industria (incluyendo las termoeléctricas), seguido de los vehículos automotores.

Los compuestos que contienen azufre están presentes en la atmósfera natural no contaminada. Estas sustancias provienen de la descomposición bacteriana de la materia orgánica, de los gases volcánicos y otras fuentes. Sin embargo, su contribución en el balance total de SO₂ resulta muy pequeña en comparación con las producidas en los centros urbanos e industriales como resultado de las actividades humanas.

El dióxido de azufre es el principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Es liberado en muchos procesos de combustión ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diesel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados. Por estas razones se intenta eliminar estos compuestos antes de su combustión por ejemplo mediante la hidrosulfuración en los derivados del petróleo o con lavados del gas natural haciéndolo más "dulce".

Si a pesar de estos esfuerzos aún se generan cantidades importantes del gas se pueden aplicar lavados básicos por ejemplo se puede aplicar leche de cal para retenerlo del aire de salida o transformándolo conjuntamente con sulfhídrico en azufre elemental (proceso de Claus). También los procesos metalúrgicos

liberan ciertas cantidades de este gas debido a que se emplean frecuentemente los metales en forma de sulfuros. En la naturaleza el dióxido de azufre se encuentra sobre todo en las proximidades de los volcanes y las erupciones pueden liberar cantidades importantes.

2.2.4 Benceno, Tolueno y Xileno – BTX

2.2.4.1 Benceno: El benceno se encuentra comúnmente en el ambiente, es un hidrocarburo aromático que es un constituyente minoritario de las gasolinas ($\pm 2\%$ en volumen). Las principales fuentes de benceno en el ambiente son los procesos industriales. Los niveles de benceno en el aire pueden aumentar por emisiones generadas por la combustión de carbón y petróleo, operaciones que involucran residuos o almacenaje de benceno, el tubo de escape de automóviles y evaporación de gasolina en estaciones de servicio. El humo de tabaco es otra fuente de benceno en el aire, especialmente en el interior de viviendas. Los desechos industriales, la disposición de productos que contienen benceno y las fugas de gasolina desde tanques subterráneos liberan benceno al agua y al suelo.

El benceno puede pasar al aire desde la superficie del agua y del suelo. Una vez en el aire, el benceno reacciona con otras sustancias químicas y se degrada en unos días. El benceno en el aire puede ser arrastrado al suelo por la lluvia o la nieve.

El benceno se degrada más lentamente en el agua y el suelo; es poco soluble en agua y puede pasar a través del suelo hacia el agua subterránea. El benceno no se acumula en plantas ni en animales.

2.2.4.2 Tolueno: El tolueno se adiciona a los combustibles (como antidetonante) y como disolvente para pinturas, revestimientos, caucho, resinas, diluyente en lacas nitrocelulósicas y en adhesivos.

El tolueno es el producto de partida en la síntesis del TNT (2,4,6-trinitrotolueno), un conocido explosivo. De igual modo, el tolueno es un disolvente ampliamente utilizado en síntesis, también se puede utilizar en la fabricación de colorantes.

El Tolueno procede en las ciudades de las emisiones generadas por el funcionamiento de los motores de gasolina y diesel. Puede ser emitido también a la atmósfera como consecuencia de la manipulación de productos que lo contengan como pinturas, disolventes, etc.

Una vez en la atmósfera, este compuesto presenta una reactividad elevada y participa en diferentes mecanismos fotoquímicos, teniendo una influencia notable en los procesos de formación del ozono. Las estrategias de control y reducción de las emisiones de tolueno a la atmósfera implican el uso en proporciones elevadas de compuestos oxigenados dentro de la formulación de las gasolinas.

2.2.4.3 Xileno: Los xilenos se encuentran en los gases de coque, en los gases obtenidos en la destilación seca de la madera (de allí su nombre: xilón, significa madera en griego) y en algunos petróleos. Tienen muy buen comportamiento a la hora de su combustión en un motor de gasolina y por esto se intenta aumentar su contenido en procesos de reformado catalítico.

Los xilenos son buenos disolventes y se usan como tales. Además forman parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano.

2.3 Toxicidad de cada uno de los contaminantes

2.3.1 Dióxido de Nitrógeno: Muchos de los efectos ambientales que se atribuyen al NO₂ se deben en realidad a los productos de diversas reacciones asociadas. En presencia de luz solar el NO₂ se disocia en NO y O, donde el oxígeno atómico

(O) reacciona con el oxígeno molecular del ambiente (O_2) para producir ozono (O_3), el cual es un contaminante altamente oxidante de efectos conocidos.

Por otra parte el NO_2 reacciona con el radical OH para producir partículas de ácido nítrico (HNO_3), las cuales se dispersan en el ambiente en forma de lluvia, llovizna, niebla, nieve y rocío, dando origen a un proceso de acidificación de la tierra y cuerpos de agua.

Las variaciones o cambios permanentes en las propiedades de estos elementos, deriva finalmente en la pérdida de hábitat de especies primarias y consecuentemente en catástrofes ecológicas con daños irreversibles.

El dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones, causar bronquitis y pulmonía, así como reducción significativa de la resistencia respiratoria a las infecciones.

Los efectos de exposición a corto plazo no son claros, pero la exposición continua o frecuente a concentraciones mayores a las encontradas normalmente en el aire, puede causar un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias en los niños, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos y con enfermedades respiratorias crónicas.

A diferencia del ozono, las concentraciones de NO_2 en interiores pueden ser más altas que las registradas en el exterior; esto se debe a que una fuente de este contaminante son las estufas que utilizan gas L.P. Actualmente se acepta que no hay evidencia científica confiable que sugiera la posibilidad de efectos crónicos atribuibles al NO_2 . Sin embargo, el dióxido de nitrógeno puede ser fatal a concentraciones elevadas.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración máxima diaria de 0.11 ppm (ó $200 \mu g/m^3$) promedio de 1 hora una vez al año, y 0.023 ppm (ó $40 \mu g/m^3$) en una media aritmética anual.

2.3.2 Ozono: El ozono se considera como uno de los contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, ya que es altamente oxidante y afecta a los tejidos vivos, se asocia con diversos padecimientos en la salud humana.

Los individuos que viven en zonas donde se registran regularmente concentraciones altas de ozono, presentan diversos síntomas, como: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza. Por otra parte, los daños por exposición a ozono dependen de la sensibilidad de cada individuo y del tipo de exposición.

Muchos resultados de estudios epidemiológicos en ciudades con problemas de contaminación, indican que sus poblaciones son propicias al desarrollo temprano de enfermedades respiratorias crónicas.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 0.05 a 0.10 ppm por hora, cada tres años (OMS 2010).

Algunos científicos comparan el efecto del ozono en la membrana pulmonar con el efecto del sol al quemar la piel, ya que las células dañadas se reponen al cabo de unos días y las células muertas se eliminan por un proceso parecido a la descamación de la piel después de una quemadura de sol. La repetición continua de este tipo de daño, puede causar daño permanente en el pulmón a largo plazo. Otro tipo de padecimiento asociado con la exposición constante al ozono, es la alteración de las funciones de la arteria aorta y daños al sistema cardiovascular.

Entre los grupos de la población con mayor susceptibilidad por exposición a concentraciones de ozono destacan:

1.- Niños y adultos mayores. Debido a la susceptibilidad de su sistema inmunológico estos grupos se consideran como los más vulnerables a los efectos del ozono, ya sea por la posibilidad de desarrollar alguna enfermedad debido a una exposición de largo plazo o por muerte prematura. Algunos estudios demuestran que la función respiratoria de los niños que realizan actividades

físicas al aire libre disminuye de manera reversible cuando las concentraciones ambientales de ozono oscilan entre 0.12 y 0.20 ppm.

2.- Personas con enfermedades respiratorias.- La exposición a ozono puede empeorar el estado de salud de personas que padecen enfermedades pulmonares crónicas, tales como el enfisema y la bronquitis. No existe evidencia de que el ozono cause estas enfermedades; sin embargo, estas personas sienten los efectos del ozono antes que personas consideradas sanas. En personas que padecen enfisema, la exposición a concentraciones entre 0.1 y 0.15 ppm disminuye el consumo y la cantidad de oxígeno arterial. En personas asmáticas se presentan ataques en días con concentraciones superiores a 0.13 ppm.

3.- Personas que realizan actividades al aire libre.- Los adultos saludables que realizan ejercicio o trabajo al aire libre se consideran un grupo potencial de padecer los efectos causados por el ozono, sobre todo los debidos a una exposición a corto plazo o exposición aguda. Algunas personas consideradas sanas pueden ser más susceptibles al ozono en comparación de otras. La exposición a concentraciones de 0.05 ppm provoca disminución de la capacidad pulmonar. En situaciones de exposición por períodos de 8 horas a concentraciones de 0.03 ppm de ozono, cualquier persona, aún las consideradas sanas, presentan irritación nasal y de garganta; las personas fumadoras presentan dificultad para respirar y agotamiento. En los atletas la exposición a concentraciones de 0.3 ppm durante una hora, reduce su condición física, provoca tos e irritación del aparato respiratorio.

2.3.3 Dióxido de azufre: En altas concentraciones el dióxido de azufre puede ocasionar dificultad para respirar, humedad excesiva en las mucosas de las conjuntivas, irritación severa en vías respiratorias e incluso al interior de los pulmones por formación de partículas de ácido sulfúrico, ocasionando vulnerabilidad en las defensas.

El dióxido de azufre es causante de enfermedades respiratorias como broncoconstricción, bronquitis y traqueítis, pudiendo llegar a causar

broncoespasmos en personas sensibles como los asmáticos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes y la muerte; si bien los efectos señalados dependen en gran medida de la sensibilidad de cada individuo, los grupos de la población más sensibles al dióxido de azufre incluye a los niños y ancianos, a los asmáticos y a aquellos con enfermedades pulmonares crónicas como bronquitis y enfisema.

La combinación de óxidos de azufre y partículas suspendidas actúan sinérgicamente produciendo un efecto combinado mucho más nocivo que el efecto individual de cada uno de ellos por separado. Experimentos realizados en animales expuestos a concentraciones de SO₂ de 9 a 50 ppm, muestran cambios morfológicos y funcionales permanentes similares a los que presenta la bronquitis crónica.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 150 µg/m³ promedio de 24 horas, y de 40 a 60 µg/m³ en una media aritmética anual (OMS 2010).

2.3.4 Benceno, Tolueno y Xileno - BTX:

2.3.4.1 Benceno: La ingestión de alimentos o bebidas que contienen niveles altos de benceno puede producir vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones, aceleración del latido del corazón, coma y la muerte. Los efectos del consumo de alimentos o líquidos que contienen bajos niveles de benceno no se conocen con exactitud. Si usted derrama benceno sobre la piel, puede sufrir enrojecimiento y ulceración. El contacto de benceno con los ojos puede causar irritación y daño de la córnea.

El benceno produce alteraciones en la sangre. La gente que respira benceno durante períodos prolongados puede sufrir daño de los tejidos que producen las células de la sangre, especialmente la médula de los huesos. Estos efectos pueden interrumpir la producción de elementos de la sangre y producir

una disminución de algunos componentes importantes de la sangre. Una disminución de los glóbulos rojos puede conducir a una anemia. La reducción de otros componentes de la sangre puede causar hemorragias. La producción de elementos de la sangre puede normalizarse después que la exposición al benceno termina. La exposición excesiva al benceno puede ser perjudicial para el sistema inmunitario, aumentando las probabilidades de contraer infecciones y posiblemente disminuyendo las defensas del cuerpo contra el cáncer.

La exposición prolongada al benceno puede producir cáncer de los órganos que producen los elementos de la sangre. Esta condición se llama leucemia. La exposición al benceno se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda. Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos.

La exposición al benceno puede ser perjudicial para los órganos sexuales. Algunos estudios muestran que mujeres que inhalaban altos niveles de benceno en el trabajo durante meses sufrieron ciclos menstruales irregulares. Cuando fueron examinadas, se observó que estas mujeres sufrieron una disminución del tamaño de los ovarios. Sin embargo, los niveles de exposición no se conocieron, y los estudios no demostraron que el benceno causó los efectos. No se sabe que efectos podría tener el benceno sobre el feto de mujeres embarazadas o sobre la fertilidad en hombres. Los estudios en animales preñados han demostrado que inhalar benceno afecta adversamente al feto. Estos efectos incluyen bajo peso de nacimiento, retardo de la formación de los huesos y daño de la médula ósea.

2.3.4.2 Tolueno: El tolueno es una sustancia nociva aunque su toxicidad es muy inferior a la del benceno. Los epóxidos generados en la oxidación del anillo aromático (y al que se atribuye el poder cancerígeno del benceno) sólo se forman en una proporción inferior al 5%. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (I.A.R.C), así como la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA),

han determinado que el tolueno no es clasificable como un agente carcinogénico.

El cuerpo elimina el tolueno en forma de ácido benzoico y ácido hipúrico. El tolueno puede afectar al sistema nervioso. Niveles bajos o moderados pueden producir cansancio, confusión, debilidad, pérdida de la memoria, náusea, pérdida del apetito y pérdida de la audición y la vista. Estos síntomas generalmente desaparecen cuando la exposición termina.

Los vapores de tolueno presentan un ligero efecto narcótico e irritan los ojos. Inhalar niveles altos de tolueno durante un período breve puede hacer que uno se sienta mareado o soñoliento. Puede causar, además, pérdida del conocimiento y, en casos extremos, la muerte.

El tolueno es biodegradable, hecho que se aprovecha por ejemplo en los biofiltros para la eliminación de sus vapores. Sin embargo presenta una cierta toxicidad sobre la vida acuática y por lo tanto es catalogado como sustancia peligrosa para estos sistemas.

2.3.4.1 Xileno: El xileno presenta una situación parece a la del tolueno porque de igual manera la Agencia Ambiental Americana ha descartado a este compuesto como el causante de cáncer en las personas, aunque a pesar de esto es un compuesto tóxico que es capaz de dar lugar a todo tipo de afecciones en la salud de las personas que se encuentran expuestas a grandes concentraciones.

La inhalación de mezclas de xilenos provoca irritación del tracto respiratorio y gastrointestinal con náuseas, vómitos y otro tipo de efectos neurológicos. Los estudios toxicológicos realizados en animales, concluyen que la exposición continuada a mezclas de xilenos origina efectos nocivos sobre el desarrollo fetal,

con daños sobre el desarrollo esquelético, retraso en la osificación, reducción del tamaño fetal con hemorragias internas, y/o disminución del espesor y capacidad de fijación del calcio en la cáscara de los huevos en aves.

2.4 Límites máximos permitidos según Normativa Ecuatoriana

La referencia obligatoria para evaluar el estado del recurso aire constituye la Norma de Calidad del Aire Ambiente, publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4). Un resumen de esta Norma se presenta en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Resumen de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente

Contaminante	Valor	Unidad	Tipo de Norma	Excedencia
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
Ozono (O ₃)	120	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas	1 vez por año
	160	µg/m ³	Media aritmética horaria	1 vez por año
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	100	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
	150	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas	2 veces por año

Fuente: Informe de Calidad del Aire, CORPAIRE, 2010

Adicionalmente, la misma Norma establece los criterios para identificar episodios críticos de contaminación del aire, que constituyen riesgos para la salud de la población. Esos criterios se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Concentración (límites inferiores) de contaminantes comunes (µg/m³) que definen los episodios críticos de contaminación del aire

Contaminante y período de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Dióxido de Azufre (SO ₂) (concentración promedio en 24 horas)	800	1.600	2.100
Ozono (O ₃) (concentración promedio)	300	600	800

en 1 hora)			
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) (concentración promedio en 1 hora)	1.200	2.300	3.000

Fuente: Informe de Calidad del Aire, CORPAIRE, 2010

Los valores de concentración de los contaminantes comunes del aire establecidos en esta norma, están sujetos a las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm de Hg.

2.5 Origen de la Geoestadística

La geoestadística surgió en la década de los 60's, ligada a la escuela francesa – Centre de Geostatistique de Fontainebleau de la École des Mines, fundada por G. Matheron, quien acuñó el término de “Geoestadística”. Matheron es reconocido como el padre de esta disciplina porque formalizó matemáticamente un conjunto de técnicas que fueron desarrolladas por D. G. Krige en 1941, en donde se exploraba la correlación espacial para hacer predicciones en la evaluación de reservas de las minas de oro en Sudáfrica.

Actualmente, el término geoestadística es adoptado como una rama de la estadística espacial. Trata de fenómenos que presentan un comportamiento espacial mostrando características intermedias entre variable aleatorias y variables determinísticos.

En la naturaleza encontramos dos tipos de fenómenos: los determinísticos y los estocásticos. Los determinísticos pueden ser modelados mediante modelos físicos que caracterizan completamente un dato de un fenómeno a través de variables y parámetros del modelo propio; como por ejemplo, el movimiento de un carro.

La geoestadística tiene por objetivo la caracterización de la dispersión espacio-temporal de magnitudes que definen la cantidad y cualidad de los recursos naturales u otros fenómenos espaciales en donde los atributos

presenten una cierta estructura en el espacio y en el tiempo. Por ejemplo, contaminación de suelos y acuíferos, temperatura o pluviometría de una región.

2.6 Definición de Geoestadística

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que desarrolla y aplica modelos para representar fenómenos naturales cuyas propiedades varían en función de la localización espacial de puntos de observación, es decir, comprende el análisis y el modelado de datos espaciales que están distribuidos en un sistema de coordenadas del espacio y/o tiempo. Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Introducción a la Geoestadística - Myers, 1987).

Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Introducción a la Geoestadística - Isaaks & Srivastava, 1989).

La modelación espacial es la adición más reciente a la literatura estadística. La geología, ciencias del suelo, agronomía, ingeniería forestal, astronomía, o cualquier disciplina que trabaja con datos colectados en diferentes locaciones espaciales necesita desarrollar modelos que indiquen cuando hay dependencia entre las medidas de los diferentes sitios. Usualmente dicha modelación concierne con la predicción espacial, pero hay otras áreas importantes como la simulación y el diseño muestral (Introducción a la Geoestadística - Cressie, 1989).

La teoría de los métodos Geoestadísticos, es una aproximación de interpolación, la cual está basada en el concepto de correlación espacial de los datos geográficos. Es usada principalmente cuando la variación del atributo es tan irregular y la densidad de puntos es tan grande que tanto los métodos

globales y locales no son factibles; es cuando la geoestadística proporciona estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación (FAO, 2003).

Los tres pasos básicos de un estudio geoestadístico incluye lo siguiente:

1. **Análisis Exploratorio de los datos:** Consiste en la aplicación de técnicas descriptivas al conjunto de datos disponibles, con el fin de conocer su distribución e identificar datos erróneos, pero sin tener en cuenta su distribución geográfica. Es la etapa de aplicación de la estadística clásica.
2. **Análisis variográfica o análisis estructural:** Está compuesto por el cálculo del semivariograma experimental y el ajuste a éste de un modelo teórico conocido. El semivariograma experimental es la herramienta geoestadística más importante en la determinación de las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, es decir, permite conocer cómo la variable cambia de una localización a otra (Introducción a la Geoestadística - Isaaks y Srivastava, 1989).
3. **Predicciones:** El objetivo es estimar valores de una variable distribuida en el espacio en lugares no muestreados, es decir estimar valores desconocidos a partir, no sólo de los conocidos, sino también de su estructura de continuidad espacial. Con la información procedente de la estimación se puede realizar una serie de mapas sobre la distribución de la variable en el área de estudio, por medio de la técnica llamada *kriging*.

Este es un proceso que calcula un promedio ponderado de las observaciones muestrales. Los pesos asignados a los valores muestrales son apropiadamente determinados por la estructura espacial de correlación establecida en la primera etapa y por la configuración de muestreo (Petitgas, 1996).

A continuación se muestran las etapas de un modelamiento geoestadístico:

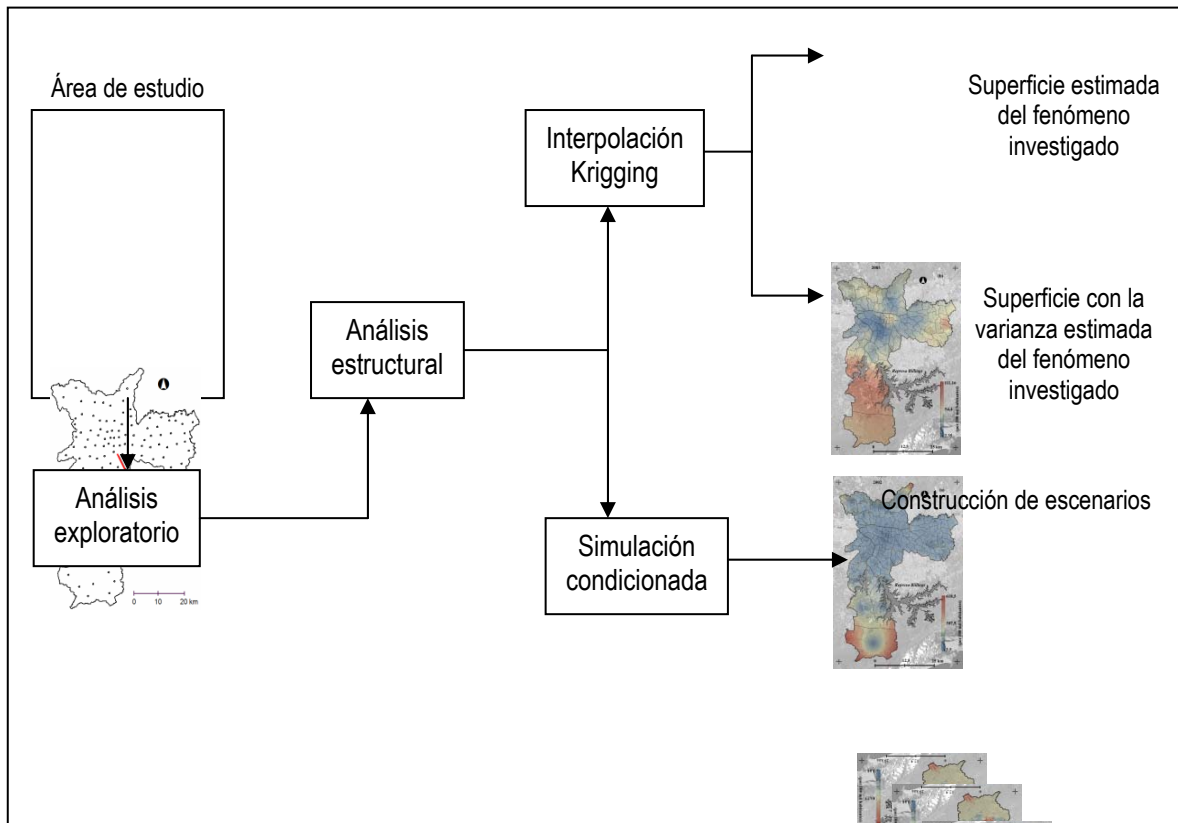


Figura 2.7 Modelamiento Geoespacial
Fuente: Geoespacial Teoría – INPE Brasil 2007

La propuesta de la geoespacial difiere de la estadística clásica, básicamente en la forma de evaluar la variabilidad de los datos. Mientras que la estadística clásica supone que no hay relación entre la variación y la distancia entre puntos de muestreo, suponiendo de esta manera que las variaciones son aleatorias en el espacio, la geoespacial considera tal dependencia. Además de considerar la dependencia de la variación del atributo con el espacio, la geoespacial asume que estas variaciones son sistemáticas.

2.7 Variables Regionalizadas

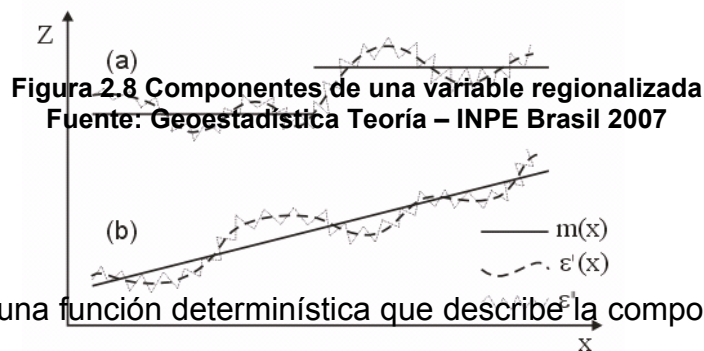
El concepto de variable regionalizada está asociado al modelo de probabilidades desarrolladas por Matheron (1971), citado por Camargo (1997). De forma resumida, la variable regionalizada es una variable distribuida en el

espacio y/o tiempo en el que sus valores son considerados como realizaciones de una función aleatoria. Una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación, se dice también que es una variable regionalizada.

De acuerdo con Burrough (1987), la variable regionalizada puede ser explicada por la suma de tres componentes:

- a) Un componente estructural, asociado a un valor medio constante o a una tendencia constante
- b) Un componente aleatorio, espacialmente correlacionados
- c) Un ruido aleatorio o error residual

$$Z(u) = \mu(u) + \varepsilon'(u) + \varepsilon''$$



Donde:

- $\mu(u)$: es una función determinística que describe la componente estructural de Z en u
- $\varepsilon'(u)$: es un término estocástico correlacionado que varía localmente y depende espacialmente de m(u)
- ε'' : es un ruido aleatorio no correlacionado, con distribución normal con media cero y varianza σ^2

Los literales a) y b) de la figura, ilustran los tres componentes principales de la varianza espacial. En el literal a), se observa un componente determinísticos que presenta un comportamiento regular y en el literal b) se muestra una tendencia constante.

2.8 Variograma

El variograma, $2\gamma(h)$ es una herramienta matemática básica de apoyo de las técnicas geoestadísticas, que permite evaluar la dispersión natural de las variables regionalizadas, es decir permite representar cuantitativamente la variación de un fenómeno regionalizado en el espacio.

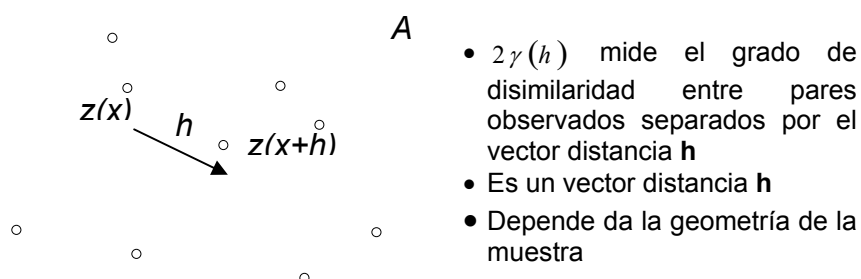


Figura 2.9 Componentes de una variable regionalizada
Fuente: Geoestadística Teoría – INPE Brasil 2007

Utilizando la definición teórica de la varianza en términos del valor esperado de una variable aleatoria, tenemos:

$$\begin{aligned}
 2\gamma(h) &= V(Z(x+h)-Z(x)) \\
 &= E((Z(x+h)-Z(x))^2) - \underbrace{E(Z(x+h)-Z(x))^2}_0 \\
 &= E((Z(x+h)-Z(x))^2)
 \end{aligned}$$

Existen tres tipos de variogramas según Segundo Guerra (1988) y son los siguientes:

1. *Variograma Observado*: o variograma experimental, es aquel que se obtiene a partir de un conjunto de muestras disponibles.
2. *Variograma Verdadero*: es el variograma real del atributo en estudio y que no es conocido en la práctica.
3. *Variograma Teórico*: es el variograma teórico, modelo matemático, de referencia.

2.9 Semivariograma

La mitad del variograma, $\gamma(h)$ se conoce como la función de semivarianza, es decir, es la mitad de la esperanza matemática (E) de los cuadrados de la diferencia entre los valores de puntos en el espacio por el vector distancia h .

El semivariograma es un gráfico que analiza el comportamiento espacial de una variable casual sobre un área definida. En el eje de las abscisas van las distancias entre los datos en el eje de las ordenadas van las semivarianzas.

Dada la realización del fenómeno, la función de semivarianza es estimada, por el método de momentos, a través del semivariograma experimental, que se calcula mediante (Wackernagel, 1995).

$$\gamma(h) = \frac{\sum (Z(x \pm h) - Z(x))^2}{2n} \quad (\text{ec. 2.3})$$

Donde

$Z(x)$: es el valor de la variable en un sitio x

$Z(x+h)$: es otro valor muestral separado del anterior por una distancia h

n : es el número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia

La función de semivarianza se calcula para varias distancias h , debido a la irregularidad del muestreo y por ende en las distancias entre los sitios, se toman intervalos de distancia $[(0,h), (h,2h), (h,3h), \dots]$ y el semivariograma experimental corresponde a una distancia promedio entre parejas de sitios dentro de cada intervalo y no a una distancia específica. El número de parejas de puntos n dentro de los intervalos no es constante.

Para interpretar el semivariograma experimental se parte del criterio de que a menor distancia entre los sitios, mayor será la similitud o correlación espacial entre las observaciones.

Los parámetros del semivariograma pueden ser observados en la siguiente figura:

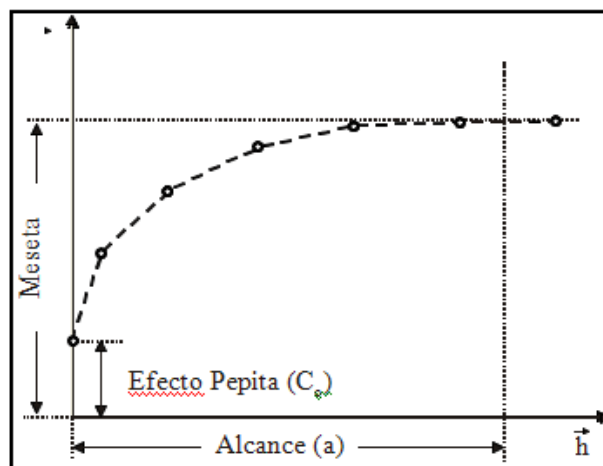


Figura 2.10 Parámetros del semivariograma
Fuente: Cañada 2007

Efecto Pepita: Conocido también como “*efecto nugget*”, representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen, es decir, es la ausencia de valores en distancias inferiores a las que se tomaron las muestras; este a su vez representa la varianza mínima y el punto en que la recta corta el eje y , esto se debe a errores de medida o a variaciones de microescala.

A continuación se presenta una gráfica en donde se aprecia la discontinuidad en el origen mediante triángulos en blanco.

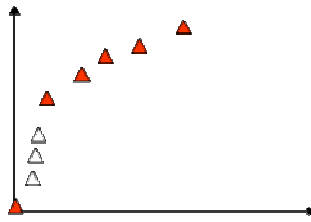


Figura 2.11 Parámetros del semivariograma

Meseta: Llamada también *sill*, es el valor de la variable γ , es la cota superior del semivariograma, también puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia h tiende a infinito. La meseta puede o no ser finita. Aquí también se encuentra la meseta parcial o el *partial sill* que juntos forman la meseta.

Rango: Conocido también como *alcance*, corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes, es decir la distancia a partir de la cual el valor de γ se estabiliza. El rango es interpretado como la zona de influencia, esto es debido a que indica la influencia espacial de la autocorrelación en la variable, es decir, la distancia hasta la que influye en su entorno cada punto.

El alcance muestra que la variabilidad de un hecho geográfico no aumenta más al hacerlo la distancia de separación, por lo que los valores de ese hecho son independientes entre sí cuando están separados por esa distancia. La autocorrelación, por lo tanto, sólo aparece dentro del alcance del semivariograma.

2.10 Modelos teóricos de semivarianza

Existen varios modelos teóricos de semivarianza, a continuación se detallan los más importantes:

2.10.1 Modelo Esférico

Este modelo tiene un crecimiento rápido cerca al origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos son nulos; es decir, muestra una progresiva disminución de la autocorrelación espacial (equivalente a un incremento de la semivarianza) hasta una distancia por encima de la cual la autocorrelación es cero. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (\text{ec. 2.4})$$

Donde

C_1 : representa la meseta

a : rango

h : distancia

A continuación se muestra una representación gráfica de este modelo:

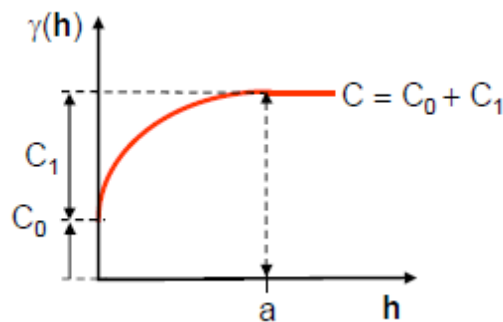


Figura 2.12 Modelo esférico
Fuente: Geoestadística Teoría – INPE Brasil 2007

2.10.2 Modelo Exponencial

Este modelo aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones; es decir cuando la

autocorrelación espacial decrece exponencialmente con el incremento de la distancia, desapareciendo completamente sólo a una distancia infinita.

Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right) \quad (\text{ec. 2.5})$$

A continuación se muestra una representación gráfica de este modelo:

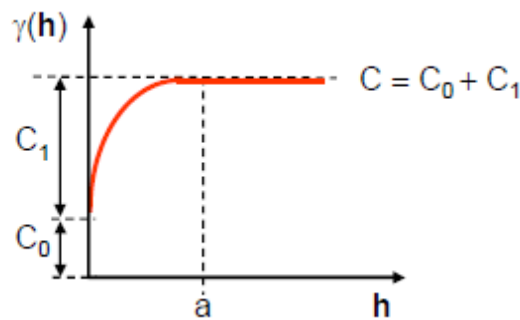


Figura 2.13 Modelo exponencial
Fuente: Geoestadística Teoría – INPE Brasil 2007

2.10.3 Modelo Gaussiano

En este modelo la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo es su forma parabólica cerca al origen. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right) \quad (\text{ec. 2.6})$$

A continuación se muestra una representación gráfica de este modelo

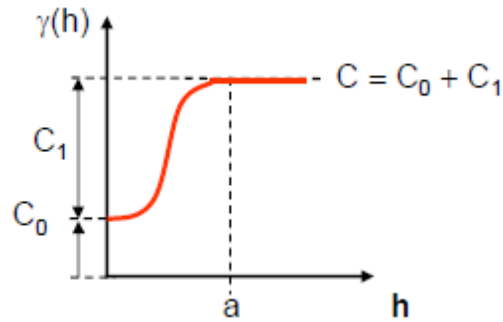


Figura 2.14 Modelo exponencial
Fuente: Geoestadística Teoría – INPE Brasil 2007

2.10.4 Modelo Monómico

Corresponden a los modelos que no alcanzan la meseta, su uso puede ser delicado debido a que en algunos casos indican la presencia de no estacionariedad en alguna dirección. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = kh^\theta \quad 0 < \theta < 2 \quad (\text{ec. 2.7})$$

Cuando el parámetro θ es igual a uno el modelo es lineal y k representa la pendiente de la ecuación de regresión con intercepto cero. Gráficamente se representa así:

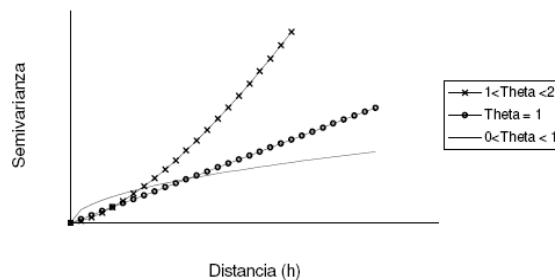


Figura 2.15 Modelo Monómico
Fuente: Introducción a la Geoestadística

2.10.5 Modelo de Independencia

Este modelo es considerado como “Pepita Puro”, es indicativo de carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable. Este modelo es considerado también como modelo de semivarianza teórica para variables sin correlación espacial. Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 & h > 0 \end{cases}, \text{ donde } C_0 > 0$$

(ec. 2.8)

Su representación gráfica es la siguiente:

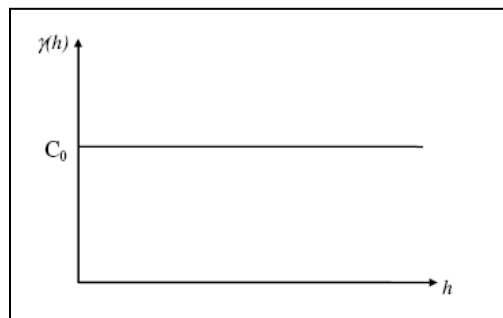


Figura 2.16 Modelo de Independencia o “Pepita Puro”
Fuente: Introducción a la Geoestadística

A continuación se muestra las curvas representativas de estos modelos teóricos y las ecuaciones que definen estos modelos están detalladas en varias publicaciones de la literatura como: Deutsch e Journel (1988); Isaaks e Srivastawa (1989); Camargo (1997); entre otros.

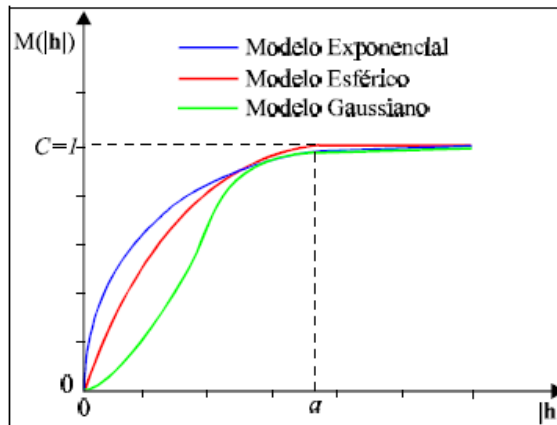


Figura 2.17 Representación Gráfica de los Modelos más conocidos
Fuente: Modificada de Isaaks e Srivastava (1989), RAMA 2007.

2.11 Predicción espacial

2.11.1 Predicción Espacial Óptima

“De la teoría de la decisión se conoce que si Z_0 es una cantidad aleatoria y Z_0^* es su predictor, entonces $L(Z_0; Z_0^*)$ representa la pérdida en que se incurre cuando se predice Z_0 con Z_0^* y el mejor predictor será el que minimice $E\{L(Z_0; Z_0^*) / Z\}$ con $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$, es decir el predictor óptimo es el que minimice la esperanza condicional de la función de pérdida. Si $L(Z_0; Z_0^*) = [Z_0 - Z_0^*]^2 \Rightarrow Z_0^* = E(Z_0/Z)$. La expresión anterior indica que para encontrar el predictor óptimo se requiere conocer la distribución conjunta de la $n+1$ variables aleatorias”¹.

2.11.2 Definición de Kriging

La palabra kriging procede del nombre del geólogo sudafricano D. B. Krige, cuyos trabajos en la predicción de reservas de oro, realizados en la década del cincuenta, suelen considerarse como pioneros en los métodos de interpolación

¹ GIRALDO Henao Ramón. Introducción a la geoestadística.

espacial. Krigging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción.

Tabla 2.9 Tipos de predictores krigging y sus propiedades

Tipo de predictor	Nombre	Propiedades
Lineal	Simple Ordinario Universal	Son óptimos si hay normalidad multivariada. Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
No lineal	Indicador Probabilístico Log Normal, TransGaussiano Disyuntivo	Son predictores óptimos

Fuente: Giraldo Henao Ramón, Introducción a la geoestadística.

Las áreas de aplicación son las siguientes:

- Mapeamiento geológico (Verly et al., 1984)
- Mapeamiento de suelos (Burgess e Webster, 1980)
- Mapeamiento hidrológico (Kitanidis et. al., 1983)
- Mapeamiento atmosférico (Lajaunidinie, 1984)

Una de las diferencias entre el krigging y otros métodos de interpolación es la manera como los pesos son atribuidos a diferentes muestras y la otra es el tipo de variable.

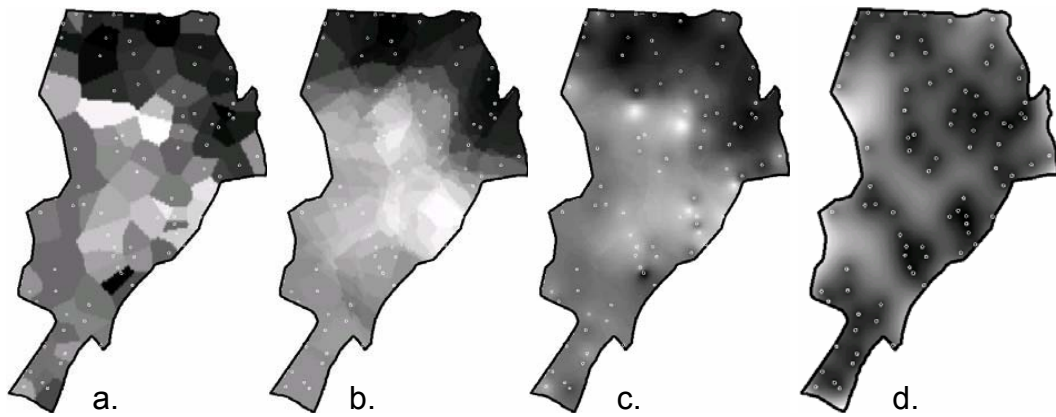


Figura 2.18 Comparación entre interpoladores determinísticos
Fuente: Camargo 1997 - Geoestadística Teoría – INPE Brasil

En la Figura 2.18 se presenta una comparación entre interpoladores determinísticos de media ponderada, a la izquierda con el literal a se utilizó el vecino más cercano; en el centro, con el literal b, se encuentra la media simple y directa en donde el peso es fijado como constante e igual a 1 para las muestras vecinas; a la derecha con el literal c, se encuentra la medida del inverso de la distancia y finalmente en el literal d, se muestra la ilustración de un modelamiento mediante kriging.

Esto demuestra que el Kriging es un método geoestadístico que ha demostrado ser útil y popular en muchos campos. Este método produce una vista atractiva de datos irregularmente espaciados. Kriging es un método muy flexible, puede aceptar valores predeterminados para producir una red precisa de sus datos o puede ser adaptado a un conjunto de datos mediante la especificación del correspondiente variograma modelo. En consecuencia, tiende a alisar la superficie, no es un interpolador perfecto.

Kriging asume que el fenómeno que se está estudiando, toma valores (no necesariamente medidos) en todas partes del área de estudio, es decir, tiene una continuidad espacial. En cuanto al tipo de datos con los que trabajo con kriging pueden ser numéricos de tipo continuo o entero, datos categóricos ordenados o sin ordenar e incluso pueden ser datos binarios. Para acomodarse a todos los

tipos de valores se han desarrollado las diferentes formas de krigging. Estos métodos se apoyan en modelos matemáticos y estadísticos que incluyen probabilidad. Es decir, que cuando se realiza la predicción ésta va asociada a una probabilidad y se calcula el error de la predicción.

El krigging es un predictor que no requiere que los datos se ajusten a la normalidad, salvo para obtener mapas de cuantiles y de probabilidad, tanto con el krigging ordinario como el universal y simple. El krigging también asume que todos los errores aleatorios son estacionarios de segundo orden y que la covarianza entre cualquiera de dos errores aleatorios depende de la distancia y de la dirección que los separa, no de sus lugares exactos.

A continuación se presenta los diferentes tipos de krigging:

2.11.2.1 Kriging ordinario

Para situaciones medioambientales, este método es apropiado, asume que las medias locales, no están necesariamente relacionadas lo más cercanamente a la media poblacional, por lo cual solo usa las muestras en la vecindad local para la estimación.

El kriging ordinario sirve para predecir valores dentro de una determinada zona de estudio, en lugares donde no hubo mediciones, puede ser usado para datos con estacionariedad de segundo orden o intrínseca, para datos con media constante pero desconocida. El método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables, cuya representación sería la siguiente:

$$\begin{aligned} Z^*(x_0) &= \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \end{aligned}$$

(ec. 2.9)

2.11.2.2 Kriging simple

Asume que las medias locales son relativamente constantes e iguales a la media poblacional, la cual es conocida. Se utiliza cuando el proceso es estacionario con media m y covarianza conocidas. (Díaz 2002)

$$Z^*(x_o) = m + \varepsilon^*(x_o) \quad (\text{ec. 2.10})$$

$$\varepsilon^*(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m) \quad (\text{ec. 2.11})$$

$$Z^*(x_o) = m + \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m) \right] = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) \quad (\text{ec. 2.12})$$

2.11.2.3 Kriging por bloques

Estima el valor promedio de los bloques rectangulares, que están centrados en los nodos de las cuadrículas, los bloques son del tamaño y forma de las celdas de las cuadrículas, este tipo de kriging no resulta ser un buen interpolador, ya que no estima el valor de un punto, sino estima el valor promedio de la variable dentro de una determinada área. El kriging por bloques considera una región V_k de área A_k con centro en el punto x_k .

$$Z_{V_k} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{ec. 2.13})$$

² DIAZ VIERA MARTÍN, Instituto de Geofísica, UNAM, Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.

2.11.2.4 Kriging universal

El kriging universal generaliza el kriging ordinario, permitiendo que el valor medio del proceso no sea constante, sino una combinación lineal de funciones conocidas o covariables ligadas a las mismas localizaciones.

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon(x) \quad (\text{ec. 2.14})$$

$$m(x) = \sum_{i=1}^P a_i f_i(x) \quad (\text{ec. 2.15})$$

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \left[\text{EMBED Equation. 3} \right] Z(x_i) \quad (\text{ec. 2.16})$$

2.11.2.5 Kriging residual

Kriging residual es útil cuando la media de la variable no es conocida, cuando los valores experimentan una tendencia, la base del kriging residual radica en suponer la tendencia de la media, para estimar la tendencia se utiliza modelo de regresión, en general, por mínimos cuadrados ordinarios. De esta manera se divide en directo e iterativo. La diferencia entre el kriging residual directo es que éste supone conocido el orden k de la deriva en base a razonamientos físicos y en kriging iterativo supone que el orden de la deriva es $k=1$. A continuación se presenta un esquema general de su fórmula:

$$Z(x) = m_k(x) + R(x) \quad (\text{ec. 2.17})$$

$$R(x) = Z(x) - m_k(x) \quad (\text{ec. 2.18})$$

³ DIAZ VIERA MARTÍN, Instituto de Geofísica, UNAM, Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.

FUNES HECTOR NICOLÁS, Métodos estadísticos en problemas espaciales, Instituto de Investigaciones Estadísticas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Tucuman.

⁴ DIAZ VIERA MARTÍN, Instituto de Geofísica, UNAM, Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.

FUNES HECTOR NICOLÁS, Métodos estadísticos en problemas espaciales, Instituto de Investigaciones Estadísticas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Tucuman.

2.11.2.6 Kriging indicador

El kriging indicador provee una estimación por mínimos cuadrados de la función de distribución condicional cumulativa para variables continuas y la función de probabilidades discretas para variables categóricas.

2.11.2.7 Kriging log normal y multigaussiano

Este tipo de kriging se utiliza para realizar transformaciones de la variable regionalizada con el propósito de normalizar en cada sitio de la región de estudio. Es óptimo cuando el proceso Z tiene una distribución normal o gaussiana.

$$\tilde{F}_z(Z; s_0) = \exp \left\{ \tilde{F}_z(Z; s_0) + \frac{1}{2} \sigma_Y^2 - \frac{1}{2} \text{var} \tilde{F}_Y(Z; s_0) \right\} \quad (\text{ec. 2.19})$$

$$\tilde{F}_z(Z; s_0) \equiv \exp \left\{ \tilde{F}_z(Z; s_0) + \frac{1}{2} \sigma_Y^2(s_0) - m_Y \right\}^5 \quad (\text{ec. 2.20})$$

⁵ DIAZ VIERA MARTÍN, Instituto de Geofísica, UNAM, Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.
FUNES HECTOR NICOLÁS, Métodos estadísticos en problemas espaciales, Instituto de Investigaciones Estadísticas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Tucuman.

CAPITULO III

MODELAMIENTO Y APLICACIÓN GEOESTADÍSTICA

3.1 Descripción del área de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito está localizado en la provincia de Pichincha, situada en la zona central norte de la Cordillera de los Andes, que atraviesa el Ecuador de Norte a Sur.

La provincia tiene un área de 1.358.100 hectáreas (IMQ, 1992), de las cuales el Distrito Metropolitano comprende más de 290.746 hectáreas, incluyendo a la ciudad de Quito propiamente dicha así como a 24 parroquias suburbanas y rurales que rodean al núcleo urbano (IMQ, 1992, Gómez, 1989).

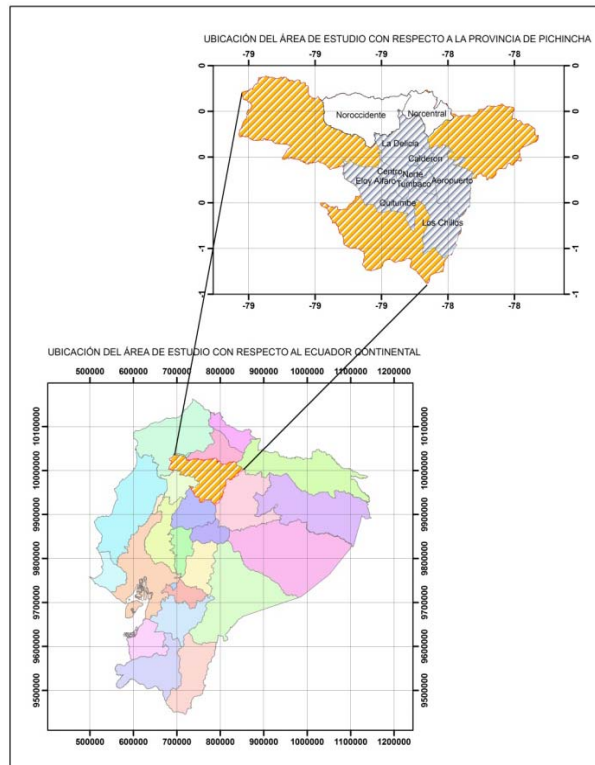


Figura 3.1 Ubicación del Área de Estudio con respecto al Ecuador Continental
Fuente: Límites Referenciales – INEC; Cartografía Base del DMQ 2010

Dentro de esta región metropolitana ampliamente definida, la zona urbanizada cubre 37.091 hectáreas, que constituyen el área urbana de Quito propiamente dicha, rodeada por aproximadamente 253.655 hectáreas de zonas periurbanas, suburbanas y rurales (IMQ, 1992).

El área de estudio comprende 8 Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito que se encuentran entre las coordenadas noroccidentales 771563; 9994265 hasta las coordenadas surorientales de 789015; 9963369 con un área aproximada de 540 km² y un perímetro de 97 km; en el que se encuentra distribuida la Red de Monitoreo Pasiva (REMPA) con un máximo de 38 estaciones de monitoreo por variable estudiada.

El crecimiento urbano y el desarrollo de la ciudad rebasaron las fronteras naturales y los instrumentos de gobierno y planes existentes ya no eran suficientes para administrarla.

Según el ex alcalde de Quito Jamil Mahuad, la planificación de la ciudad en su administración concebía la idea de distrito y únicamente le hacía falta un soporte legal para la metropolización de la ciudad, lo que permitiría un manejo más ágil de la planificación urbana.

El Plan Distrito Metropolitano incluyó una serie de cambios fundamentales dentro de la planificación urbana de la ciudad y de las 24 parroquias rurales aledañas a la misma.

El Plan del Distrito Metropolitano surgió ante la necesidad de fijar los nuevos límites y una nueva forma de organización que desconcentre la actividad administrativa de servicios y mejoras, sin embargo, la municipalidad respetó los límites del Cantón Quito.

En el año 1992 se conformó legalmente el Distrito Metropolitano de Quito mediante Ordenanza N.2955, que estableció límites jurisdiccionales más extensos y dio paso a un inicio y una nueva forma de gobierno local en el área.

La ordenanza municipal originalmente la dividía a la ciudad en cuatro zonas urbanas y seis zonas suburbanas. A continuación se detallan las zonas urbanas:

1. Anansaya (norte)
2. Yavirac (centro)
3. Urinsaya (sur)
4. Turubamba (sur)

Estas zonas a su vez se encontraban subdivididas en cuatro parroquias, lo que sumaban un total de dieciséis parroquias urbanas dentro de la ciudad.

Las zonas suburbanas corresponden a Pululahua, que incluye a Calacalí, San Antonio y Pomasqui; Carapungo (Calderón, Llano Chico y Zámbriza); Rumihuaico (Nayón, Tumbaco y Cumbayá); los Chillos (Guangopolo, Alangasí, La

Merced, Conocoto, Amaguaña y Pintag); Oyambaro (Guayllabamba, El Quinche, Checa, Yaruquí, Tababela, Pifo y Puembo) y Ungui (Lloa y Napo).

El nuevo Distrito incluye 16 parroquias del núcleo urbano y 24 parroquias suburbanas organizadas en cuatro zonas centrales y seis suburbanas.

Cada una de estas zonas cuenta con un "administrador zonal", que reporta al alcalde los problemas y el trabajo en la zona que le corresponde.

Otro de los objetivos del Distrito Metropolitano es la descentralización de la administración municipal, con esto se creó oficinas municipales en varias zonas de la ciudad y hoy en día existe una oficina por cada administración zonal, cuyo objetivo es dar facilidad para que la gente pueda acudir al Cabildo sin necesidad de ir al centro, con esto se logró agilizar los trámites y ganar tiempo.

Actualmente existen ocho administraciones zonales como se mencionan a continuación:

1. Administración Eugenio Espejo
2. Administración Manuela Sáenz
3. Administración Eloy Alfaro
4. Administración Quitumbe
5. Administración Calderón
6. Administración Tumbaco
7. Administración Los Chillos
8. Administración La Delicia

El área de estudio comprende 8 Estaciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito; en el que se encuentra distribuida la Red de Monitoreo Pasiva (REMPA) con un máximo de 38 estaciones de monitoreo por variable estudiada.

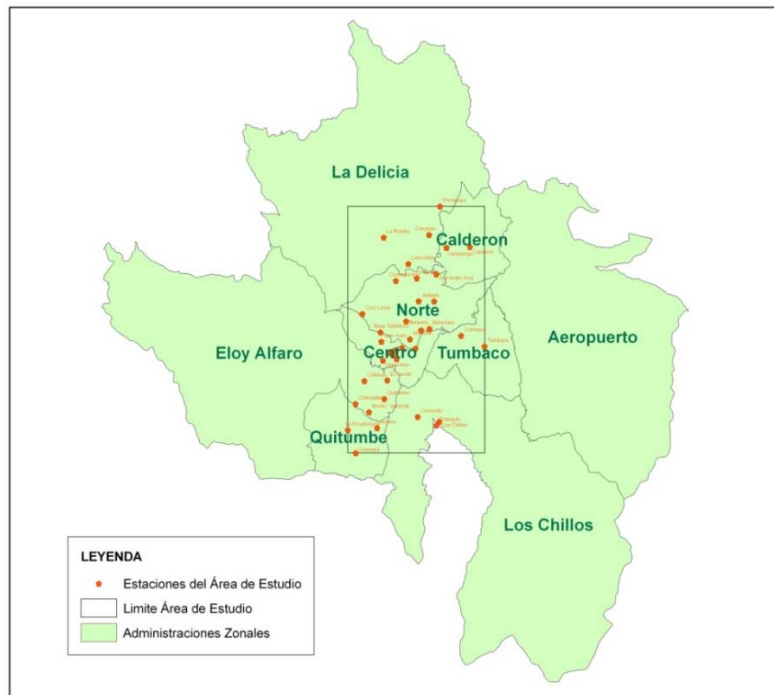


Figura 3.2 Área de Estudio
Fuente: Límites Referenciales – INEC; Cartografía Base del DMQ 2010

3.2 Localización de las principales características

El desarrollo histórico y actual de la parte espacial de Quito ha venido teniendo una influencia considerable por las características naturales dominantes de la región. Es por esto que a continuación se incluyen ciertas características:

Topografía: La porción urbanizada del área metropolitana de Quito está situada en un valle montañoso estrecho localizado inmediatamente al este de las faldas del volcán Pichincha. En la actualidad la “barrera natural” que representan las montañas que rodean a la ciudad ha obligado a que la ciudad se expanda longitudinalmente, en forma de luna creciente (DeNoni, 1986), de tal forma que el núcleo urbano consolidado de la metrópoli tiene actualmente de 5 a 8 km de ancho y más de 30 km de largo.

Los pobladores han logrado superar algunas limitaciones físicas que restringen los asentamientos en las laderas de la montaña, el acceso, el abastecimiento de agua y el riesgo de desastres naturales continúan impidiendo

un desarrollo intensivo en estas áreas empinadas. En las zonas periféricas por afuera del núcleo urbano, el desarrollo también se ha movido rápido en algunos valles y planicies urbanas que se extienden hacia el Este y el Sur de la ciudad principal, entre cadenas de colinas y otros terrenos empinados.

Hidrología: El área de El área de Quito Metropolitano está localizada en la subcuenca hidrológica del Guayllabamba, una extensa red interandina de drenaje limitada por las cordilleras paralelas de los Andes al Este y Oeste, y por cadenas volcánicas transversales al Norte y Sur. Dentro de esta cuenca, y específicamente dentro del Distrito Metropolitano de Quito, fluyen algunos importantes ríos: Guayllabamba, Machángara, Monjas, Pita y San Pedro (IMQ, 1992c).

Suelos: Casi todos los suelos originales del área metropolitana son de origen volcánico. En las áreas periféricas localizadas en las escarpas occidentales de las cadenas montañosas de la zona, los suelos dominantes son francos y pseudo arenosos de textura fina (ej. Dystrandeps). Estos suelos tienen una retención de humedad extremadamente alta, pero no se consideran adecuados para uso agrícola debido a su localización en áreas muy empinadas.

Las zonas agrícolas más importantes del área metropolitana están localizadas en Puembo, Pifo, Yaruquí, Checa, Tumbaco, El Quinche, Amaguaña y Píntag. Predominan en estas áreas, los suelos volcánicos negros profundos (> 1 m) con alguna presencia de limo y un contenido de arcilla menor al 30% (ej. Plustols, Arglostols, Pludolls). Se encuentran suelos similares en las zonas de Lloa y Quito Sur (Gangotena et al, 1990 – FAO 2011).

Zonas Ecológicas de Vida: El Distrito Metropolitano de Quito, incluyendo el núcleo urbano y la zona de transición urbano-rural periférica, abarca ocho zonas ecológicas de vida definidas por el sistema de Holdridge (1967), más dos zonas de transición. Tres de estas zonas de Holdridge (más una zona de transición) están presentes dentro de la región del núcleo urbanizado (Mapa 2.3) y todas están en el área metropolitana.

El gobierno metropolitano ha desarrollado su propio sistema de clasificación, dividiendo al Distrito en tres regiones amplias, de acuerdo con las características de precipitación, altitud y temperatura. Estas clasificaciones parecen centrarse solamente en áreas de asentamientos humanos, y no incorporan las zonas elevadas e inhabitadas de la cadena montañosa occidental.

3.3 Análisis exploratorio de los datos

Para realizar el análisis geoestadístico y comenzar con el análisis exploratorio de los datos, es muy importante tener en cuenta o recordar ciertos conceptos de estadística, en particular de la estadística descriptiva que son necesarios en el momento de ejecutar el análisis geoestadístico con cualquier software.

La estadística descriptiva es el proceso de recolectar, agrupar y presentar datos de una manera tal que describa fácil y rápidamente dichos datos. (Webster, 2001). Para analizar los datos usualmente se utilizan *medidas de tendencia central*, es decir, aquellas que ubican e identifican el punto alrededor del cual se centran los datos (Webster, 2001); y *medidas de dispersión* que indican el punto hasta el cual las observaciones individuales se esparcen alrededor de su punto central y son aquellas que miden la dispersión o la variabilidad de los datos y reflejan la tendencia de las observaciones individuales a desviarse de dicho punto central (Webster, 2001).

De esta manera, se construyen las tablas de frecuencias y se utilizan: la media, mediana, moda, desviación estándar, la varianza, coeficiente de sesgo y coeficiente de variación.

3.3.1 Distribución Normal

Es la distribución de probabilidad más importante en todo el campo de la estadística, su gráfica es la curva en forma de campana, que describe la distribución de muchos conjuntos de datos que ocurren en la naturaleza, la industria y la investigación. En 1733, Abraham DeMoivre desarrolló la expresión matemática para la curva normal. Con frecuencia la distribución normal se denomina **distribución gaussiana** en honor de Karl Friedrich Gauss (1777-1855), quien dedujo su ecuación a partir de un estudio de los errores cometidos en mediciones repetidas de la misma cantidad. (Ronald E. Walpole, 1986)

Una distribución de probabilidad sigue una distribución normal, cuando la representación gráfica de su función de densidad es una curva positiva continua, simétrica respecto a la media, de máximo en la media, y que tiene 2 puntos de inflexión situados a ambos lados de la media y a distancia igual a la desviación estándar, es decir de la forma:

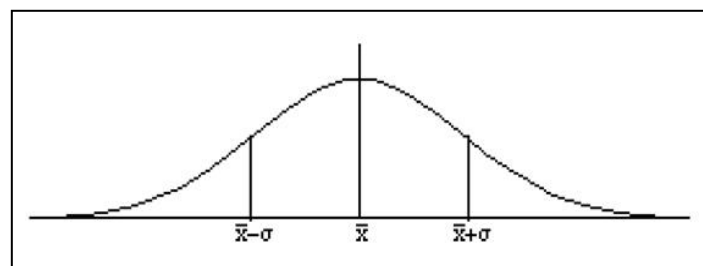


Figura 3.3 Distribución Normal o Gaussiana
Fuente: Estadística aplicada a los negocios y a la economía, 2001

Sus propiedades son las siguientes:

- Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
- La curva normal es asintótica al eje de abscisas.
- Es simétrica con respecto a su media. Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.

- Cuanto mayor sea la desviación estándar, más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.
- El coeficiente de sesgo es igual a cero (0).
- La curtosis es igual a cero (0).

3.3.3 Organización de Información

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el tipo de información con la que se cuenta para la realización de este trabajo de investigación:

Tabla 3.1 Tabla de Variable a Trabajar

Año	Variable
DMQ 2006	NO ₂ O ₃
DMQ 2007	NO ₂ O ₃ SO ₂
DMQ 2008	NO ₂ O ₃ SO ₂ Benceno
DMQ 2009	NO ₂ O ₃ SO ₂ Benceno Tolueno Xileno
DMQ 2010	NO ₂ O ₃ SO ₂ Tolueno Xileno

Se cuenta con el promedio mensual de cada parámetro de cada estación, en la Tabla 11 se muestra un ejemplo de cómo se encuentra la información disponible de las distintas variables a estudiar.

Tabla 3.2 Muestra de Información de O₃ en ug/m³ disponible del año 2010

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Argelia	26,57	23,17	20,31	18,15	23,01	-	23,64	23,64	55,81	46,07	45,05	26,45	30,17
Base Teleférico	-	31,59	19,18	15,63	22,59	20,48	24,12	24,12	50,29	37,04	69,07	14,87	29,91
Basílica	18,04	16,12	25,42	12,24	21,22	12,58	7,91	7,91	23,74	22,02	19,47	16,93	16,97
Bellavista	17,64	23,29	16,86	13,55	9,16	8,86	8,84	8,84	38,44	23,00	23,32	9,67	16,79
Calderón	23,57	11,73	22,35	15,97	12,84	15,20	12,30	12,30	48,02	20,21	18,80	16,58	19,16
Carapungo	24,78	22,94	26,43	20,92	18,27	19,56	18,00	18,00	34,62	30,48	28,06	27,43	24,12
Carcelén	26,35	23,23	23,61	18,64	16,23	20,70	24,30	24,30	36,43	38,81	31,70	17,14	25,12
Chilibulo	22,78	20,92	15,22	18,11	18,44	-	19,42	19,42	41,89		49,34	21,08	24,66
Chillogallo	19,26	14,04	16,76	14,02	21,97	25,59	22,18	22,18	41,71	57,71	42,70	24,97	26,92
Cochapamba	25,53	24,44	12,42	7,33	18,21	18,04	16,73	16,73	35,20	24,27	25,90	13,53	19,86
Conocoto	21,90	21,25	22,28	15,84	14,05	8,13	16,00	16,00	27,94	25,72	19,06	19,51	18,97
Cruz Loma	12,84	53,47	39,00	24,17	19,28	27,95	30,75	30,75	80,32	36,64	68,57	20,01	36,98
Cumbaya	25,10	26,27	26,33	17,72	22,88	17,21	17,06	17,06	31,00	17,74	38,34	16,65	22,78
Escuela Sucre	37,25	37,35	44,76	22,70	29,69	21,10	24,46	24,46	38,20	39,77	31,47	17,47	30,72
González Suárez	19,93	20,85	24,34	12,72	20,57	17,54	14,50	14,50	30,13	21,40	27,41	17,47	20,11
Itchimbia	25,28	23,77	20,91	16,96	18,15	18,52	15,78	15,78	38,11	30,42	31,96	22,46	23,18
Jipijapa	23,40	18,66	25,32	15,76	18,29	15,20	17,14	17,14	35,16	19,93	27,22	16,35	20,80
Kennedy	-	26,83	31,84	9,20	14,61	16,88	14,69	14,69	49,27	33,79	24,72	18,35	23,17
La Ecuatoriana	34,88	26,72	27,92	20,37	23,34	24,16	20,92	20,92	51,81	36,78	36,89	17,53	28,52
La Marín	15,26	13,39	12,38	11,91	11,92	10,69	6,18	6,18	26,02	17,88	10,12	15,24	13,10
La Roldós	26,57	39,03	22,33	19,22	20,57	18,16	18,26	18,26	33,54	43,92	44,63	9,60	26,17
Mariscal	20,21	20,88	20,63	13,03	19,07	17,92	22,47	22,47	29,98	21,73	24,52	21,28	21,18
Monteserrín	21,78	20,55	22,42	11,76	10,42	11,56	15,41	15,41	39,50	26,07	16,33	20,83	19,34
Morán Valverde	17,81	17,52	16,63	11,36	17,38	15,26	12,80	12,80	36,77	21,43	20,54	13,55	17,82
Necochea	-	-	27,55	14,84	28,93	41,12	17,98	17,98	34,48	32,29	25,44	13,26	25,39
Pomasqui	39,47	32,13	47,04	30,64	41,16	56,22	53,79	53,79	59,98	65,92	48,84	25,41	46,20
Quitumbe	22,86	22,44	18,48	16,37	26,88	29,40	18,94	18,94	49,22	34,46	45,12	26,48	27,47
San Isidro Inca	27,14	23,39	12,74	7,75	15,34	16,43	14,45	14,45	44,35	26,61	23,30	19,64	20,47
San Juan	22,41	23,07	21,62	19,39	18,18	21,69	20,93	20,93	49,90	35,53	21,68	22,65	24,83
Triángulo	17,33	15,55	14,78	12,91	10,06	16,21	14,18	14,18	34,07	20,19	18,91	17,69	17,17
Tumbaco	21,91	20,38	29,26	20,50	28,25	19,70	20,62	20,62	33,05	33,17	34,92	13,33	24,64

Fuente: Corporación para el mejoramiento de la calidad del aire
Año: 2010

Es importante mencionar que, esta es la forma en la que se presenta la información inicialmente, de esta misma manera se encuentran cada una de las variables que se explica en la Tabla 10; por motivos didácticos únicamente se ha colocado un ejemplo, el resto de tablas se encuentran formando parte del *Anexo 1 – Información disponible de las distintas variables a estudiar.*

La organización de los datos se la ha realizado un promedio anual para luego ordenarla de menor a mayor y posteriormente realizar la tabla de frecuencias correspondiente.

Es importante mencionar que, esta es la forma en la que se presenta la información con el promedio anual de cada una de las variables, de esta misma manera se encuentran cada una de las variables que se explica en la Tabla 10; por motivos didácticos únicamente se ha colocado un ejemplo, el resto de tablas se encuentran formando parte del *Anexo 1 – Información Disponible de Variables*.

3.3.4 Tabla de Frecuencias

Una forma de presentar ordenadamente un grupo de observaciones, es a través de tablas de distribución de frecuencias. Para construir una tabla de frecuencia se deben ordenar los datos de menor a mayor e incluir los siguientes parámetros:

Tabla 3.3 Tabla de Distribución de Frecuencias

Parámetro	Definición
Frecuencia Absoluta	Es el número de datos que están en un mismo intervalo
Frecuencia Relativa	Es la frecuencia absoluta dividida por el número total de datos
Frecuencia Absoluta Acumulada	Es la suma de las frecuencias absolutas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado. La última frecuencia absoluta acumulada es igual al número de casos
Frecuencia Relativa Acumulada	Es el resultado de dividir cada frecuencia absoluta acumulada por el número total de datos
Número de clases	Indica el número de intervalos en que se agruparan los datos
Amplitud de la clase o intervalo	Se obtiene al dividir por dos, la diferencia del valor máximo y mínimo de los datos
Marca de clase	Es el promedio de la suma del límite superior e inferior de cada intervalo o clase

Fuente: Estadística aplicada a los negocios y a la economía, 1990

El uso de la Tabla de Frecuencias es importante para poder resumir la información disponible por medio de cual se va a realizar el presente trabajo, éste cálculo se lo ha realizado de cada una de las variables para cada año con información disponible, a continuación se muestra un ejemplo de la construcción de esta tabla incluyendo las fórmulas respectivas utilizadas dentro de la misma. Las demás tablas de frecuencias se encuentran formando parte del Anexo 3 – Tablas de Frecuencias e Histograma de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

Fórmulas:

$$k = \sqrt{n} \quad (\text{ec. 3.1})$$

$$a = \frac{\text{Max} - \text{min}}{k} \quad (\text{ec. 3.2})$$

$$\text{Marca de clase} = \frac{\text{LimiteInferior} + \text{LimiteSuperior}}{2} \quad (\text{ec. 3.3})$$

Donde:

k: número de intervalos o clases

n: tamaño de la muestra

a: amplitud de clase o del intervalo

Max: dato mayor de la muestra

Min: dato menor de la muestra

MC: marca de clase

Tabla 3.4 Tabla de Frecuencias O₃ en ug/m³ para el año 2009

Intervalo	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
15,951 - 19,715	17,833	2	2	5,26	5,26
19,715 - 23,478	21,596	7	9	18,42	23,68
23,478 - 27,242	25,360	15	24	39,47	63,16
27,242 - 31,005	29,124	10	34	26,32	89,47
31,005 - 34,769	32,887	2	36	5,26	94,74
34,769 - 38,532	36,651	1	37	2,63	97,37
38,532 - 42,296	40,414	1	38	2,63	100,00

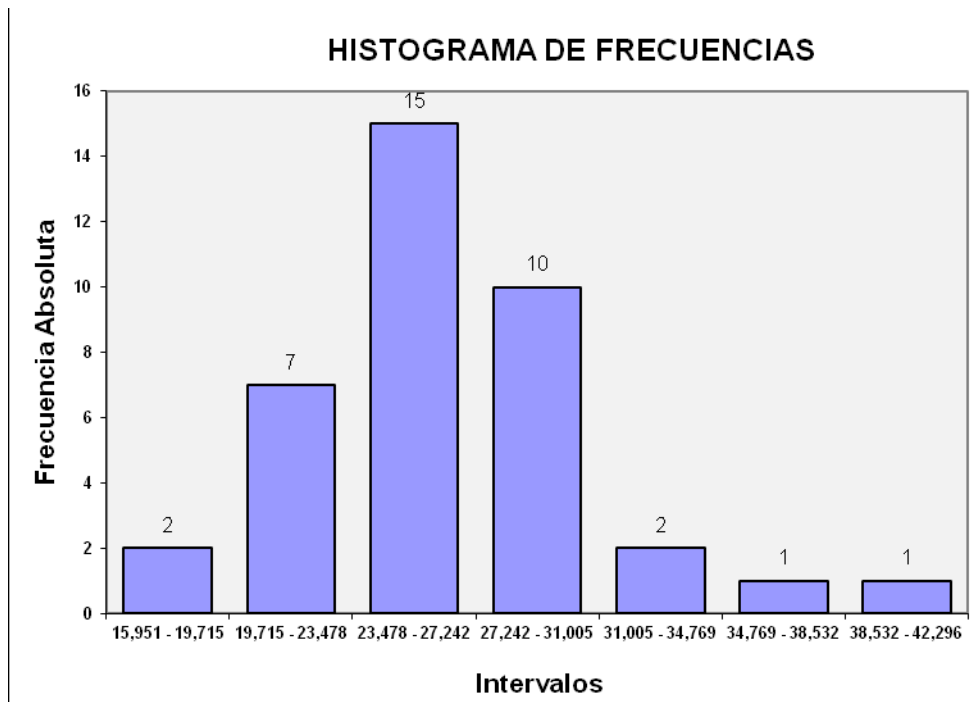
$$n = 38 \quad R = 26,345$$

$$k = 6,164 \quad a = 3,764$$

$$k = 7$$

3.3.5 Histograma de Frecuencias

A partir de la tabla de frecuencias se construyó el histograma de frecuencias, que está formado por un conjunto de rectángulos, cada uno de ellos muestra la amplitud y la frecuencia absoluta de los datos disponibles. En la Figura 3.2 se encuentra un ejemplo para O_3 en ug/m^3 para el año 2009, los histogramas de cada uno de los parámetros estudiados se encuentran en el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.



Cuadro 3.1 Histograma de Frecuencias para O_3 en ug/m^3 para el año 2009

3.3.6 Cálculo de Parámetros Geoestadísticos

3.3.6.1 Medidas de tendencia central

Media: Es el valor de tendencia central de mayor interés, denominada también “media aritmética” ó “promedio”, es la suma de los valores de todas las observaciones divididas por el número total de datos.

Mediana: Es el valor de la serie de datos que deja la mitad de las observaciones por debajo de ella y la otra mitad por encima, es decir, divide al conjunto de datos en dos partes iguales. Se denota Me.

En el caso de los datos no agrupados la mediana se calcula de la siguiente manera:

- Se ordenan los datos de menor a mayor
- Si el número de datos es impar, la mediana es el dato que divide a la muestra en dos partes iguales.
- Si el número de datos es par, la mediana es el promedio de los datos que quedan en el centro de la muestra.

Moda: Es considerada como el valor que más veces se repite, puede haber más de una moda en una distribución. Se denota Mo.

Para el cálculo de datos agrupados en intervalos se procede de la siguiente manera:

- Ubicar la mayor frecuencia absoluta, para hallar el intervalo modal.
- Aplicar la fórmula

$$Mo = L_1 + \frac{d_1 a}{d_1 + d_2}$$

(ec. 3.4)

Donde:

L₁: Extremo inferior del intervalo en el que se encuentra la moda

a: amplitud de clase

d₂: valor que se obtiene de restar la F_{modal} con la frecuencia absoluta del intervalo siguiente al que contiene la moda.

d₁: valor que se obtiene de restar la F_{modal} con la frecuencia absoluta del intervalo anterior al que contiene la moda

El cálculo de la moda para O₃ para el año 2009 se encuentra en la Tabla 3.5 y para cada uno de los parámetros estudiados se encuentra en el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

3.3.6.2 Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión nos dan una idea sobre la homogeneidad o que tan agrupados están los datos.

Desviación estándar: indican cuánto tienden a alejarse los valores puntuales de la media. Se denota como S. Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media y viceversa.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n - 1}}$$

Donde:

X_i: dato i

X: media

S: desviación estándar

n= número de datos

(ec. 3.5)

Varianza: La varianza describe la variabilidad de la distribución.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n - 1}$$

(ec. 3.6)

Coeficiente de Variación: El coeficiente de variación es una medida de la variación relativa de los datos. Mide la representatividad de la media, es decir que, valores extremos del mismo nos llevaría a concluir que la media no es representativa, o sea que existirán valores entre las observaciones que se

separan significativamente de las demás observaciones y puede ser calculado de la siguiente manera:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} * 100$$

En el siguiente cuadro se puede identificar claramente la manera en la que se puede calificar al coeficiente de variación:

Bajo	< 10 %
Medio	10 – 20 %
Alto	20 – 30 %
Muy Alto	> 30 %

Fuente: Gómez 1976

Valores Atípicos: Un valor atípico es una o varias observaciones con valores que no parece corresponderse con el resto de los valores en el conjunto de datos. Puede considerarse como valores extremos, altos o bajos, en una distribución puede conducir a la obtención de un variograma fuertemente errático. En estos casos la solución puede ser eliminar los datos extremos, porque pueden ser ocasionados por errores, en otros casos pueden encontrarse en zonas geográficamente distintas y podrían ser tratados de manera separada.

Teniendo en cuenta este criterio, para el caso en estudio se analizó la ubicación geográfica de las estaciones y se llegó a la conclusión de que las estaciones que se encontraban muy alejadas o en los extremos del Distrito mantenían una correlación espacial casi nula por lo tanto era mejor no tomarlas en cuenta.

3.3.6.3 Medidas de distribución

Las medidas de distribución nos permiten identificar la forma en que se separan o aglomeran los valores de acuerdo a su representación gráfica, miden el grado de deformación respecto a una curva patrón, es decir, respecto a la distribución normal.

Coefficiente de curtosis: El coeficiente de curtosis mide el grado de aplastamiento o apuntamiento de la gráfica de la distribución de la variable estadística. Datos concentrados respecto a la media, con una desviación estándar pequeña, dará una gráfica alargada; si los datos están dispersos la gráfica será achatada o aplastada.

$$K = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} - 3$$

(ec. 3.7)

El coeficiente de curtosis presenta tres tipos de gráficas:

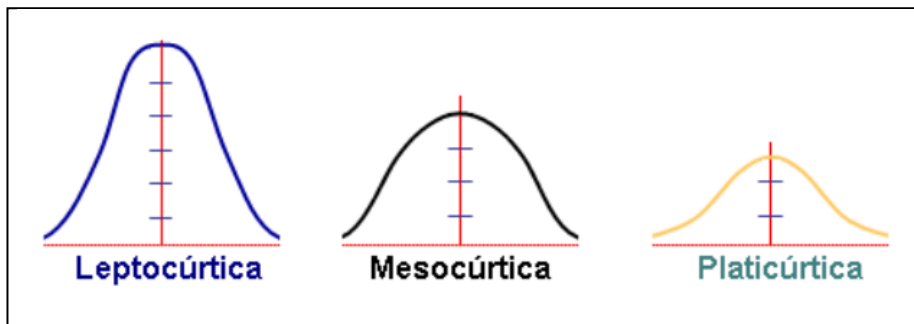


Figura 3.4 Comparación Gráficas del coeficiente de curtosis

Fuente: Cartin 2009

Cuando $K = 0$; la distribución es Mesocúrtica

$K > 0$; la distribución es Leptocúrtica

$K < 0$; la distribución es Platicúrtica

Coefficiente de sesgo: El coeficiente de sesgo evalúa el grado de distorsión o inclinación que adopta la distribución de los datos respecto a su valor promedio tomado como centro de gravedad. La fórmula del coeficiente de simetría de Pearson es la siguiente:

$$CS = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S^3}$$

(ec. 3.8)

Si $CS=0$, la distribución es simétrica, en ese caso las desviaciones a la derecha y a la izquierda de la media se compensan.

Si $CS<0$, la distribución es asimétrica negativa. La mayoría de las observaciones están a la derecha de la proyección de la media.

Si $CS>0$, la distribución es asimétrica positiva. La mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media.

Tabla 3.5 Tabla de cálculo de parámetros geoestadísticos de O_3 en $\mu g/m^3$ para el año 2009

No.	Estación	Media O_3 en $\mu g/m^3$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	Argelia	29,29	7,59	20,92	57,65
2	Base Teleférico	26,43	0,01	0,00	0,00
3	Basílica	21,58	24,58	-121,85	604,09
4	Belisario	27,42	0,79	0,70	0,62
5	Bellavista	20,78	33,11	-190,54	1096,43
6	Centro Histórico	26,31	0,05	-0,01	0,00
7	Calderón	27,00	0,22	0,10	0,05
8	Carapungo	23,12	11,64	-39,71	135,46
9	Carcelén	29,72	10,13	32,25	102,65
10	Chilibulo	26,55	0,00	0,00	0,00
11	Chillo Gallo	25,10	2,07	-2,98	4,29
12	Cochapamba	26,00	0,28	-0,15	0,08
13	Conocoto	24,45	4,37	-9,12	19,05
14	Cotacollao	24,70	3,37	-6,18	11,35
15	Cruz Loma	42,30	248,40	3914,91	61701,56
16	Cumbaya	33,21	44,50	296,84	1980,15
17	El Camal	21,84	22,05	-103,52	486,10
18	Escuela Sucre	27,50	0,94	0,91	0,88
19	González Suárez	27,22	0,47	0,33	0,22
20	Guamaní	25,67	0,75	-0,65	0,57
21	Itchimbia	26,18	0,12	-0,04	0,02
22	Jipijapa	29,90	11,30	38,00	127,75
23	Kennedy	24,54	3,98	-7,95	15,87
24	La Ecuatoriana	31,26	22,31	105,35	497,57
25	La Marín	15,95	112,03	-1185,77	12550,64
26	La Roldós	31,00	19,95	89,09	397,90
27	Los Chillos	24,71	3,33	-6,08	11,10
28	Mariscal	22,49	16,36	-66,20	267,79
29	Maternidad	20,88	32,02	-181,16	1025,03
30	Monteserrín	22,23	18,55	-79,90	344,11
31	Morán Valverde	25,47	1,13	-1,20	1,27

32	Necochea	19,31	52,21	-377,25	2725,90
33	Pomasqui	36,25	94,34	916,37	8900,73
34	Quitumbe	27,28	0,56	0,42	0,31
35	San Isidro Inca	27,98	2,09	3,01	4,35
36	San Juan	28,20	2,77	4,60	7,65
37	Triángulo	25,42	1,24	-1,38	1,53
38	Tumbaco	30,64	16,83	69,04	283,25
39	Yaruquí	29,01	6,11	15,12	37,38
	Media	26,53			
	Mediana	26,31			
	Suma		826,4299	3126,3197	93401,3473
	n - 1		37		
	S		4,73		
	S2		22,34		
	CV (%)		17,81		
	S3		105,56		
	CS		0,80		
	S4		498,89		
	K		2,06		

Todas las medidas de tenencia central, de dispersión y de forma de cada uno de los parámetros a estudiar en este proyecto se encuentran calculadas en el Anexo 4 – Parámetros Geoestadísticos.

3.5 Verificación de la normalidad

3.5.1 Con respecto a la media, moda y mediana

Para realizar una verificación de la normalidad, es decir, para que la distribución a estudiar sea normal o se aproxime, la media, la moda y la mediana deben ser similares, en este caso se acepta una diferencia de una unidad entre ella.

Para el caso de O_3 en ug/m^3 para el año 2009, tenemos la Tabla 3.6 y para los demás parámetros estudiados, ésta comparación se encuentra en el Anexo 5 - Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos.

Tabla 3.6 Tabla de Verificación de Normalidad de O_3 en ug/m^3 para el año 2009

Variable	O ₃ -2009
n	38
Media	26,53
Mediana	26,31
Moda	25,79
Suma	826,43
Desviación Estándar	4,73
Varianza	22,34
Coef. Variación	17,81
Coef. Sesgo	0,80

3.5.2 Con respecto a la asimetría horizontal (coeficiente de asimetría, sesgo)

En el caso de existir asimetría horizontal, es decir que, los datos no se ajustan a una distribución normal, Wester-Oliver (2001) propone lo siguiente:

- $0 < |CS| < 0.5$, se acepta la función de distribución de probabilidad como normal, se puede aplicar el método geoestadístico a los datos.
- $0.5 < |CS| < 1$, en este caso es conveniente realizar una transformación de datos de tipo raíz cuadrada.
- $|CS| > 1$, es necesario hacer una transformación de tipo logarítmica.

Como en el caso de O₃ para el año 2009, CS= 0,6276, valor menor que 1, por lo tanto es necesario realizar una transformación de tipo raíz cuadrada.

Para los demás parámetros que forman parte de este estudio, el análisis se encuentra en el Anexo 5 – Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos.

3.5.3 Con respecto al coeficiente de variación

El coeficiente de variación nos permite tener conocimiento de la afectación de valores extremos sobre la media.

En nuestro caso $CV= 17,467$, lo cual nos indica que los datos que se tienen para esta variable presentan valores con una tendencia mediana, decir que, los valores medianos para O_3 para el año 2009 favorecen a la utilización de herramientas geoestadísticas.

Si hacemos un resumen, la función de distribución de los datos se asemeja a una distribución normal dado que la media, la mediana y la moda son semejantes y además el $CS < 1$, por lo que es necesario realizar una transformación de tipo raíz cuadrada, en este caso una vez realizada la transformación de los datos se vuelven a calcular todos los parámetros para realizar las respectivas verificaciones.

El análisis de los parámetros que son parte de este estudio, hasta aquí se lo ha realizado en hojas de Excel en los respectivos anexos, lo que me ha permitido poder completar el análisis exploratorio de los datos y poder sacar conclusiones para poder realizar las transformaciones necesarias (si éste fuera el caso) de los datos, de aquí en adelante se proseguirá con el análisis en el software ArcGis 9.2, teniendo en cuenta que para esto ya se hizo previamente un estudio que nos da una idea bastante clara de cómo se encuentran los datos.

3.6 Procedimiento para el análisis exploratorio de los datos en el software Variowin 2.2 y ArcGis 9.2

Los datos ingresados se encuentran en pequeñas bases de datos individuales por variable a ser estudiada y por año. Para el ingreso de estos datos es necesario preparar esta información, por lo que estos se encuentren en un archivo con extensión .dat; para esto se utilizó el software Golden Software Surfer 8. De esta manera se encuentran todos y cada uno de las variables presentes en este estudio, pero por motivos didácticos a continuación se muestra un ejemplo de la base de datos de O_3 para el año 2009.

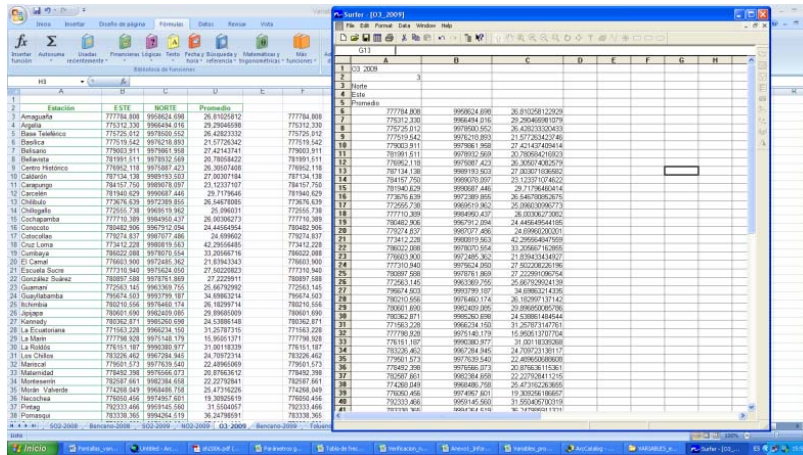


Figura 3.5 Base de datos

Los archivos de datos requieren de un formato específico, común para varios softwares estadísticos, con extensión .dat y con un máximo de ocho caracteres para su nombre, caso contrario éste será truncado. Éste archivo debe seguir el siguiente formato de presentación: la primera fila del archivo debe contener el título, la segunda, la cantidad de variables incluidas las coordenadas X e Y, las siguientes, los nombres de las variables. En la Figura 3.4 se muestra la manera como debe ingresar la información en cada archivo.

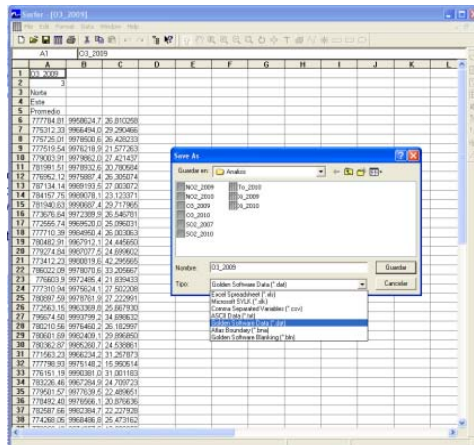
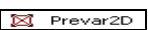
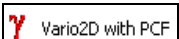

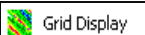


Figura 3.6 Base de datos Archivos con extensión .dat

3.6.1 Procedimiento para el modelamiento de datos con el software Variowin 2.2.

Variowin es un software diseñado únicamente para el análisis espacial de los datos y el modelamiento del variograma en dos dimensiones. Es de distribución libre y se lo puede descargar de internet a través de la dirección: <http://www-sst.unil.ch/research/variowin/index.html>. Consta de una colección de cuatro programas que deber ser ejecutados separadamente y en un orden específico, para el estudio únicamente se tomó los tres primeros. Estos programas son los siguientes:

- **Prevar 2D:** genera un archivo de distancias con extensión .pcf para todos los posibles pares de datos existentes en un archivo de datos con extensión .dat. 
- **Vario2D:** utiliza el archivo de comparación de a pares .pcf originado por el Prevar2D para hacer un análisis variográfico exploratorio en 2D. 
- **Model:** permite realizar de manera interactiva el ajuste a un modelo teórico del variograma experimental obtenido previamente por Vario2D. 
- **Grid:** sirve para exhibir archivos de grilla (formato ASCII .grd) como mapas de píxeles. 

Para el modelamiento de la información en el software VarioWin se realizaron los siguientes pasos:

- Se realizó la ubicación del módulo Prevar 2D para su ejecución; ir a Inicio, Variowin 2.2, Prevar 2D.

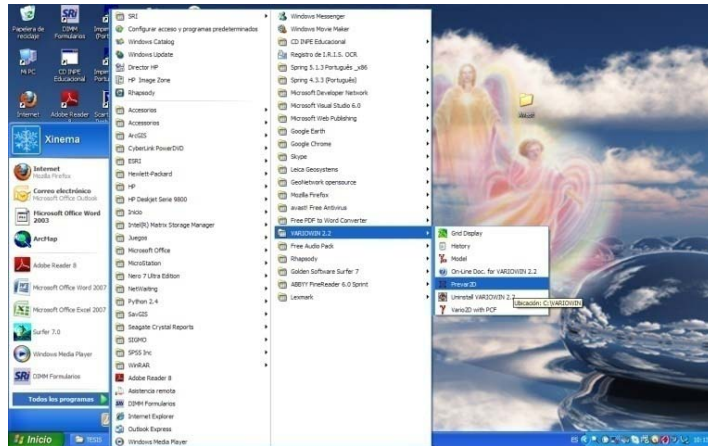


Figura 3.7 Ubicación del módulo Prevar 2D en la barra de tareas

- Cuando el módulo Prevar 2D, se abre, aparece una ventana con información del módulo, se hace click en OK.



Figura 3.8 Primera vista del módulo Prevar 2D

- Abrir el archivo generado previamente en Surfer con extensión .dat.

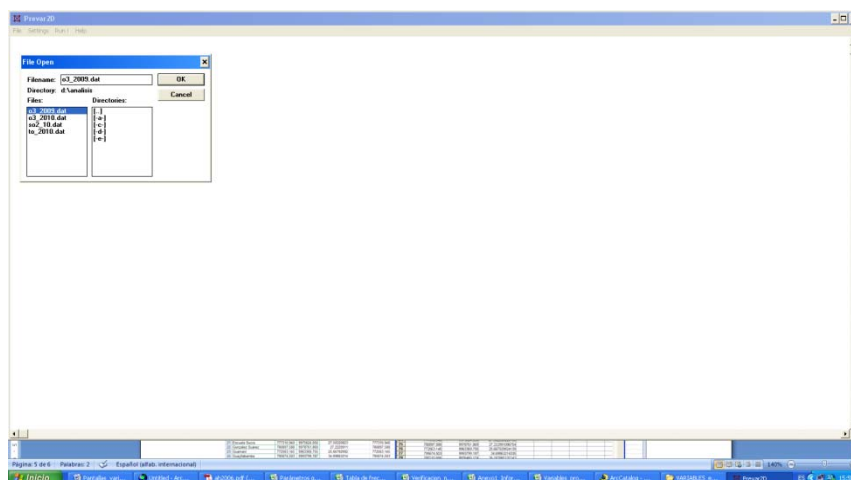


Figura 3.9 Ubicación de archivos .dat

- Una vez que el archivo se encuentra abierto, el sistema muestra el número de variables y de datos del archivo, para este estudio son 3 variables y 43 datos.

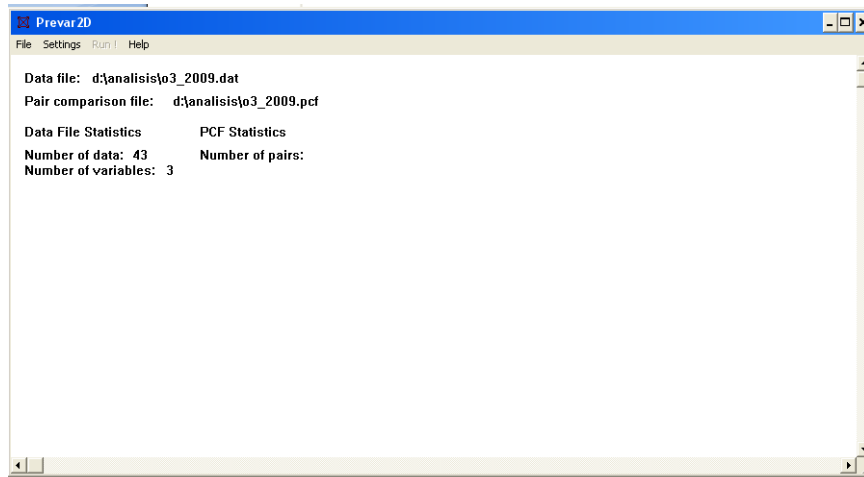


Figura 3.10 Ventana con número de datos y variables

- En la siguiente pantalla se selecciona las coordenadas georeferenciadas de la variable a través de la pestaña Settings.

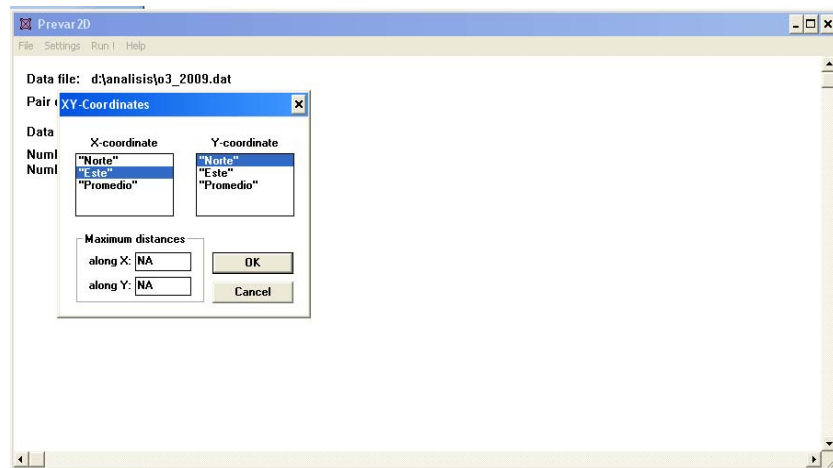


Figura 3.11 Ventana donde se muestra la selección de coordenadas

- Una vez que ya se ha seleccionado los campos donde se encuentran las coordenadas de los puntos de muestreo, hacer click en la pestaña RUN! y el sistema genera automáticamente un archivo con extensión .pcf. Esta ventana muestra también el número de

combinaciones posibles entre los datos de muestreo, para el estudio son 903 combinaciones.

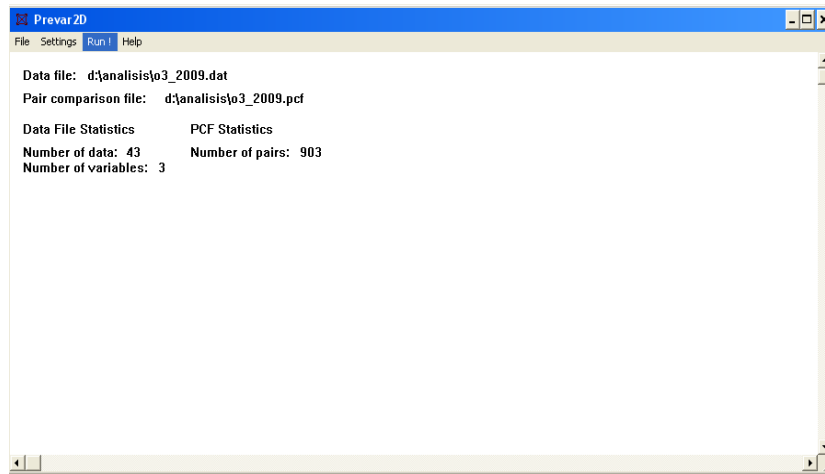


Figura 3.12 Ventana que genera archivo con extensión .pcf

-

Abrir el siguiente módulo Vario 2D with PCF

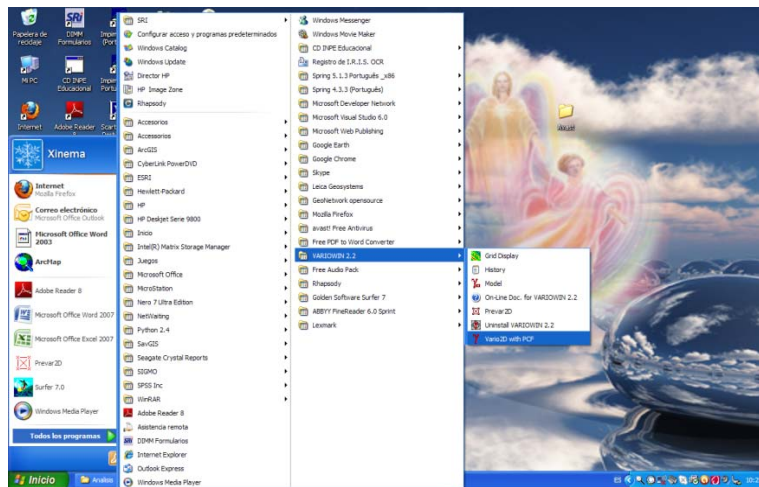


Figura 3.13 Ubicación del módulo Vario 2D en la barra de tareas

-

Se abre el módulo Vario 2D, muestra una ventana con información general del módulo, hacer clic en OK y continuar.

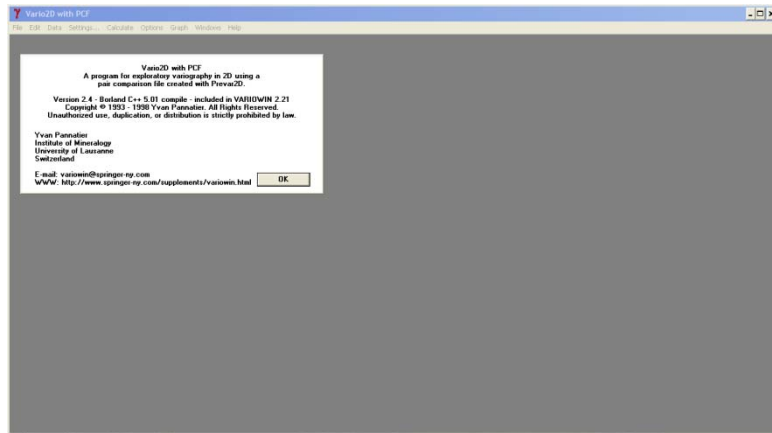


Figura 3.14 Ventana con información del módulo Vario 2D

- Automáticamente el sistema muestra una ventana donde se busca el archivo con extensión .pcf generado con el módulo Prevar 2D, hacer click en OK y continuar.

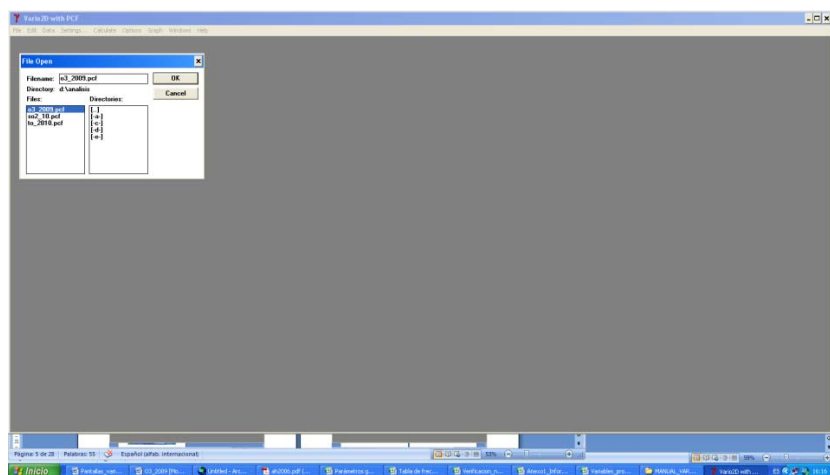


Figura 3.15 Ventana donde se abre el archivo con extensión .pcf

- Una vez que el archivo se encuentra abierto, se realiza el cálculo del variograma experimental, hacemos click en Calculate, Directional Variogram.

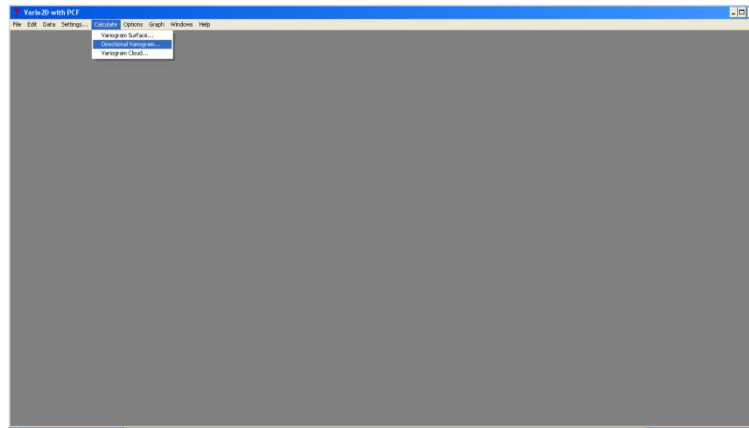


Figura 3.16 Cálculo del Variograma Direccional

- En esta ventana para hacer el cálculo del variograma experimental es necesario ingresar ciertos parámetros que ya fueron definidos anteriormente, ingresamos manualmente Number of lags, para el estudio 7, hacemos click en OK.

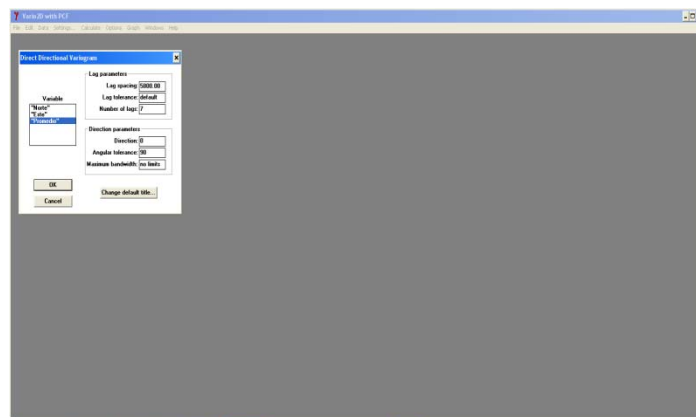


Figura 3.17 Parámetros para el Cálculo del Variograma

- Aquí se muestra el gráfico del variograma experimental, en esta ventana tiene que guardarse el variograma experimental a través de la opción File, Save as..

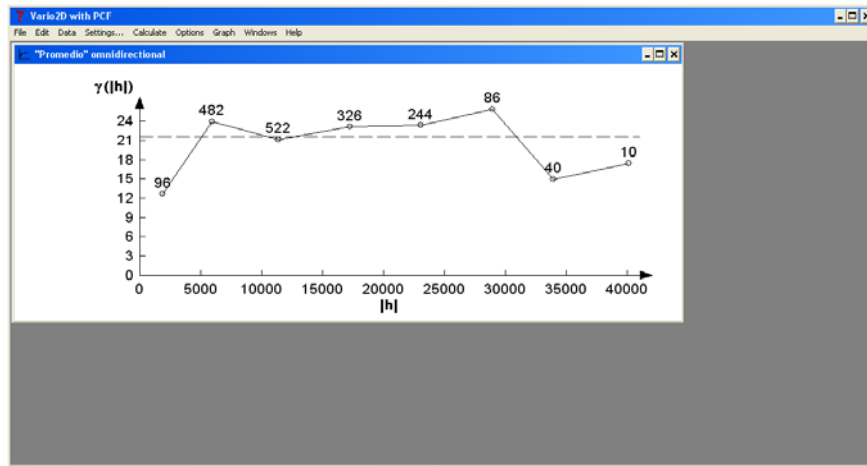


Figura 3.18. Variograma Experimental

- Abrir el módulo Model desde la barra de herramientas

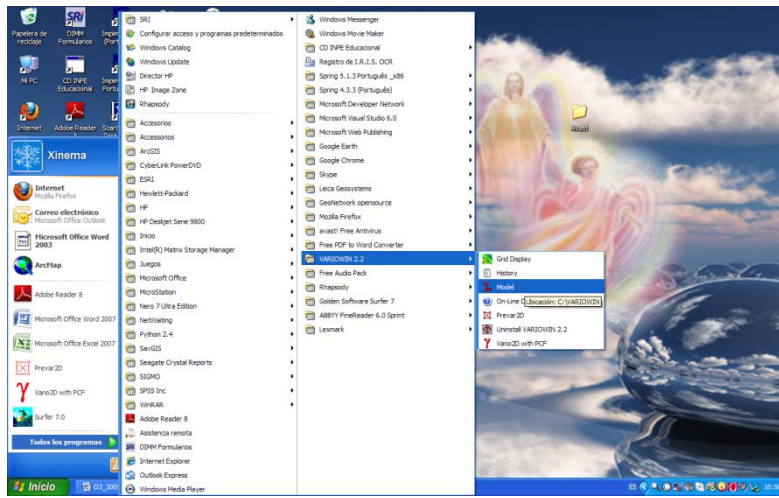


Figura 3.18 Ubicación del módulo Model en la barra de tareas

- El sistema nos muestra una pantalla con información general de este módulo, click en OK.

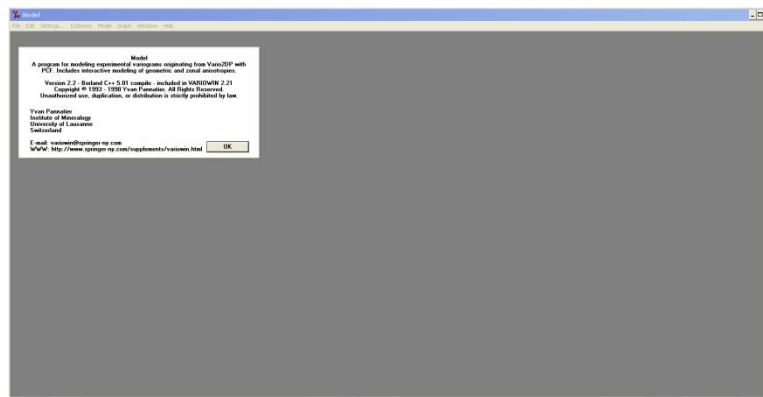


Figura 3.19 Ventana de información del módulo Model

- Automáticamente se presenta una pantalla que nos indica buscar el archivo a utilizarse con extensión .var, generado anteriormente en el módulo Vario 2D, hacer click en OK.



Figura 3.20 Ventana con pantalla para buscar archivos

- Una vez que se haya buscado el archivo con el que se desea trabajar, el sistema le muestra un cuadro de diálogo en la parte izquierda en donde se encuentran barras en los parámetros Geoestadísticos, lo que permite modificar las barras a voluntad y de esta manera buscar el mejor ajuste del modelo teórico del semivariograma para los parámetros a trabajar; en la parte derecha se encuentra una figura con puntos para sobre la base de lo cual se busca la recta que más se ajuste.

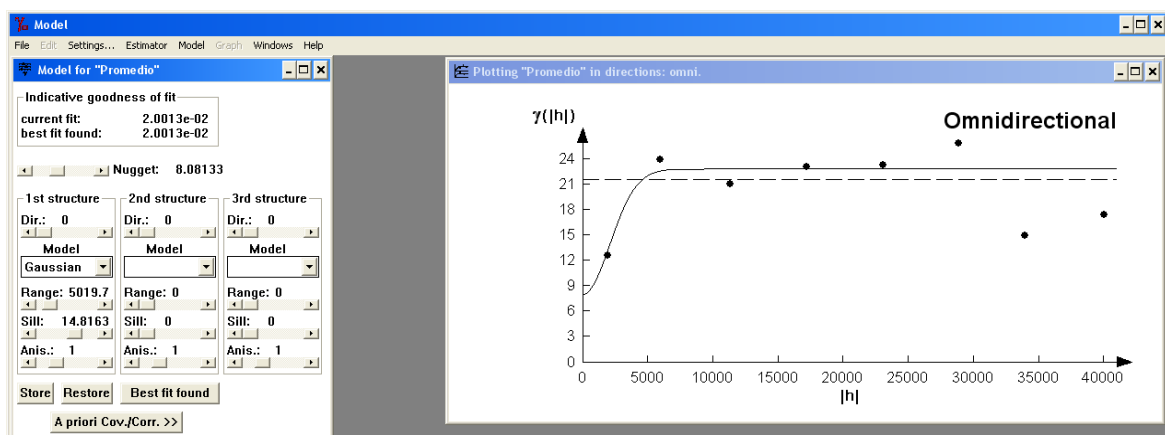


Figura 3.21 Ventana con cuadro de diálogo para el ajuste del modelo teórico del semivariograma

Lo que se muestra en la Figura 3.20 es únicamente el ajuste para el Ozono en el año 2009, el ajuste del modelo teórico del semivariograma se lo ha realizado con cada uno de los parámetros a estudiar que se encuentran en la Tabla 3.1; cada variable cuenta con un ajuste propio localizado más adelante en el Capítulo IV – Presentación de resultados.

3.6.2 Procedimiento para el modelamiento de datos con el software ArcGis 9.2

El ajuste del semivariograma experimental obtenido gracias a los parámetros del módulo Model del software Variowin, deben ser procesados en un sistema de información geográfica, es por esto que se procedió a realizar el modelamiento mediante la extensión Geostatistical Analyst en el software ArcGis 9.2 el cual, posee una variedad de herramientas para la exploración de datos espaciales.

A continuación se muestra el procedimiento que se realizó con el Geostatistical Analyst, es importante mencionar que el procedimiento se lo va a realizar con el ozono del año 2009 y que las demás variables a estudiar se encuentran en el Capítulo IV – Presentación de Resultados.

- ✦ Se abre el software ArcGis 9.2 desde la barra de tareas el módulo ArcMap que se encuentra en Inicio, ArcGis, ArcMap.

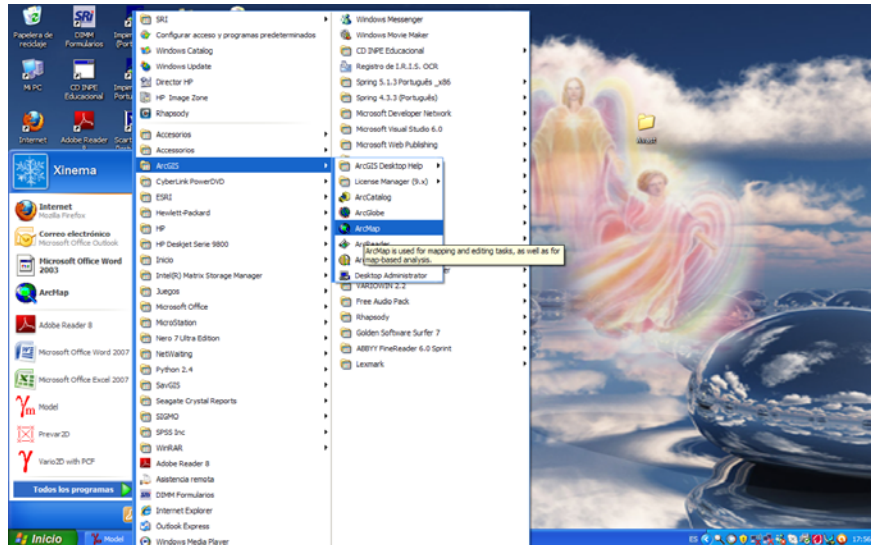


Figura 3.22 Ubicación del software ArcMap desde la barra de tareas de Windows

- ✦ Cuando el ArcMap se encuentra abierto, procedemos a activar la extensión Geostatistical Analyst para lo cual hacemos click en Tools, extensions.

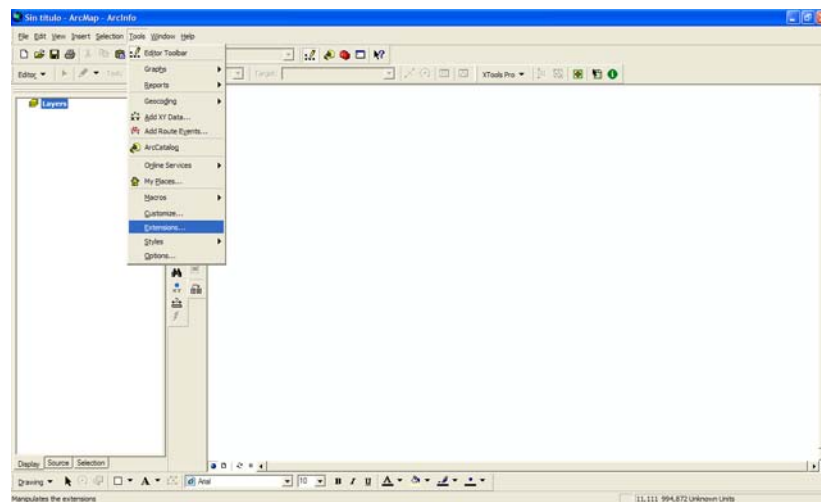


Figura 3.23 Activación de extensiones en ArcMap

- ✦ Al escoger la opción extensions aparece una ventana con todas las extensiones disponibles en ArcMap, aquí escogemos la opción Geostatistical Analyst.

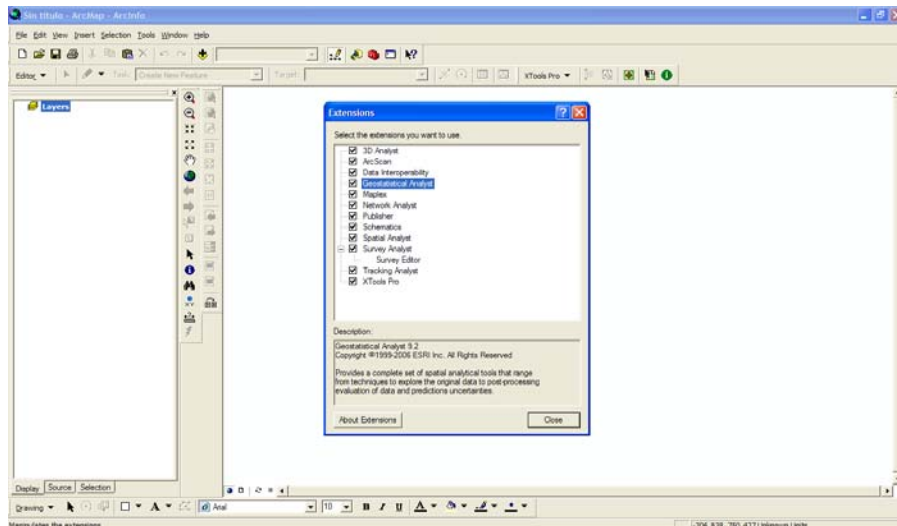


Figura 3.24 Extensiones disponibles en ArcMap

- ✦ En la barra de tareas hacemos click en Tools, customize y de esta manera agregamos la opción Geostatistical Analyst.

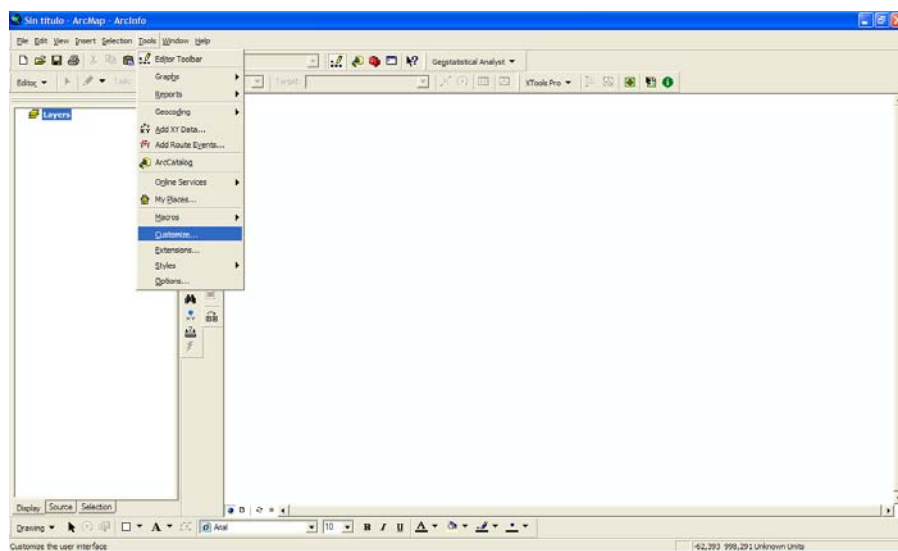


Figura 3.25 Agregar la extensión Geostatistical Analyst

- ✦ Se presenta un cuadro de diálogo en donde se escoge la opción Geostatistical Analyst, hacer click en Geostatistical Analyst y automáticamente aparece en la pantalla principal.

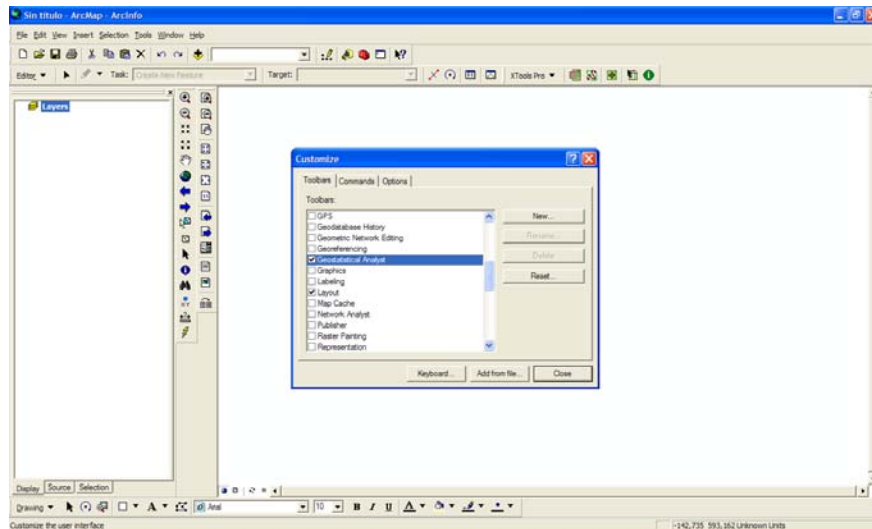



Figura 3.26 Ventana con información de extensiones para agregar al ArcMap

- ✦ Cargar en la pantalla principal del ArcMap el archivo de la variable a ser modelada, esto se lo hace mediante el ícono Add Data . Una vez abierto, sacamos el archivo con extensión .shp para trabajar.

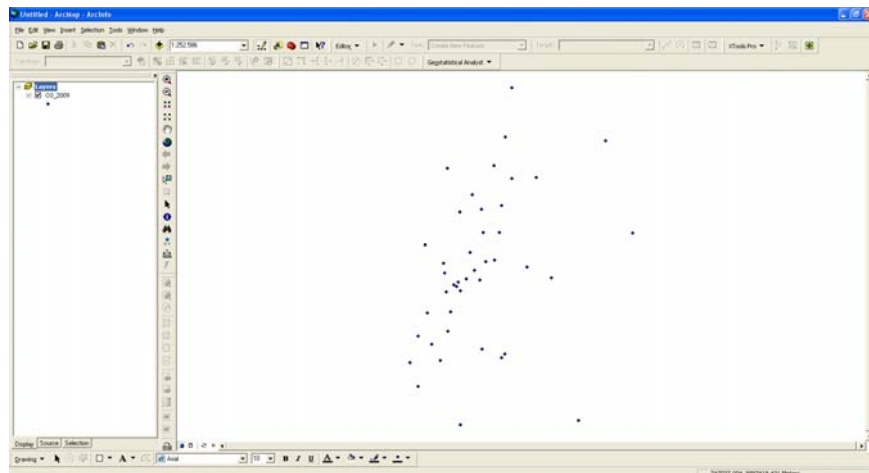


Figura 3.27 Ventana que muestra el archivo de la variable a utilizar

- ✦ Con archivo de la variable a modelar en la pantalla principal, hacemos click en la barra de tareas en Geostatistical Analyst, Geostatistical Wizard.

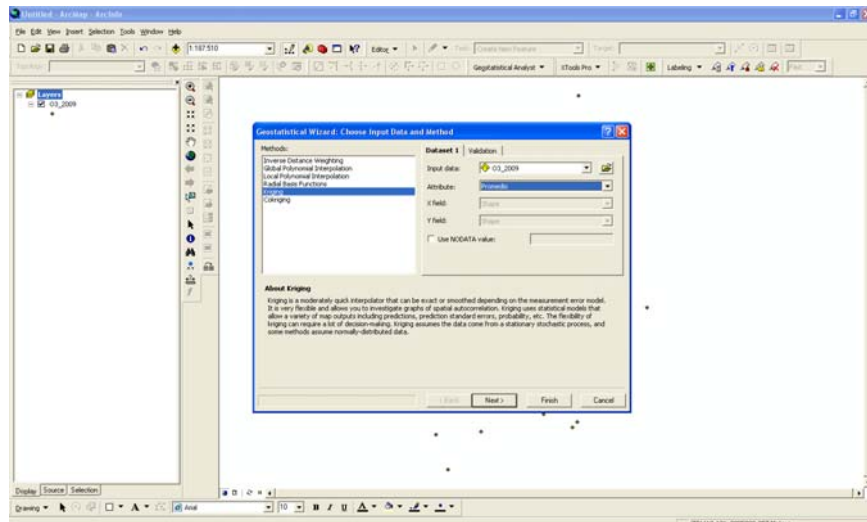


Figura 3.28 Ventana de Geostatistical Wizard para seleccionar el método de interpolación a utilizarse

✦ A continuación se escoge el Kriging a utilizarse, en este caso y luego de hacer varias pruebas se determinó que es el Simple Kriging, el método más apropiado para nuestro estudio.

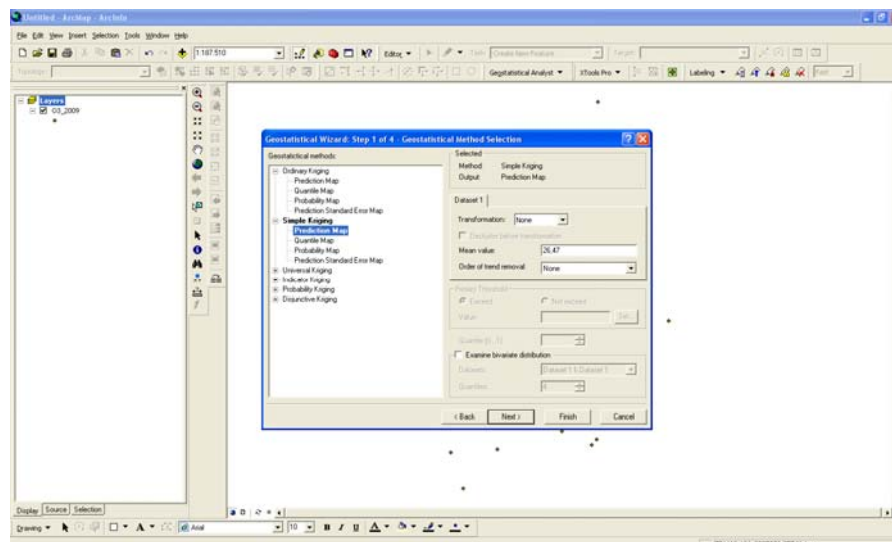


Figura 3.29 Selección del interpolador a utilizarse en el estudio

✦ En el segundo paso se debe realizar el análisis del semivariograma experimental, para esto se utilizó la información que se obtuvo anteriormente del software Variowin, de esta manera se verificó que los datos que el sistema presenta por defecto presentan modelos de menor calidad que cuando se utiliza los parámetros obtenidos a través del

software Variowin, es este caso se escoge el modelo a utilizar y hacemos click en next para continuar.

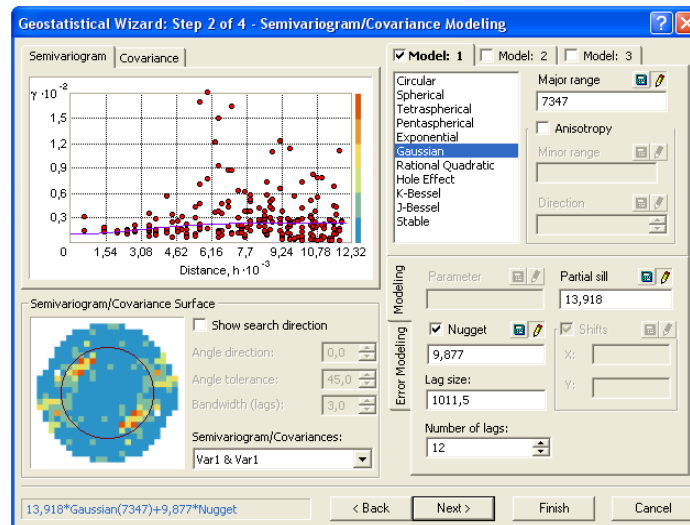


Figura 3.30 Parámetros utilizados en el semivariograma

- ✦ En este paso se presentan los vecinos que se utilizarán para hacer el cálculo de los valores en los lugares en donde no existen mediciones, esta ventana muestra el número de vecinos y la dirección en la que se desea tomar el cálculo, luego hacemos click en next para continuar con el cálculo.

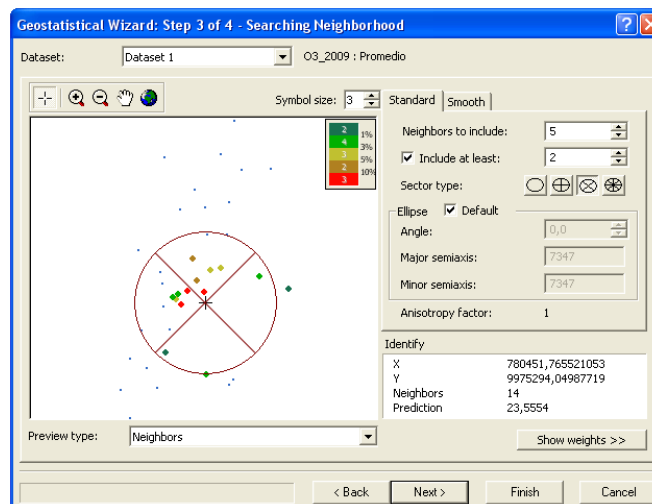


Figura 3.31 Selección de parámetros de vecindad

- ✦ En este último paso se muestra los parámetros obtenidos de la validación cruzada que corresponden a la media, el error medio cuadrático y el promedio del error estándar, estos dos tipos de errores deben ser lo más

próximos a cero; mientras que la media estandarizada y el error medio cuadrático estandarizado debe ser lo más próximo a 1, luego hacemos click en finish y continuamos.

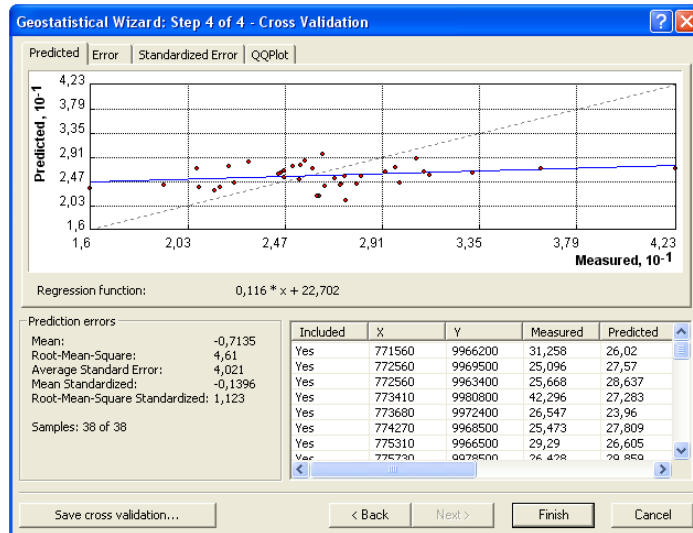


Figura 3.32 Validación cruzada en Geostatistical Wizard

- Una vez que ha terminado el proceso de interpolación con la herramienta Geostatistical Wizard, se muestra una ventana que nos indica el resumen del método que se ha utilizado con el parámetro seleccionado, luego hacemos click en OK y continuamos..

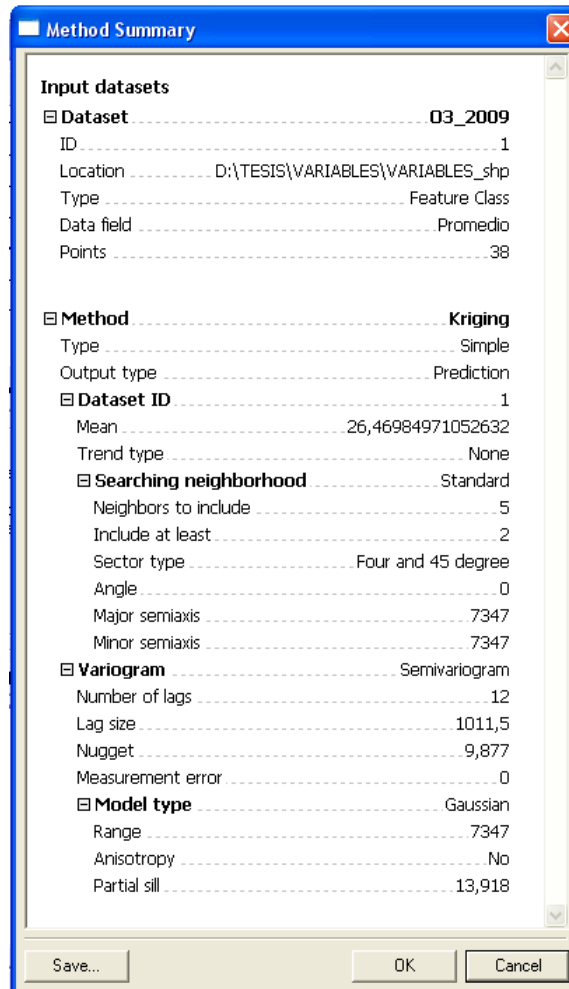


Figura 3.33 Resumen del método utilizado en Geostatistical Wizard

- ✦ Una vez terminado este procedimiento se presenta el modelo de interpolación que se ha generado con la herramienta Geostatistical Analyst.

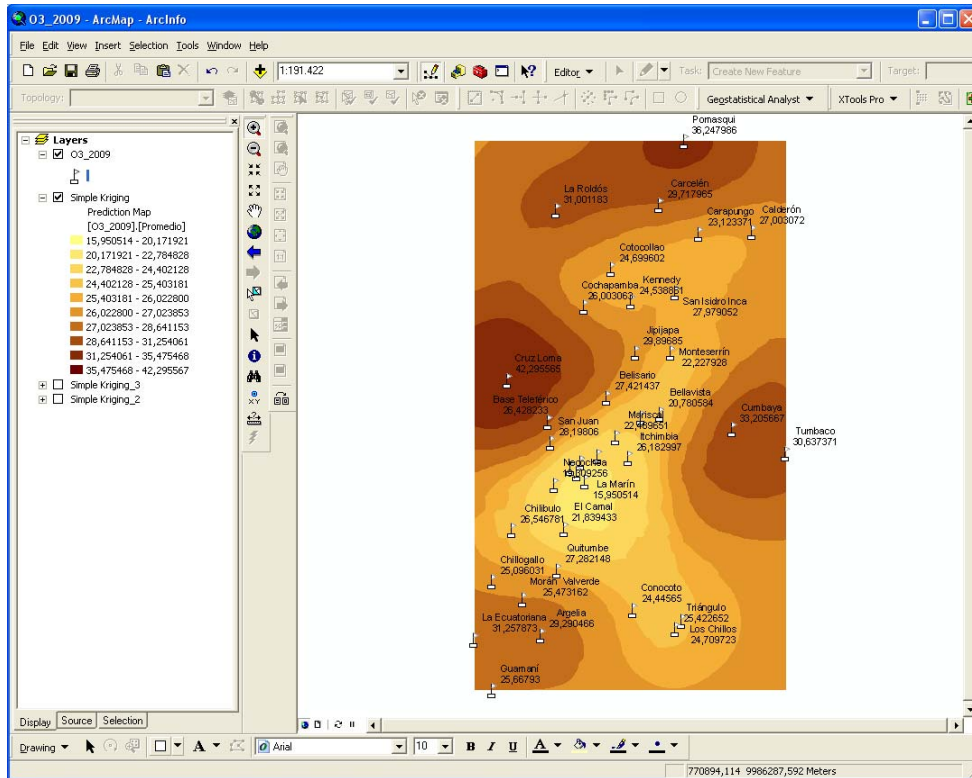


Figura 3.34 Representación de la interpolación generada por el Geostatistical Wizard

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Red de Monitoreo Pasivo

La red de Monitoreo Pasivo conocida también como REMPA opera desde el mes de diciembre del 2005. Permite realizar el muestreo simultáneo para el estudio en un máximo de 38 estaciones en el DMQ, dependiendo de la variable, están ubicadas principalmente en zonas de alta densidad poblacional y tráfico vehicular. Los monitores pasivos registran las concentraciones de NO₂ (exposición de 30 días por mes), O₃ (exposición de 10 días, 2 veces por mes), SO₂ (exposición de 30 días por mes) y benceno – tolueno y xilenos (BTX) (exposición de 30 días por mes).

Es importante destacar que los monitores pasivos son fabricados por el personal técnico de la REMPA y que todos los análisis se desarrollan en el Laboratorio Químico de la Secretaria de Ambiente.

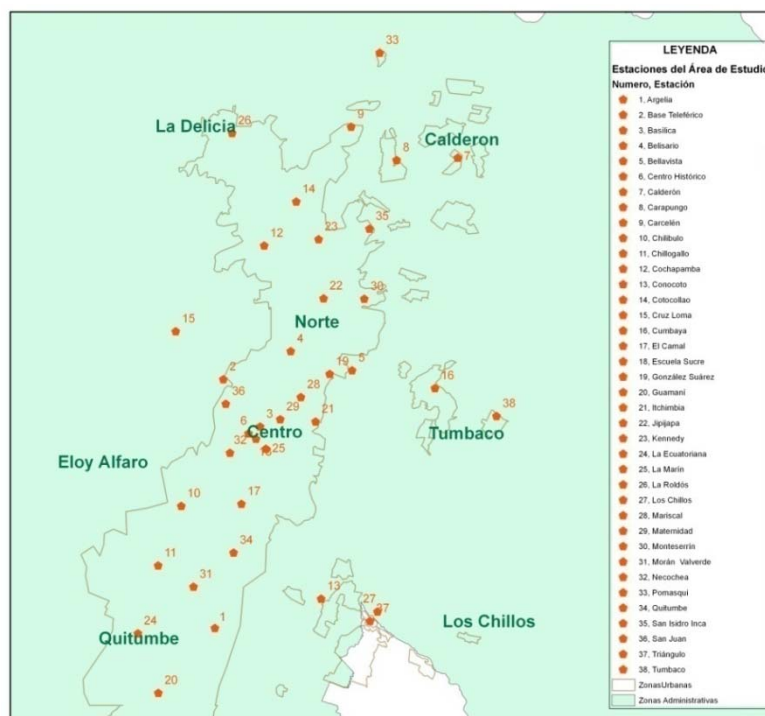


Figura 4.1 Ubicación de la Red de Monitoreo Pasivo

4.2 Análisis exploratorio de los datos

El análisis exploratorio de los datos se lo realizó en el software Excel 2007, en donde se hizo la aplicación de técnicas descriptivas al conjunto de datos disponibles, con el fin de conocer la distribución de los datos, pero sin tener en cuenta su distribución espacial, es decir, en esta etapa se hizo lo que correspondían a la parte de estadística descriptiva. De aquí se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.1 Tabla Resumen de estadísticos descriptivos de la variable NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2006

Variable	NO ₂ -2006
n	34
Media	27,11
Mediana	24,23
Moda	22,47
Suma	7488,81
Desviación Estándar	15,06
Varianza	226,93
Coef. Variación	55,56
Coef. Asimetría	1,40
Coef. Curtosis	2,07

Tabla 4.2 Tabla Resumen de parámetros geoestadísticos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2006

Variable	NO ₂ _2006			
	Best Fit Found	9,05E-01	1,24E-01	1,39E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico	
Efecto pepita	56,327	56,327	84,4867	
Rango	1775,7	2958,9	2958,9	
Meseta	187,757	192,45	154,897	
Media	1,37	1,791	1,756	
Media cuadrática	14,19	13,67	13,7	
Error medio estándar	15,09	15,41	15,11	
Media Estandarizada	0,083	0,109	0,109	
Error medio cuadrático estandarizado	1,011	0,916	0,949	

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable NO₂ del año 2006, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 55,56%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la

izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.

- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable NO₂ del año 2006 el coeficiente es 2,07; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable NO₂ del año 2006, se cumple con este criterio en los modelos gaussiano y exponencial.
- De los modelos gaussiano y exponencial el que presenta un mejor modelo es el exponencial con un error medio cuadrático estandarizado de 0,916; por lo tanto este modelo debe ser cartografiable.

Tabla 4.3 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la Variable O₃ µg/m³ del año 2006

Variable	O ₃ -2006
n	33
Media	23,13
Mediana	22,62
Moda	23,09
Suma	1112,93
Desviación Estándar	5,90
Varianza	34,78
Coef. Variación	25,50
Coef. Sesgo	0,46
Coef. Curtosis	1,59

Tabla 4.4 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la Variable O₃ µg/m³ del año 2006

Variable	O ₃ _2006		
	Best Fit Found	0,22803	1,13E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	14,8159	14,1427	15,4902
Rango	2367,3	9469,4	4143,1
Meseta	20,878	21,5512	20,878
Media	-0,525	-0,531	-0,656
Media cuadrática	5,485	5,04	5,245
Error medio estándar	5,818	5,454	5,815
Media Estandarizada	-0,084	0,085	-0,104

Error medio cuadrático estandarizado	0,969	0,939	0,919
--------------------------------------	-------	-------	-------

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable O₃ del año 2006, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos si forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 25,50%; lo que equivale a un coeficiente alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable O₃ del año 2006 el coeficiente es 1,59; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable O₃ del año 2006, no se cumple con este criterio en ninguno de los modelos.

Tabla 4.5 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2007

Variable	NO ₂ -2007
n	36
Media	24,62
Mediana	22,50

Moda	18,77
Suma	5690,94
Desviación Estándar	12,75
Varianza	162,60
Coef. Variación	51,79
Coef. Sesgo	1,55
Coef. Curtosis	2,87

Tabla 4.6 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2007

Variable	NO ₂ 2007			
	Best Fit Found	1,27E-01	1,40E-01	1,55E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico	
Efecto pepita	39,184	32,6507	62,0427	
Rango	2076,4	3550,5	3550,5	
Meseta	127,349	146,939	117,552	
Media	0,725	1,731	1,282	
Media cuadrática	12,1	11,14	11,64	
Error medio estándar	12,88	12,92	13,03	
Media Estandarizada	0,052	0,125	0,093	
Error medio cuadrático estandarizado	0,95	0,899	0,917	

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable NO₂ del año 2007, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 51,79%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.

- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable NO₂ del año 2007 el coeficiente es 2,87; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable NO₂ del año 2007, se cumple con este criterio en los modelos gaussiano y exponencial.
- De los modelos gaussiano y exponencial el que presenta un mejor modelo es el gaussiano con un error medio cuadrático estandarizado de 0,95; por lo tanto este modelo puede ser cartografiable.

Tabla 4.7 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O₃ µg/m³ del año 2007

Variable	O ₃ -2007
n	35
Media	27,36
Mediana	27,60
Moda	26,55
Suma	1440,73
Desviación Estándar	6,51
Varianza	42,37
Coef. Variación	23,79
Coef. Sesgo	1,38
Coef. Curtosis	5,14

Tabla 4.8 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O₃ µg/m³ del año 2007

Variable	O ₃ _2007		
Best Fit Found	0,16515	2,64E-01	2,01E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	11,9994	21,4284	20,5716
Rango	4143,1	5917,9	5326,3
Meseta	33,4292	24,857	25,7138
Media	-0,944	-0,807	-0,905
Media cuadrática	5,781	5,746	5,693
Error medio estándar	6,046	6,531	6,425
Media Estandarizada	-0,132	-0,113	-0,126
Error medio cuadrático estandarizado	0,964	0,872	0,876

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable O₃ del año 2007, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla, pero la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 23,79%; lo que equivale a un coeficiente alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable O₃ del año 2007 el coeficiente es 5,14; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable O₃ del año 2007, se cumple con este criterio en el modelo gaussiano.
- Del modelo gaussiano presenta un error medio cuadrático estandarizado de 0,964; por lo tanto este modelo puede ser cartografiable.

Tabla 4.9 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2007

Variable	SO ₂ -2007
n	36
Media	25,96

Mediana	26,73
Moda	27,55
Suma	4193,12
Desviación Estándar	10,95
Varianza	119,80
Coef. Variación	42,16
Coef. Sesgo	0,36
Coef. Curtosis	-0,49

Tabla 4.10 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2007

Variable	SO ₂ , 2007		
	1,03E-01	1,34E-01	1,32E-01
Best Fit Found	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	39,184	53,876	39,184
Rango	4734,7	3550,5	4143,1
Meseta	90,612	71,02	82,264
Media	0,142	0,093	0,168
Media cuadrática	11,17	11,01	11,34
Error medio estándar	10,86	10,89	10,45
Media Estandarizada	0,013	0,008	0,014
Error medio cuadrático estandarizado	1,027	1,01	1,096

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable SO₂ del año 2007, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 42,16%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.

- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable SO₂ del año 2007 el coeficiente es -0,49; lo que indica la presencia de una distribución Platicúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable SO₂ del año 2007, se cumple con este criterio en los modelos exponencial y esférico.
- Los modelos exponencial y esférico presentan un error medio cuadrático estandarizado que no se cierra en 1; por lo tanto esta variable no se recomienda ser cartografiada.

Tabla 4.11 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2008

Variable	NO ₂ -2008
n	38
Media	25,24
Mediana	24,03
Moda	19,09
Suma	2923,49
Desviación Estándar	8,89
Varianza	79,01
Coef. Variación	35,21
Coef. Sesgo	1,11
Coef. Curtosis	1,40

Tabla 4.12 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2008

Variable	NO ₂ 2008		
	Best Fit Found	9,03E-02	7,34E-02
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	45,5686	40,856	54,1977
Rango	1775,7	2958,9	1775,7
Meseta	39,2854	44	29,858
Media	0,865	0,909	0,532
Media cuadrática	8,063	7,84	8,27
Error medio estándar	9,084	9,08	9,128
Media Estandarizada	0,088	0,094	0,055
Error medio cuadrático estandarizado	0,906	0,877	0,911

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable NO₂ del año 2008, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 35,21%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable NO₂ del año 2008 el coeficiente es 1,40; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable NO₂ del año 2008, no se cumple con este criterio en ninguno de los modelos; por lo tanto no se recomienda ser cartografiado.

Tabla 4.13 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O₃ µg/m³ del año 2008

Variable	O ₃ -2008
n	38
Media	24,65
Mediana	25,18
Moda	

Suma	1395,63
Desviación Estándar	6,14
Varianza	37,72
Coef. Variación	24,92
Coef. Sesgo	1,19
Coef. Curtosis	4,81

Tabla 4.14 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O₃ µg/m³ del año 2008

Variable	O ₃ _2008		
	Best Fit Found	2,28E-01	1,84E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	12,8365	8,3065	14,3474
Rango	7102,1	7693,7	8877,8
Meseta	30,2043	31,7139	26,4291
Media	-0,928	-0,899	-0,861
Media cuadrática	5,396	5,53	5,472
Error medio estándar	5,02	5,532	5,357
Media Estandarizada	-0,135	-0,132	-0,128
Error medio cuadrático estandarizado	1,055	0,992	1,001

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable O₃ del año 2008, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos podrían ser considerados como parte de una curva normal si su Histograma de Frecuencias así lo indica. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 24,92%; lo que equivale a un coeficiente alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la

región central de la distribución, para la variable O₃ del año 2008 el coeficiente es 4,81; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.

- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable O₃ del año 2008, se cumple con este criterio en los modelos gaussiano, esférico y exponencial.
- De los modelos antes mencionados el que presenta un mejor modelo es el exponencial con un error medio cuadrático estandarizado de 0,992; por lo tanto este modelo se recomienda ser cartografiado.

Tabla 4.15 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2008

Variable	SO ₂ -2008
n	38
Media	13,23
Mediana	13,24
Moda	10,78
Suma	863,90
Desviación Estándar	4,83
Varianza	23,35
Coef. Variación	36,54
Coef. Sesgo	0,16
Coef. Curtosis	-1,10

Tabla 4.16 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2008

Variable	SO ₂ _2008		
	8,58E-02	7,21E-02	9,11E-02
Best Fit Found	8,58E-02	7,21E-02	9,11E-02
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	13,143	15,9589	12,6738
Rango	18347	14204	17754
Meseta	14,0814	10,3262	15,9589
Media	0,031	-0,012	0,003
Media cuadrática	4,67	4,66	4,767
Error medio estándar	4,547	4,387	4,27
Media Estandarizada	0,007	-0,001	0,002
Error medio cuadrático estandarizado	1,032	1,065	1,103

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre

ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable SO₂ del año 2008, los valores de dichos estadísticos son mayores a uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 36,54%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable SO₂ del año 2008 el coeficiente es -1,10; lo que indica la presencia de una distribución Platicúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable SO₂ del año 2008, no se cumple con este criterio en ninguno de los modelos; por lo tanto no se recomienda ser cartografiado.

Tabla 4.17 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Benceno µg/m³ del año 2008

Variable	Benceno-2008
n	38
Media	5,81
Mediana	5,30
Moda	4,82
Suma	107,82
Desviación Estándar	1,71
Varianza	2,91
Coef. Variación	29,39

Coef. Sesgo	0,59
Coef. Curtosis	0,93

Tabla 4.18 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Benceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2008

Variable	Be_2008		
	Best Fit Found	2,47E-01	1,68E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	2,18979	1,598	2,07147
Rango	4734,7	2958,9	5917,9
Meseta	0,94694	1,65716	1,12452
Media	0,109	0,073	0,111
Media cuadrática	1,793	1,745	1,809
Error medio estándar	1,713	1,779	1,724
Media Estandarizada	0,059	0,039	0,060
Error medio cuadrático estandarizado	1,056	0,983	1,058

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Benceno del año 2008, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos podrían ser considerados como parte de una curva normal si su Histograma de Frecuencias así lo indica. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 29,39%; lo que equivale a un coeficiente alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable Benceno del año 2008 el

coeficiente es 0,93; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.

- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable Benceno del año 2008, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.19 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2009

Variable	SO ₂ -2009
n	38
Media	8,83
Mediana	7,04
Moda	6,20
Suma	939,08
Desviación Estándar	5,04
Varianza	25,38
Coef. Variación	57,04
Coef. Sesgo	1,95
Coef. Curtosis	3,45

Tabla 4.20 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2009

Variable	SO ₂ _2009		
	2,18E-01	2,47E-01	2,60E-01
Best Fit Found	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	16,3267	15,8167	16,3267
Rango	1183,2	1775,7	2367,3
Meseta	9,1833	9,69417	8,1633
Media	0,075	0,24	0,231
Media cuadrática	4,959	4,981	4,966
Error medio estándar	5,046	5,002	4,915
Media Estandarizada	0,015	0,045	0,044
Error medio cuadrático estandarizado	0,984	1,008	1,018

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la

variable SO₂ del año 2009, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 57,04%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable SO₂ del año 2009 el coeficiente es 3,45; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable SO₂ del año 2009, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.21 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2009

Variable	NO ₂ -2009
n	38
Media	23,91
Mediana	20,80
Moda	20,84
Suma	3734,77
Desviación Estándar	10,05
Varianza	100,94
Coef. Variación	42,02

Coef. Sesgo	1,65
Coef. Curtosis	2,94

Tabla 4.22 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2009

Variable	NO ₂ 2009		
	Best Fit Found	7,87E-02	8,88E-02
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	36,366	46,4706	38,3889
Rango	1183,2	1775,7	1775,7
Meseta	70,7157	64,6536	74,7549
Media	0,693	0,769	0,876
Media cuadrática	9,464	9,278	9,399
Error medio estándar	10,23	10,47	10,49
Media Estandarizada	0,062	0,069	0,077
Error medio cuadrático estandarizado	0,934	0,891	0,911

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable NO₂ del año 2009, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 42,02%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable NO₂ del año 2009 el coeficiente es 2,94; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.

- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable NO₂ del año 2009, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.23 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable O₃ µg/m³ del año 2009

Variable	O ₃ -2009
n	38
Media	26,53
Mediana	26,31
Moda	25,79
Suma	826,43
Desviación Estándar	4,73
Varianza	22,34
Coef. Variación	17,81
Coef. Sesgo	0,80
Coef. Curtosis	2,06

Tabla 4.24 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable O₃ µg/m³ del año 2009

Variable	O3_2009		
	Best Fit Found	0,016288	0,14902
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	9,87727	10,3268	10,5468
Rango	7347	6429	11938
Meseta	13,9187	9,42847	10,3268
Media	-0,714	-0,601	-0,555
Media cuadrática	4,61	4,531	4,499
Error medio estándar	4,021	4,254	3,968
Media Estandarizada	-0,139	-0,129	-0,116
Error medio cuadrático estandarizado	1,123	1,057	1,11

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable O₃ del año 2009, los valores de dichos estadísticos son mayores a uno en la moda por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 17,81%; lo que equivale a un coeficiente medio según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, favorece la utilización de herramientas geoestadísticas.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable O_3 del año 2009 el coeficiente es 2,06; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable O_3 del año 2009, no se cumple con este criterio en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.25 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Benceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	Benceno-2009
n	38
Media	9,49
Mediana	9,73
Moda	9,26
Suma	496,53
Desviación Estándar	3,66
Varianza	13,42
Coef. Variación	38,59
Coef. Sesgo	0,28
Coef. Curtosis	5,15

Tabla 4.26 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Benceno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	Be 2009		
	Best Fit Found	2,17E-01	2,12E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	6,7345	7,041	6,4285
Rango	1775,7	1775,7	1786,4
Meseta	10,7145	9,796	10,402
Media	0,0029	-0,0029	0,026
Media cuadrática	3,732	3,738	3,733
Error medio estándar	3,936	4,095	4,087
Media Estandarizada	-0,000004	-0,0014	0,0046
Error medio cuadrático estandarizado	0,949	0,914	0,916

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Benceno del año 2009, los valores de dichos estadísticos no son mayores y cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos podrían ser considerados como parte de una curva normal si su Histograma de Frecuencias así lo indica. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 38,59%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable Benceno del año 2009 el coeficiente es 5,15 lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del

50% de la meseta; en este caso para la variable benceno del año 2009, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.27 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	Tolueno-2009
n	38
Media	13,09
Mediana	12,18
Moda	10,22
Suma	1832,13
Desviación Estándar	7,04
Varianza	49,52
Coef. Variación	53,77
Coef. Sesgo	0,93
Coef. Curtosis	0,61

Tabla 4.28 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	To_2009		
Best Fit Found	3,31E-02	4,24E-02	3,99E-02
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	19	16,9997	20,9998
Rango	12428	5917,9	9469,4
Meseta	35	33,9995	31,0007
Media	-0,213	-0,286	-0,243
Media cuadrática	6,686	7,077	6,816
Error medio estándar	6,285	5,895	6,141
Media Estandarizada	-0,028	-0,039	-0,032
Error medio cuadrático estandarizado	1,062	1,21	1,108

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Tolueno del año 2009, los valores de dichos estadísticos son mayores que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.

- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 49,52%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable Tolueno del año 2009 el coeficiente es 0,61; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable Tolueno del año 2009, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.29 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	Xileno-2009
n	38
Media	6,01
Mediana	5,10
Moda	4,99
Suma	383,24
Desviación Estándar	3,22
Varianza	10,36
Coef. Variación	53,54
Coef. Sesgo	1,57
Coef. Curtosis	3,07

Tabla 4.30 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2009

Variable	Xi_2009			
	Best Fit Found	2,22E+00	2,24E+00	2,22E+00
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico	
Efecto pepita	7,8573	9,20407	8,5305	
Rango	591,6	1183,2	1183,2	
Meseta	6,06137	4,71423	5,3878	
Media	0,006	0,053	0,035	
Media cuadrática	3,187	3,292	3,258	
Error medio estándar	3,73	3,719	3,723	
Media Estandarizada	0,0017	0,014	0,009	
Error medio cuadrático estandarizado	0,855	0,890	0,877	

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Xileno del año 2009, los valores de dichos estadísticos son mayores que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 53,54%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable xileno del año 2009 el coeficiente es 3,07 lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable xileno del año 2009, no se

cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.31 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2010

Variable	NO ₂ -2010
n	31
Media	25,63
Mediana	24,21
Moda	21,85
Suma	2211,24
Desviación Estándar	8,59
Varianza	73,71
Coef. Variación	33,49
Coef. Sesgo	1,39
Coef. Curtosis	1,95

Tabla 4.32 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable NO₂ µg/m³ del año 2010

Variable	NO ₂ _2010		
Best Fit Found	1,22E-01	1,25E-01	1,58E-01
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	36,7344	32,3256	33,7968
Rango	3428,1	2856,9	5142,6
Meseta	41,1432	51,4296	42,612
Media	0,383	0,896	0,915
Media cuadrática	8,094	8,493	8,068
Error medio estándar	8,788	8,748	8,913
Media Estandarizada	0,042	0,093	0,097
Error medio cuadrático estandarizado	0,925	1,044	0,97

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable NO₂ del año 2010, los valores de dichos estadísticos son mayores a uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 33,49%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos

indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.

- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable NO_2 del año 2010 el coeficiente es 1.95; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable NO_2 del año 2010, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.33 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable $O_3 \mu g/m^3$ del año 2010

Variable	O_3 -2010
n	31
Media	23,96
Mediana	23,18
Moda	22,48
Suma	1271,26
Desviación Estándar	6,51
Varianza	42,38
Coef. Variación	27,17
Coef. Sesgo	1,34
Coef. Curtosis	2,64

Tabla 4.34 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable $O_3 \mu g/m^3$ del año 2010

Variable	O_3 2010		
Best Fit Found	4,25E-01	3,46E-01	3,60E-01
Modelo	Gaussiano	Exponencial	Esférico
Efecto pepita	18,8566	20,5716	22,2852
Rango	11428	20571	14285
Meseta	31,7142	27,4288	24,857
Media	-0,564	-0,484	-0,475
Media cuadrática	6,328	6,45	6,369

Error medio estándar	5,337	5,869	5,852
Media Estandarizada	-0,076	-0,067	-0,065
Error medio cuadrático estandarizado	1,147	1,082	1,066

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable O₃ del año 2010, los valores de dichos estadísticos es mayor que uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 27,17%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno (CS>0) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable O₃ del año 2007 el coeficiente es 2,64; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable O₃ del año 2007, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.35 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2010

Variable	SO ₂ -2010
n	31
Media	10,80
Mediana	9,24
Moda	8,25
Suma	1052,03
Desviación Estándar	5,92
Varianza	35,07
Coef. Variación	54,81
Coef. Sesgo	1,85
Coef. Curtosis	2,88

Tabla 4.36 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable SO₂ µg/m³ del año 2010

Variable	SO ₂ _2010		
Best Fit Found	1,80E-01	1,86E-01	2,10E-01
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	18,0404	23,5915	23,5915
Rango	1142,4	1714,5	3428,1
Meseta	14,5713	9,7138	9,0202
Media	0,028	0,051	0,054
Media cuadrática	5,825	5,837	5,88
Error medio estándar	5,706	5,747	5,669
Media Estandarizada	0,005	0,007	0,008
Error medio cuadrático estandarizado	1,021	1,016	1,037

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable SO₂ del año 2010, los valores de dichos estadísticos son mayores a uno por lo tanto, la distribución de los datos no forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 54,81%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.

- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable SO_2 del año 2010 el coeficiente es 2,88; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable SO_2 del año 2010, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.37 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2010

Variable	Tolueno-2010
n	37
Media	10,76
Mediana	10,74
Moda	10,07
Suma	272,77
Desviación Estándar	2,75
Varianza	7,58
Coef. Variación	25,58
Coef. Sesgo	0,32
Coef. Curtosis	1,34

Tabla 4.38 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Tolueno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2010

Variable	To_2010		
Best Fit Found	8,66E-02	8,69E-02	8,48E-02
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	2,71827	2,86947	3,02019
Rango	2958	1775,7	2367,3
Meseta	5,28582	5,13461	4,98365
Media	0,075	0,11	0,104
Media cuadrática	2,803	2,748	2,759
Error medio estándar	2,77	2,76	2,772
Media Estandarizada	0,023	0,036	0,033

Error medio cuadrático estandarizado	1,002	0,982	0,984
--------------------------------------	-------	-------	-------

- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Tolueno del año 2010, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos si forman parte de una curva normal. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 25,58%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.
- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable tolueno del año 2010 el coeficiente es 1,34; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable tolueno del año 2010, no se cumple con este criterio que en ninguno de los modelos; por lo tanto no es recomendable cartografiarlo.

Tabla 4.39 Tabla Resumen de Estadísticos Descriptivos de la variable Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2010

Variable	Xileno-2010
n	37
Media	0,96

Mediana	0,85
Moda	0,76
Suma	7,47
Desviación Estándar	0,46
Varianza	0,21
Coef. Variación	47,44
Coef. Sesgo	2,49
Coef. Curtosis	7,41

Tabla 4.40 Tabla Resumen de Parámetros Geoestadísticos de la variable Xileno $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del año 2010

Variable	Xi_2010		
	1,98E-01	1,58E-01	1,64E-01
Best Fit Found	1,98E-01	1,58E-01	1,64E-01
Modelo	Exponencial	Gaussiano	Esférico
Efecto pepita	0,07959	0,03673	0,06735
Rango	5326,3	2958,9	4737,7
Meseta	0,14082	0,18367	0,15306
Media	-0,002	-0,005	-0,005
Media cuadrática	0,452	0,459	0,447
Error medio estándar	0,445	0,423	0,433
Media Estandarizada	-0,004	-0,0095	-0,011
Error medio cuadrático estandarizado	1,004	1,093	1,024

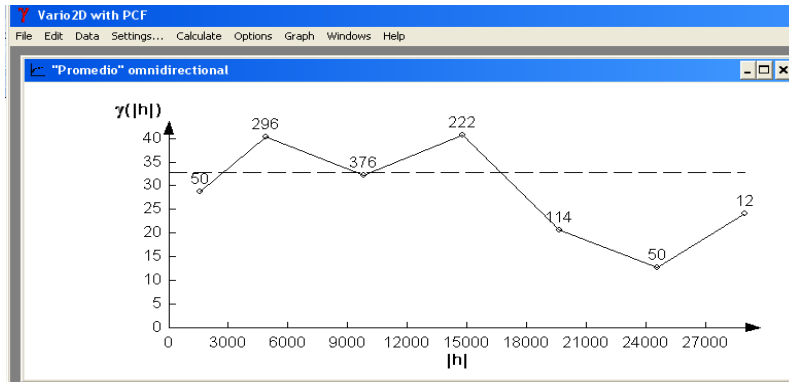
- Para poder hacer una verificación de la normalidad con respecto a la media, mediana y moda, se acepta una diferencia de una unidad entre ellas para considerarse a la curva como normal; en este caso para la variable Xileno del año 2010, los valores de dichos estadísticos cumplen con la regla y por lo tanto, la distribución de los datos podrían ser considerados como parte de una curva normal si su Histograma de Frecuencias así lo indica. Este análisis es fácilmente verificable revisando el Anexo 3 – Tabla de Frecuencias e Histograma de Frecuencias.
- Se debe tener conocimiento de la afectación de la variabilidad de los valores observados, en este caso el CV = 47,44%; lo que equivale a un coeficiente muy alto según la clasificación de Gómez (1976), lo que nos indica que, en ésta área se presenta una menor homogeneidad de los datos con respecto a esta variable.
- El coeficiente de sesgo mayor a uno ($CS > 0$) nos indica que presenta una distribución asimétrica positiva, la mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media y esto es fácilmente verificable observando su histograma de frecuencias.

- El coeficiente de curtosis indica el grado de aplastamiento de la variable lo que determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución, para la variable xileno del año 2010 el coeficiente es 7,41; lo que indica la presencia de una distribución Leptocúrtica.
- Uno de los criterios más importantes al analizar los parámetros geoestadísticos es el efecto pepita, el mismo que no debe sobrepasar del 50% de la meseta; en este caso para la variable xileno del año 2010, se cumple con este criterio en el modelo gaussiano.
- El modelo gaussiano presenta un error medio cuadrático estandarizado de 1,093; por lo tanto este modelo debe ser cartografiable.

4.3 Selección del mejor interpolador para cada variable utilizando técnicas geoestadísticas

La presentación de resultados que se muestran en el Capítulo IV, se muestra en cada figura la gráfica del semivariograma obtenida a partir de los valores ingresados en el software Variowin 3.2 y a continuación se presenta el modelo utilizado para el análisis en el software ArcGis 9.3. y sus respectivos resultados, es importante mencionar que para cada uno de los parámetros se realizó la prueba con los modelos exponencial, esférico y gaussiano. A continuación se muestra un ejemplo de cómo se obtuvo la información para cada uno de las variables.

O₃ 2006



Modelo Esférico

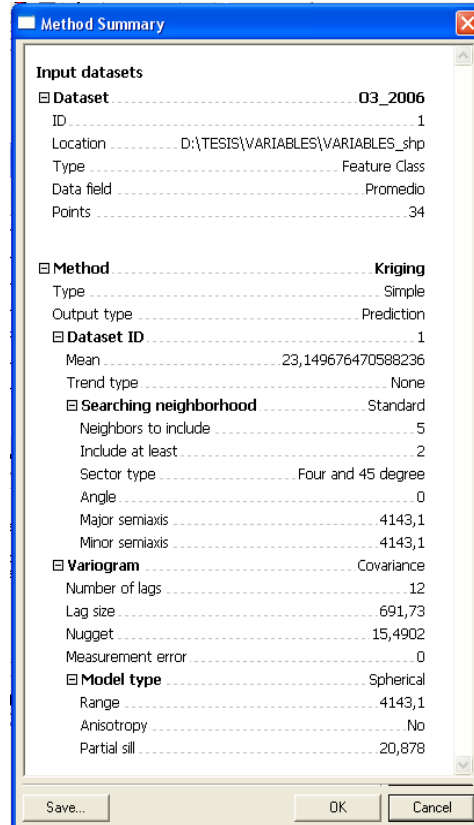
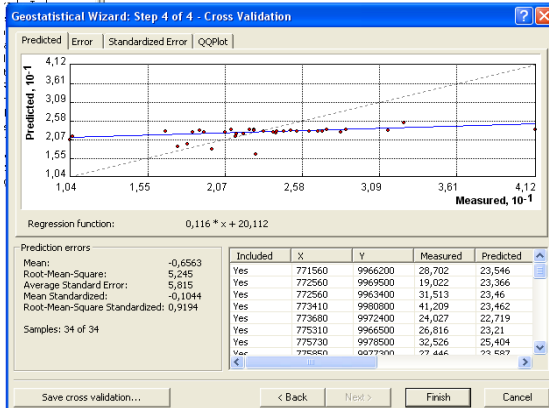
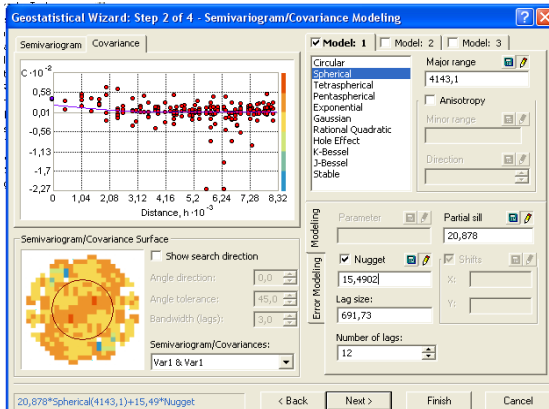
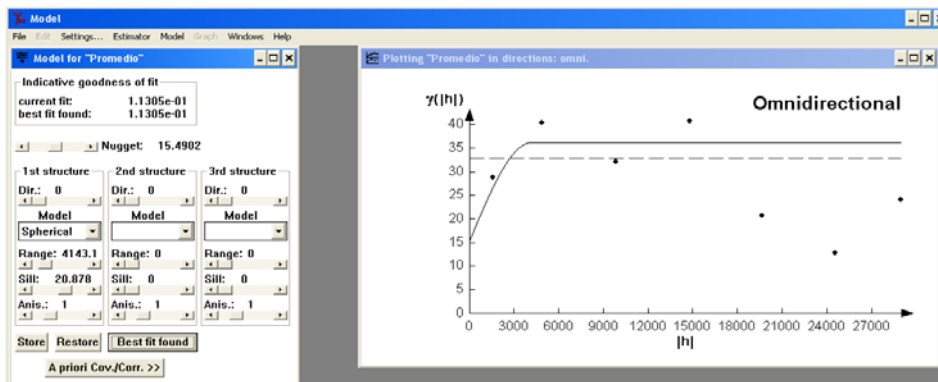
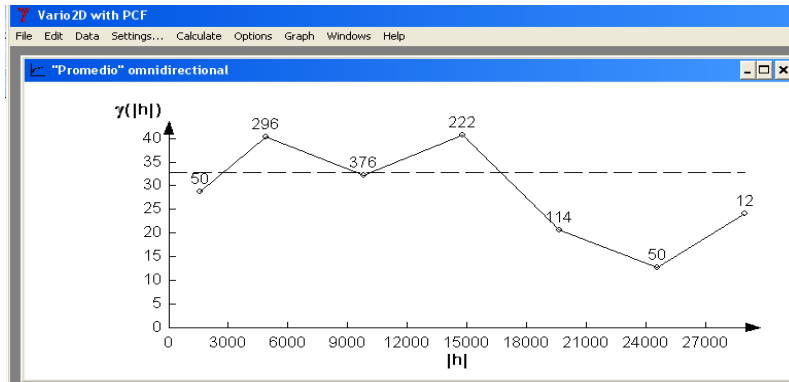


Figura 4.2 Modelo Esférico de O₃ – año 2006

O₃ 2006



Modelo Exponencial

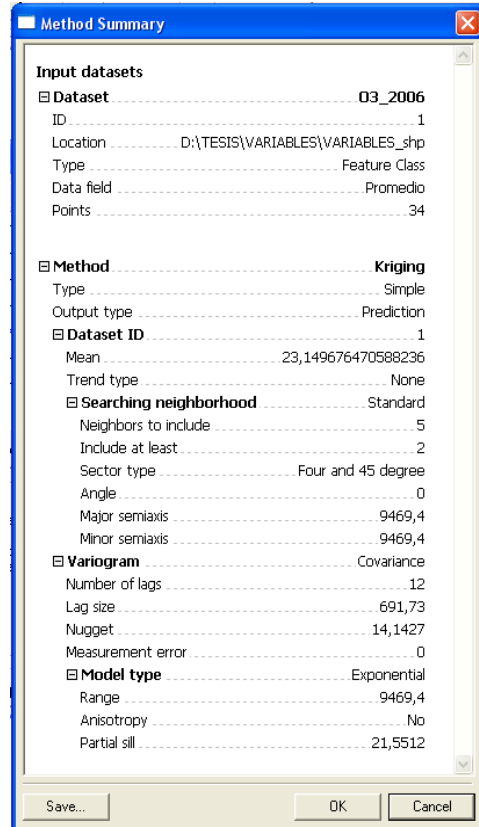
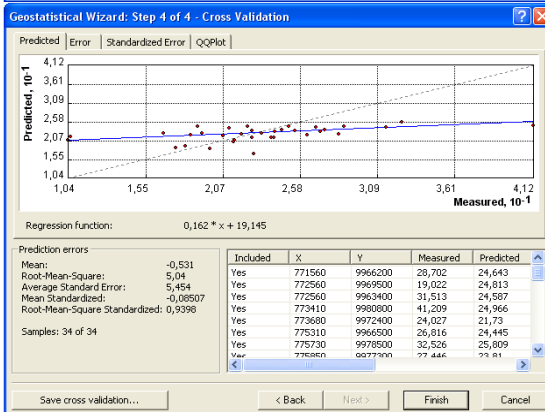
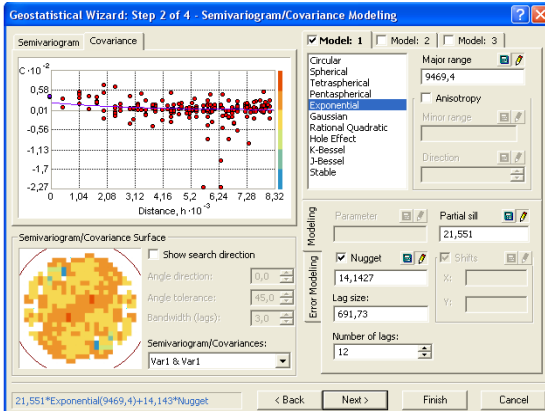
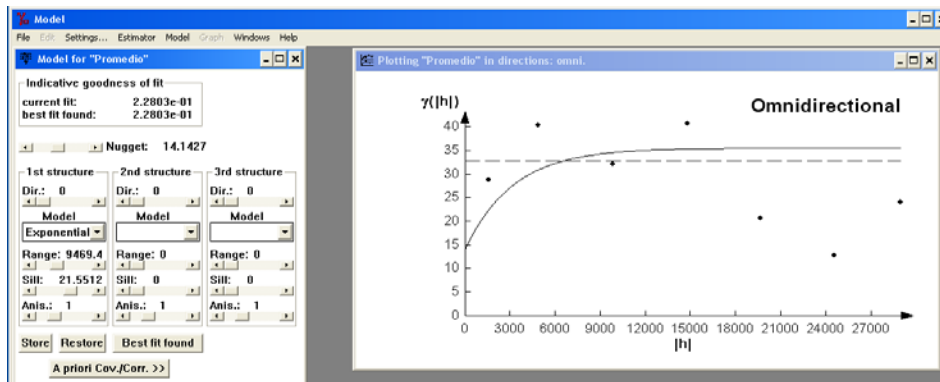
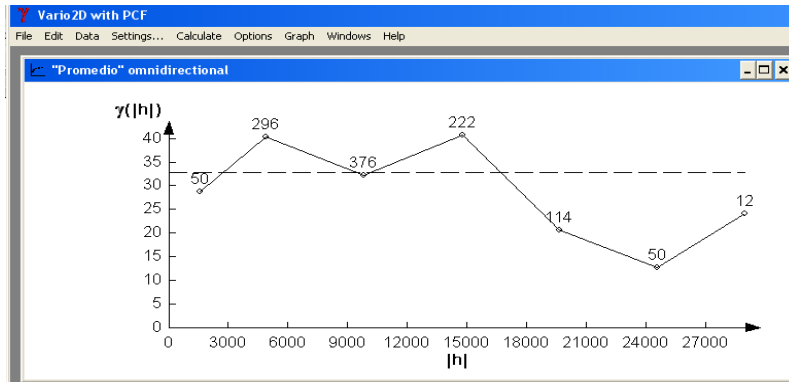


Figura 4.3 Modelo Exponencial de O₃ – año 2006

O₃ 2006



Modelo Gaussiano

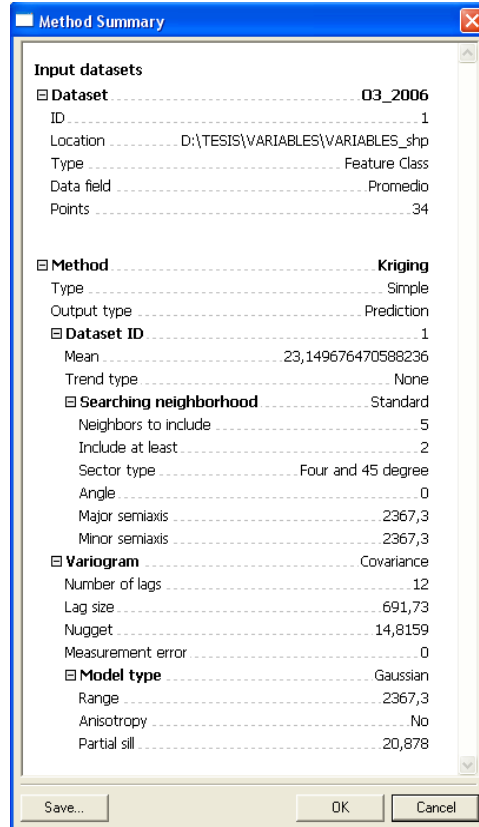
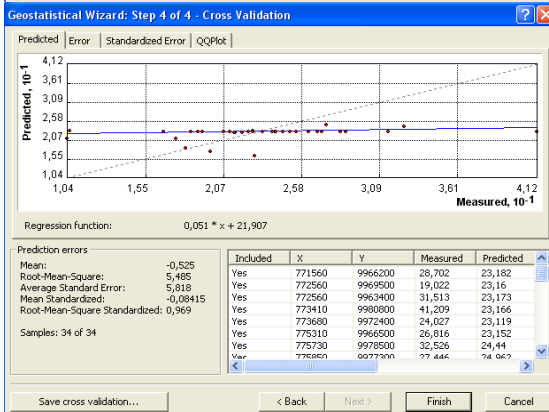
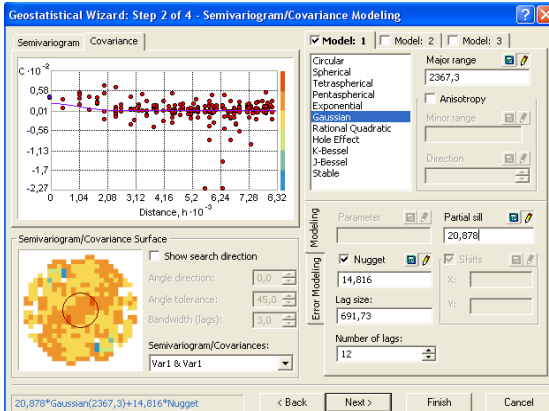
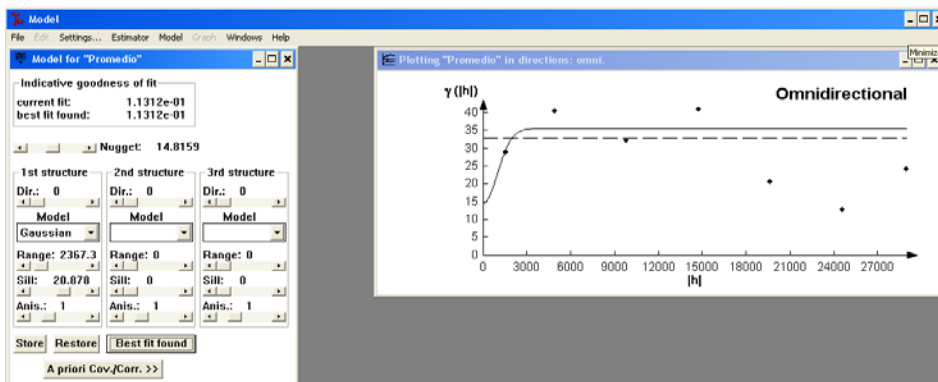


Figura 4.4 Modelo Gaussiano de O₃ – año 2006

Para realizar la selección del mejor interpolador Krigging para cada variable utilizando técnicas geoestadísticas se tomó ciertos criterios que permitieron verificar que los datos de las observaciones de los parámetros de cada una de las estaciones de la Red de Monitoreo Pasivo – REMPA sean propicios o aptos para este tipo de técnicas geoestadísticas. Estos criterios son los siguientes:

- En la utilización del software Variopin el mejor ajuste será cuando el índice IGF (Indicative Goodness Fit), que es un número adimensional, sea más próximo a cero; esto indica que a través de un índice la calidad del ajuste al variograma experimental. El valor superior (current fit) se refiere al índice del ajuste en el momento de la lectura del modelo y el inferior (bet fit found), al del mejor ajuste ingresado hasta el momento.
- Se sugiere que para que un modelo explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta.
- En la validación cruzada que se realiza en el ArcGis, los valores de el error de la media (the mean error) debería cerrar en cero, (the root-mean square error) y (average standard error) deben ser lo más pequeños posibles y el error medio cuadrático (the root-mean-square) debería cerrarse en 1.

Luego de tener en cuenta estos criterios anteriormente mencionados se ha seleccionado los parámetros y los modelos que cumplen con lo expuesto y estos se presentan a continuación:

- O₃ del año 2008 – Modelo Exponencial
- O₃ del año 2008 – Modelo Gaussiano
- NO₂ del año 2006 – Modelo Exponencial
- NO₂ del año 2006 – Modelo Gaussiano
- NO₂ del año 2007 – Modelo Exponencial
- NO₂ del año 2007 – Modelo Gaussiano

- Tolueno del año 2009 – Modelo Gaussiano
- Xileno del año 2010 – Modelo Esférico
- Xileno del año 2010 – Modelo Gaussiano
- SO₂ del año 2007 – Modelo Esférico
- SO₂ del año 2007 – Modelo Exponencial

Estos parámetros poseen un error medio cuadrático que sobrepasa de 1.

Para el caso del O₃ del año 2008, se puede observar en la Figura 4.5 que el mejor modelo es el que se encuentra a la izquierda que corresponde al Modelo Exponencial, ya que su error medio cuadrático estandarizado es 0,9921 y el modelo de la derecha es el Modelo Gaussiano que presenta un error medio cuadrático estandarizado de 1,055.

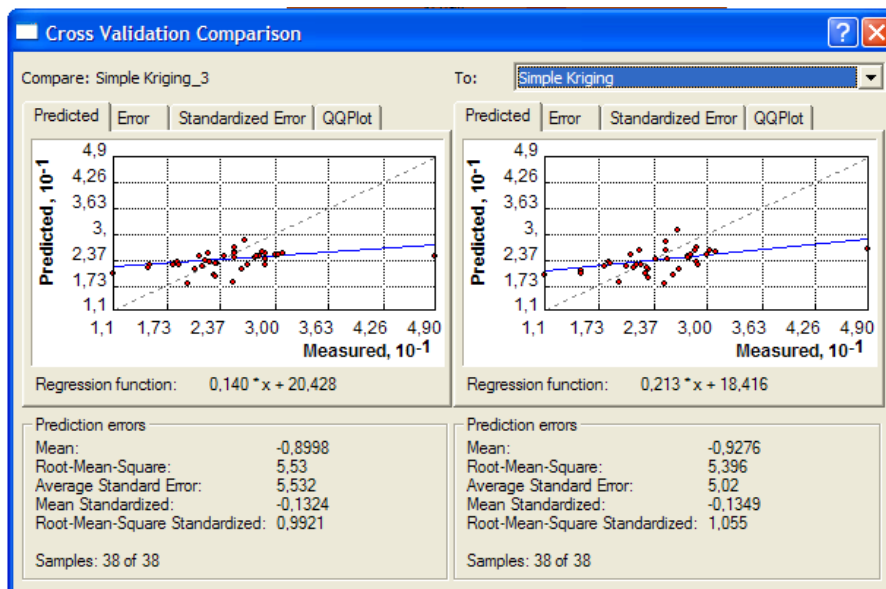


Figura 4.5 Comparación de modelos para la variable O₃ del año 2008

A continuación, la representación espacial del Modelo Exponencial para la variable O₃ del año 2008.

Figura 4.6 Mapa de la variable O_3 – 2008 utilizando el modelo exponencial

Para el caso del NO₂ del año 2006, se puede observar en la Figura 4.7 el modelo que se encuentra a la izquierda que corresponde al Modelo Gaussiano, ya que su error medio cuadrático estandarizado es 1,011 y el mejor modelo es el de la derecha y corresponde al Modelo Exponencial que presenta un error medio cuadrático estandarizado de 0,9157.

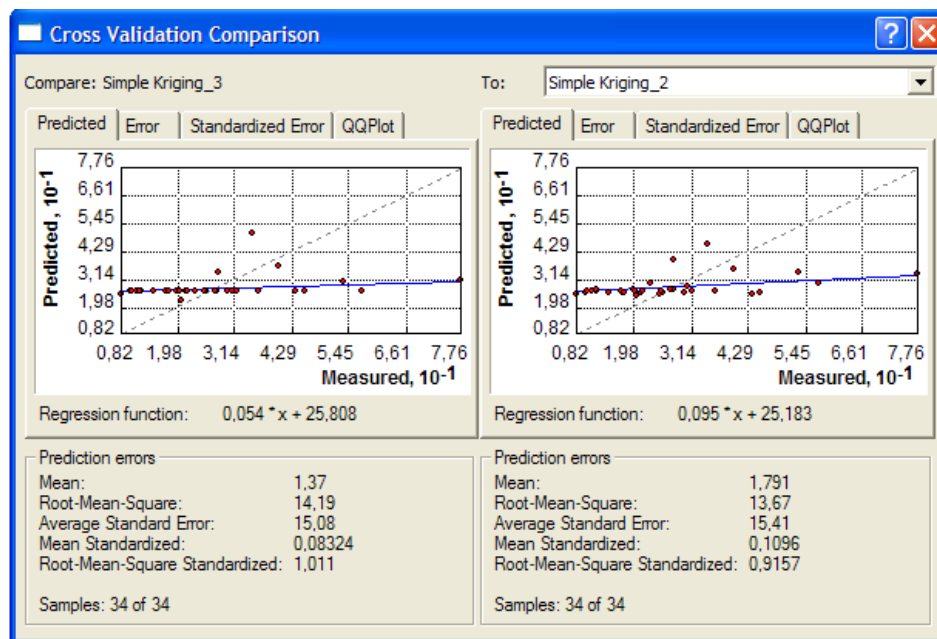


Figura 4.7 Comparación de modelos para la variable NO₂ del año 2006

A continuación, la representación espacial del Modelo Exponencial para la variable NO₂ del año 2006.

Figura 4.8 Mapa de la variable NO₂ – 2006 utilizando el modelo exponencial

Para el caso del NO₂ del año 2007, se puede observar en la Figura 4.9 el mejor modelo es el que se encuentra a la izquierda que corresponde al Modelo Gaussiano, ya que su error medio cuadrático estandarizado es 0,95 y el modelo de la derecha y corresponde al Modelo Exponencial que presenta un error medio cuadrático estandarizado de 0,899.

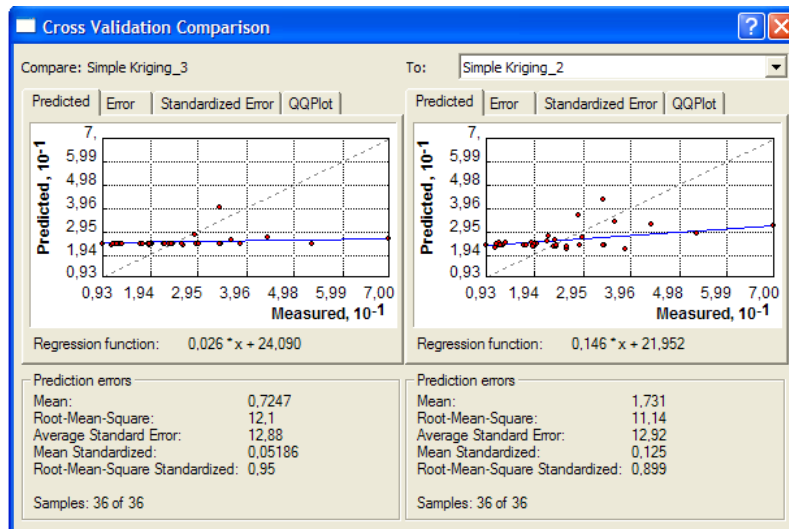


Figura 4.9 Comparación de modelos para la variable NO₂ del año 2007

A continuación, la representación espacial del Modelo Exponencial para la variable NO₂ del año 2007.

Figura 4.10 Mapa de la variable NO₂ – 2007 utilizando el modelo exponencial

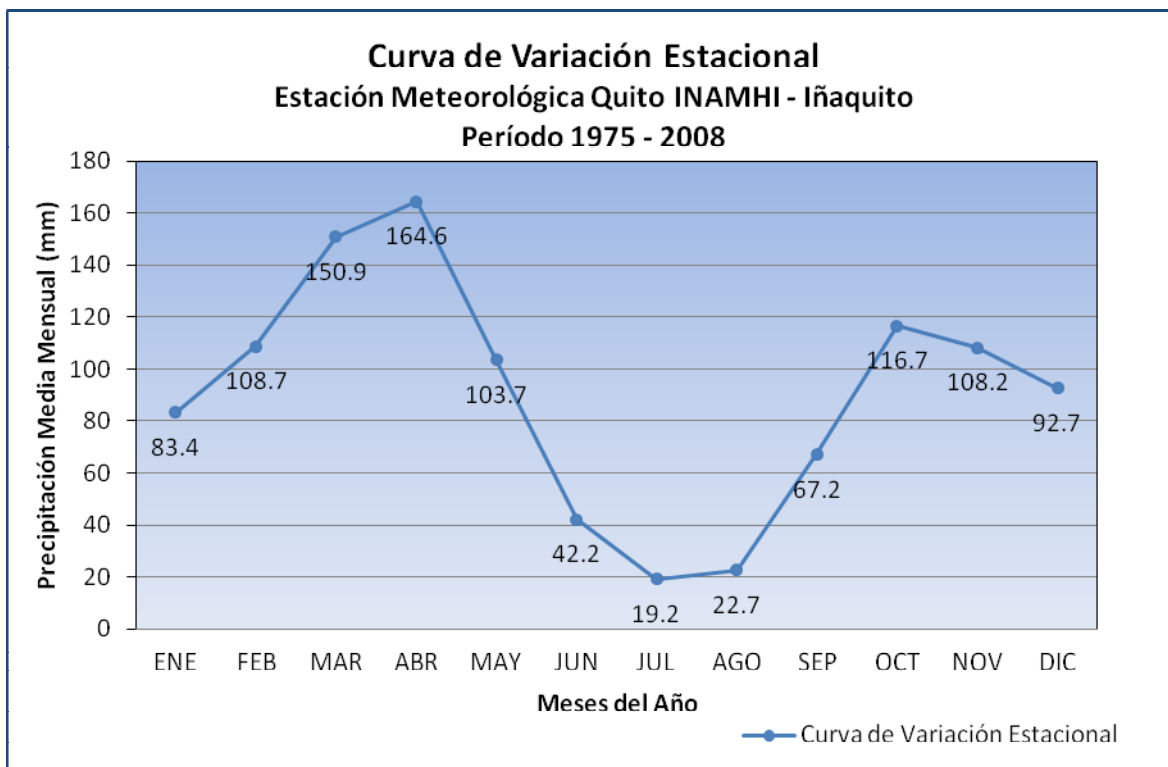
Una vez terminado el análisis de las observaciones de las estaciones, se decidió hacer prueba adicional, pero esta vez teniendo en cuenta parámetros meteorológicos únicamente para decidir un mes en época lluviosa y otro en época seca, de esta manera se tiene una prueba final para ver si los datos generados por la red de estaciones de la ex-CORPAIRE son aptos para poder utilizar el interpolador Krigging.

A continuación en la Tabla 4.21, se muestra los valores de precipitación de la Estación Meteorológica del INAMHI.

Tabla 4.41 Precipitaciones anuales y mensuales de la Estación Quito INAMHI - IÑAQUITO

PROMEDIOS DE PRECIPITACION ANUALES Y MENSUALES														
QUITO INAMHI - IÑAQUITO														
COD.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
M024	1975	71,5	208,4	206,8	119,7	159,7	55,4	126,8	57,5	34,3	157,8	95,3	53,3	
M024	1976	74,2	84,0	144,1	92,9	142,4	30,2	1,4	1,4	41,2	81,1	91,3	130,4	
M024	1977	70,6	33,0	142,6	87,2	73,0	50,0	8,0	18,2	124,7	107,2	10,6	116,2	
M024	1978	60,1	80,0	81,6	115,5	77,9	14,0	72,6	3,2	118,8	21,3	76,4	91,1	
M024	1979	51,8	43,1		130,8	165,8	66,7	9,3	76,0	154,8	46,5	66,7	3,2	
M024	1980	110,3	215,6	70,8	116,8	28,6	18,6	6,6	14,7	68,2	134,7	134,9	70,6	
M024	1981	9,8	108,6	152,0	200,6	57,6	25,7	14,9	57,1	34,1	85,1	86,6	112,9	
M024	1982	140,9	73,8	103,6	148,3	158,8	5,5	38,0	2,7	66,6	195,5	149,5	207,6	
M024	1983	95,7	70,1	254,7	209,5	115,2	26,8	6,0	69,6	11,1	74,9	85,1	218,6	
M024	1984	72,5	237,0	93,5	217,0	70,9	26,2	10,2	39,0	163,7	143,8	95,8	21,7	
M024	1985	85,9			114,7	107,7					62,2			
M024	1986	81,1	111,9	153,3	154,8	86,0	14,0	0,0	6,0	27,6	86,8	116,0	70,1	
M024	1987	70,0	53,8	116,2	136,3	129,4	40,2	18,3	10,6	66,1	103,7	8,0	4,5	
M024	1988	75,1	118,0	25,2	297,8	114,0	100,2	44,8	50,4	138,9	109,5	128,8	63,5	
M024	1989	55,1	113,0	158,8	120,8	65,4	64,6	20,1	36,7	108,8	191,2	13,9	40,2	
M024	1990	46,6	150,2	79,7	123,3	19,7	21,1	15,4	37,1	27,8	246,8	39,9	46,8	
M024	1991	96,7	48,6	232,9	84,0	104,9	30,0	16,1	2,9	69,0	37,2	134,9	44,3	
M024	1992	51,3	68,7	105,0	96,1	127,6	14,3	17,9	14,7	109,9	78,3	107,4	45,2	
M024	1993	111,4	219,3	235,2	228,1	94,6	12,7	8,2	3,3	96,0	72,0	128,5	177,0	
M024	1994	193,4	112,2	244,4	201,1	103,2	0,9	2,9	3,4	27,9	113,2	186,8	79,9	
M024	1995	14,9	85,2	118,7	158,4	104,0	97,5	42,5	83,9	5,7	152,7	232,4	77,8	
M024	1996	146,5	138,3	181,8	199,4	189,4	37,2	29,0	83,2	84,5	169,4	14,4	47,7	
M024	1997	140,9	13,2	167,7	83,2	65,9	58,8	0,0	0,0	108,6	152,7	219,2	120,3	
M024	1998	58,1	86,5	127,5	143,9	193,9	14,5	32,2	18,8	58,8	103,6	138,6	32,6	
M024	1999	81,6	237,2	185,3	234,1	70,1	126,6	25,1	24,8	136,3	87,1	101,0	221,2	
M024	2000	177,3	165,8	149,5	187,6	123,8	66,4	22,1	9,7	67,3	43,8	16,7	76,1	
M024	2001	84,1	63,9	186,4	63,1	88,8	8,5	35,0	0,0	94,6	9,3	113,6	118,1	
M024	2002	36,6	59,1	123,1	256,6	133,1	37,3	8,2	9,8	19,2	144,6	95,0	152,9	
M024	2003	25,4	79,1	100,9	244,6	28,7	54,1	15,7	26,1	67,8	117,7	159,4	103,2	
M024	2004	56,0	34,4	75,2	156,3	113,8	11,0	6,7	0,6	97,6	98,8	125,5	94,8	
M024	2005	37,9	150,6	134,3	64,2	37,7	31,8	53,4	26,8	35,6	116,0	58,4	115,1	
M024	2006	52,3	105,2	202,5	209,5	113,6	50,2	3,1	3,5	35,6	109,5	182,4	183,0	
M024	2007	66,2	67,5	177,2	188,1	101,0	22,2	12,5	33,4	3,0	160,1	95,6	95,7	
M024	2008	156,5	217,9	188,8	203,8	171,3	56,5	12,3	37,0	58,7	235,3	72,4	121,2	
	MEDIA	83,4	108,7	150,9	164,6	103,7	42,2	19,2	22,7	67,2	116,7	108,2	92,7	1080,0
	MEDIANA	72,6	105,2	153,3	157,4	104,5	37,2	16,1	14,7	67,3	109,5	113,6	79,9	1031,2

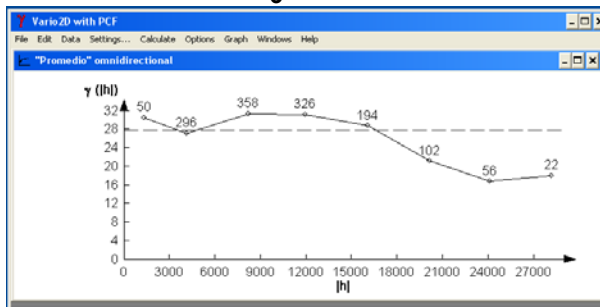
Con esta tabla se obtuvo una curva que se muestra en el Grafico 4.1, que nos indica el mes de abril como el más lluvioso y el mes de julio como el más seco del año.



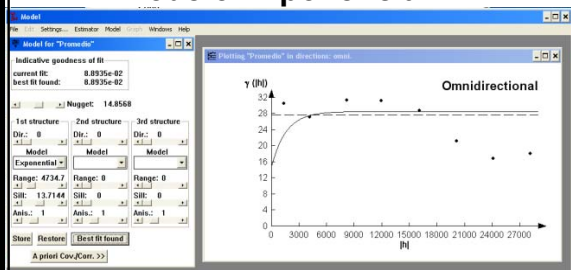
Cuadro 4.1 Curva de Variación Estacional

Teniendo en cuenta este criterio se escogió la variable O₃ del año 2009 para realizar la prueba tomando en cuenta todos los valores obtenidos en el mes de abril de cada una de las estaciones de la REMPA. En la Figura 4.68, se encuentra la gráfica del semivariograma y los modelos exponencial, gaussiano y esférico con los que se hizo la prueba y considerando que la pepita no debe sobrepasar del 50% de la meseta se escogió el modelo esférico.

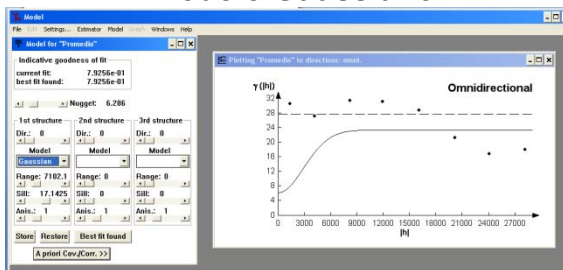
O₃ 2009



Modelo Exponencial



Modelo Gaussiano



Modelo Esférico

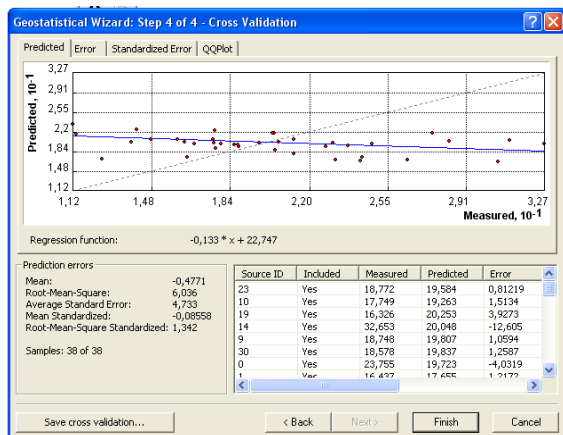
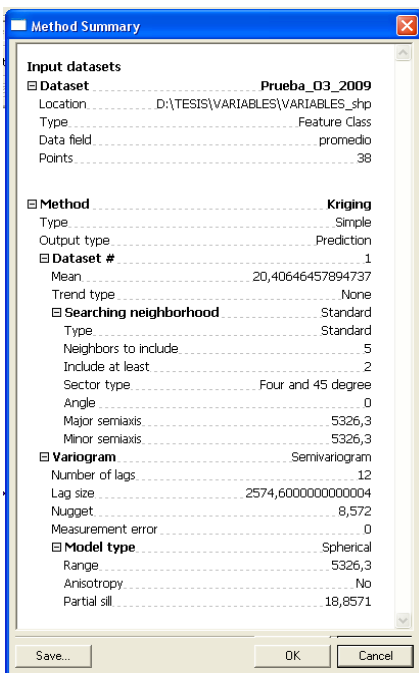
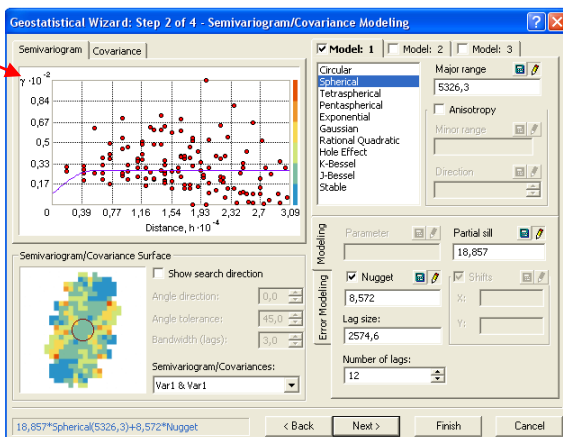
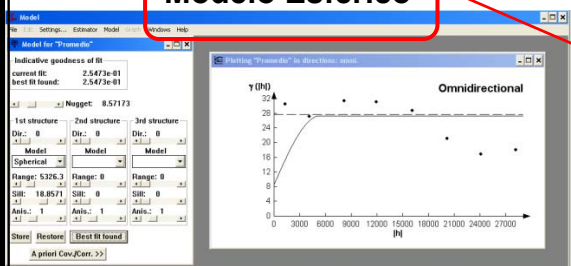


Figura 4.11 Pruebas con la variable O₃ – 2009

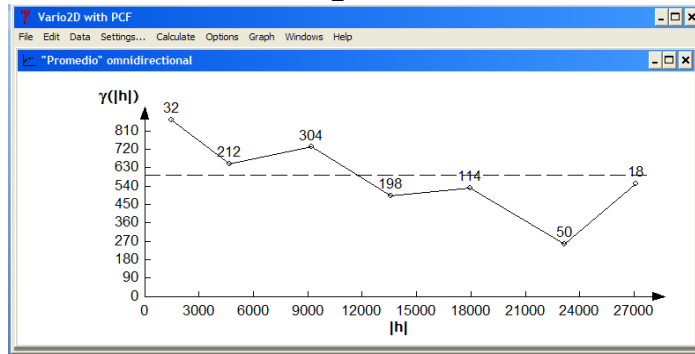
A continuación, la representación espacial del Modelo Esférico para la variable O_3 del año 2009.

Figura 4.12 Mapa de la variable O₃ – 2009 utilizando el modelo esférico

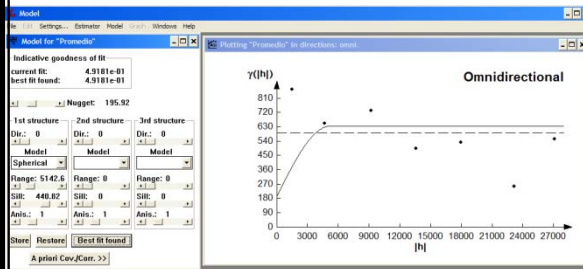
En el mapa de la Figura 4.12 se puede observar la distribución de la variabilidad de O_3 a lo largo de toda el área de estudio y se puede considerar como una buena interpolación teniendo en cuenta que los valores más altos que son aquellos que se encuentran en zonas como la Roldós, Cruz Loma y Cumbaya y estos valores se presentan pintados con colores más oscuros lo que implica que es una zona de alta concentración de O_3 .

Teniendo en consideración el mismo criterio del O_3 del año 2009 para los valores obtenidos en el mes de abril de cada una de las estaciones de la REMPA se escogió NO_2 el mes de julio del año 2010 como el mes más seco, para este parámetro se realizó el mismo tratamiento de la información se la siguiente manera.

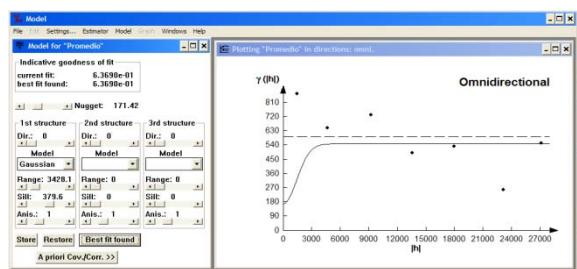
NO₂ 2010



Modelo Esférico



Modelo Gaussiano



Modelo Exponencial

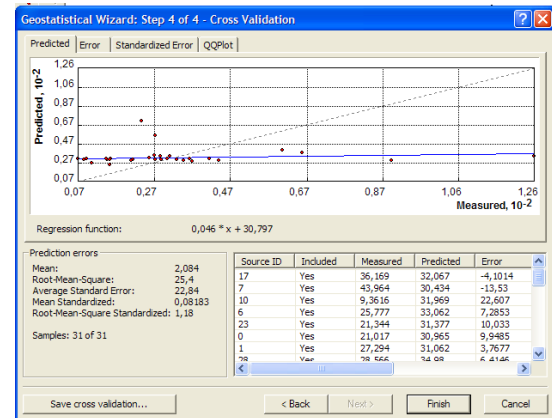
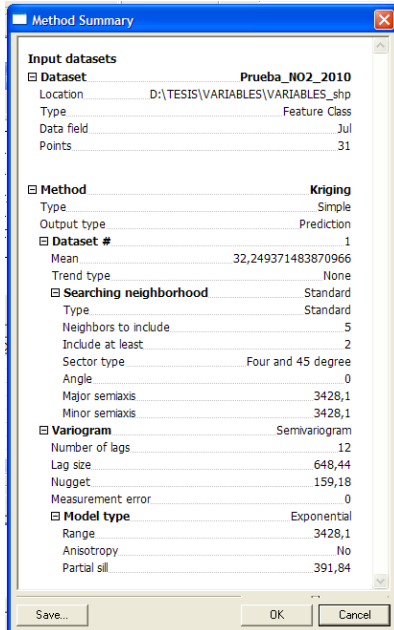
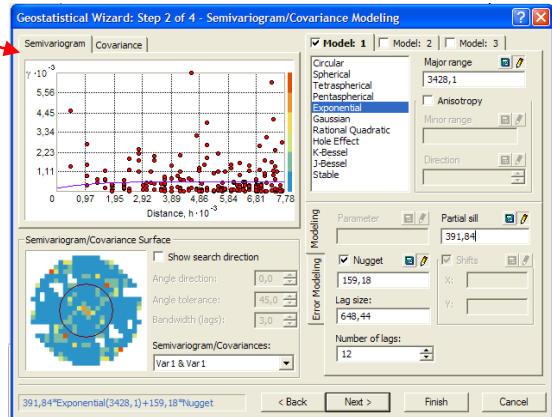
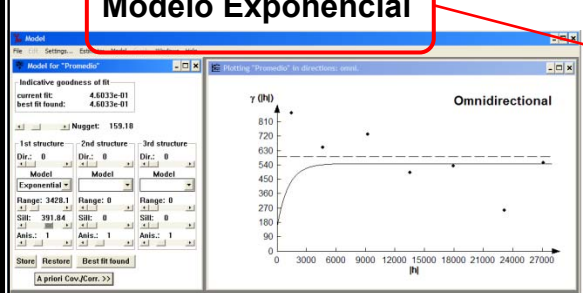


Figura 4.13 Pruebas con la variable NO₂ – 2010

En el mapa de la Figura 4.14 se puede observar la distribución de la variabilidad de NO_2 a lo largo de toda el área de estudio y se puede considerar como una buena interpolación teniendo en cuenta que el valor más alto reportado es aquel que se encuentran en La Marín, seguido de lugares con valores altos como la Necochea y la Basílica estos valores se presentan pintados con colores más oscuros lo que implica que es una zona de alta concentración de NO_2 .

A continuación, se muestra la representación espacial del Modelo Exponencial para la variable NO_2 del año 2010.

Figura 4.14 Mapa de la variable NO₂ – 2010 utilizando el modelo esférico

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El uso de las técnicas de interpolación geoestadística generan superficies que incorporan las propiedades estadísticas de los datos muestrales y proporciona una medida del error de las mismas, siendo este último un indicador de buena o mala predicción.
2. Con la utilización de variogramas obtenidos a partir de información georeferenciada, se conoció la variación de los parámetros de contaminación del aire en el Distrito Metropolitano de Quito y permitió con las observaciones del período comprendido entre los años 2006 – 2010, conocer la tendencia de las mismas y cuáles de estas son consideradas como buenas para ser utilizadas en interpolación mediante el software ArcGis.
3. A través del interpolador Krigging se procesaron los datos de 20 variables ambientales entre los años 2006 - 2010, que forman parte de una Red de Monitoreo Pasivo (REMPA) localizadas dentro del Distrito, las mismas que no poseen una continuidad espacial adecuada para el interpolador.
4. Es importante siempre hacer un análisis de los datos, esto implica analizarlos obteniendo sus estadísticos descriptivos, lo que nos da una idea muy clara de cómo se encuentran los mismos; adicional a esto es importante también la ubicación de los mismos para poder utilizar un interpolador geoestadístico como Krigging.

5. El efecto pepita nos dice que no se debe sobrepasar el 50% de la meseta con lo que nos ayuda a poder discernir los datos que son propicios para ser utilizados con un interpolador como krigging; teniendo en cuenta este antecedente y con respecto a la información que se maneja en este proyecto de investigación se llegó a la conclusión que únicamente pasaron este filtro 6 variables estudiadas, es decir que el 30% de la información disponible paso este filtro.
6. De los registros disponibles se llegó a la conclusión que las zonas críticas de contaminación del dióxido de nitrógeno (NO_2) en primer lugar se encuentran La Marín, Chillogallo y Carcelén; y en segundo lugar está Necochea, Conocoto, la Basílica, Escuela Sucre y El Triángulo. En ninguno de los sitios antes mencionados se supera el promedio anual indicado en la Norma Ecuatoriana para NO_2 ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$).
7. De los registros disponibles para el caso del dióxido de azufre (SO_2) los sectores de mayor concentración es la calle Morán Valverde, la Roldós y El Triángulo. En ninguno de los sitios antes mencionados se supera el promedio anual indicado en la Norma Ecuatoriana para SO_2 ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$).
8. De los registros disponibles para el caso de ozono (O_3), el sector de mayor concentración es Pomasqui, Guayllabamba y Cruz Loma en éste último se dice que la mencionada concentración puede ser causada por el incremento del contaminante con la altura sobre el nivel del mar, por un aumento de la radiación solar.
9. De los registros disponibles para el caso del benceno, las mayores concentraciones se encuentran en Monteserrín, Cochapamba, González Suárez y el Triángulo. Para este contaminante no existe norma ecuatoriana, pero la norma Europea anual es de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$; los valores reportados en el año 2008 en muchas estaciones se encuentran cerca y en otras se encuentra bordeando este valor, sin embargo para el año 2009, todas las estaciones registran incrementos considerables de este contaminante y el sector con mayor concentración es la Basílica que

registran valores cinco veces más que la norma europea, seguido de sectores como el Triángulo, Calderón y la Maternidad que casi triplican el valor de la norma europea.

10. Para ejecutar un estudio más confiable con parámetros de las estaciones de la Red de Monitoreo Pasivo, se recomienda contar con mayor número de estaciones que cubran todo el Distrito Metropolitano de Quito, de manera homogénea lo que nos generaría datos continuos aptos para poder utilizar geoestadística y generar interpolaciones con modelos que nos ayuden a representar variables ambientales cercano a la realidad a lo largo de todo el Distrito, lo que nos permitiría tomar decisiones que ayuden a bajar niveles altos de contaminación de algunos parámetros en ciertas zonas de la ciudad, implementando medidas como el “pico y placa”, mejorar la gasolina, generar nuevas vías o vías alternas de circulación vehicular en horas pico, implementar la cultura de utilización en conjunto (compartir rutas) del auto con los vecinos y amigos, apoyar a la investigación para generar vehículos que utilicen otro tipo de combustibles, utilizar bicicletas, etc, son algunas formas de ayudar a bajar los niveles altos de concentraciones y mejorar el aire que respiramos.
11. Se recomienda realizar un estudio de factibilidad por parte de la ex-Corpaire, actual Secretaria de Movilidad y Ambiente que permita reubicar geográficamente las estaciones de manera homogénea ta o a su vez complementar las ya existentes, de manera que el interpolador empleado, determine de manera más puntual las concentraciones altas de los gases contaminantes en ciertos lugares del Distrito Metropolitano de Quito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEA, Gobierno de Aragon, El ozono – Estratosférico vs. Troposférico – La calidad del aire en Aragón, España, 2007.

ArcGis Geoestatistical Analyst Tutorial, ESRI, 2006.

ArcGis 9 Using Geoestatistical Anaylyst, ESRI, 2003.

Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos , El Benceno y su Impacto en la Salud, 2011.

Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos , El Benceno y su Impacto en la Salud, 2011.

ATSDR, Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades, División de Toxicología y Medicina Ambiental, Atlanta, 2007.

Buitrago Arango, Aplicación del modelo gaussiano para determinar la calidad del aire en Manizales, Colombia, 2003.

Burrough, Métodos de Interpolación, Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso, Departamento de Geografía, Ediciones Universitarias Valparaíso, 1987.

Cañada Torrecilla, R.M., Técnicas de Interpolación Geoestadísticas: Krigging, Sistemas y Análisis de la Información Geográfica, Unidad 10.5, RA-MA, 2007.

Departamento de Montes, Silvicultura urbana y periurbana en Quito,Ecuador: Estudio de Caso, 1998.

DIAZ VIERA MARTÍN, Instituto de Geofísica, UNAM, Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba, 2002.

FAO, Silvicultura urbana y periurbana en Quito, Ecuador - El Contexto de Quito, <http://www.fao.org/docrep/w7445s/w7445s03.htm> - TopOfPage 07 de octubre de 2011.

Fergueiras, Carlos Alberto, “Geoestatística e Aplicacoes em Geoprocessamento”, XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis SC, Abril, 2007.

Fisher Alvaréz, Eduardo, Ozono – Terápias, El Blog de Angels Royo y Alfonso Acero, 2001.

FUNES HECTOR NICOLÁS, Métodos estadísticos en problemas espaciales, Instituto de Investigaciones Estadísticas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Tucuman, San Miguel de Tucumán, Mayo 2004.

García, Calleja, Xavier, El átomo de carbono – Cadena cíclica, Bioquímica, 2010.

Hiojosa Ayala, Danny, La composición de la atmósfera terrestre, 2008.

Ilustre Municipio de Quito, Dirección de Planificación. *Quito en Cifras*. IMQ: Quito. 1992.

Informe Anual 2005 – La Calidad del Aire en Quito, Corporación para el mejoramiento del aire de Quito, 1era. Edición, CORPAIRE, Quito, Enero 2006.

Informe Anual 2010 – La Calidad del Aire en Quito, Corporación para el mejoramiento del aire de Quito, 1era. Edición, CORPAIRE, Quito, Enero 2006.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, Ficha internacional de seguridad química del tolueno, España, 2011.

Cartin Johnny, Estadística – Nociones Generales, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2009.

López Arriaga, Jerónimo Amado, Contaminación atmosférica, Principios básicos de contaminación ambiental, Universidad Autónoma de México, 2003.

Santamaría, Mariana S, Malla, Marta S, Notas sobre el manejo del software geoestadístico Variowin Parte1: Cálculo del variograma, Departamento de Matemática; Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Santamaría, Mariana S, Malla, Marta S, Notas sobre el manejo del software geoestadístico Variowin Parte2: Cálculo del variograma, Departamento de Matemática; Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Moreano Viteri, José Ricardo, “Sistemas de Información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y clima del Ecuador”, Quito, Julio 2008.

McMurry, John, Química del benceno: sustitución electrófila aromática, Química Orgánica, Cengage Learning Editores, 2006.

Mordecai, Rubin, The History of Ozone, The Schonbein Period, 1839 – 1868, 2001.

OMS, Contaminación Ambiental, Nota descriptiva N°313, Agosto 2006.

OMS, Organización Mundial de la Salud, Temas de Salud, World Health Organization, 2010.

Openshaw Stan, The analysis of geographical data, Proceedings of the 4th international conference on Statistical and Scientific Database Management, Londres, 1988.

Quito Distrito Metropolitano, 2011.

Revista Terra, Foros, Formulación orgánica, 2000.

Russell, Randy, Óxidos de nitrógeno – óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), Ventanas al Universo, 2006.

Russell, Randy, Óxidos de azufre, dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃), Ventanas al Universo, 2006.

Santolaya Martínez, Concepción, Guardino Solá, Xavier, Rosell Farrás, M. Gracia, Toxicología–Sustancias, 2011.

Santolaya Martínez, Concepción, Guardino Solá, Xavier, Rosell Farrás, M. Gracia, Toxicología–Sustancias, 2011.

SIMAT – Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de México, Dióxido de Nitrógeno (NO₂), 2011.

SIMAT – Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de México, Ozono (O₃), 2011.

SIMAT – Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de México, Dióxido de Nitrógeno (NO₂), 2011.

Webster, Allen L., Estadística aplicada a los negocios y a la economía, McGraw-Hill, Tercera edición, 2001.