



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

**“DISEÑO DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE OZONO
TROPOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA PARA EL AÑO
2015”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: JOSÉ HERIBERTO LATORRE SAIGUA

TUTORA: MSc. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI

Riobamba – Ecuador

2017

© 2017, José Heriberto Latorre Saigua

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

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo técnico: “**DISEÑO DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE OZONO TROPOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA PARA EL AÑO 2015**”, de responsabilidad del señor José Heriberto Latorre Saigua, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

MSc. María Rafaela Viteri Uzcátegui
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco
ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Carlos González García
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, José Heriberto Latorre Saigua, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 08 de agosto de 2017

.....

José Heriberto Latorre Saigua

Yo, José Heriberto Latorre Saigua soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

C.I. 060394215-2

DEDICATORIA

El presente Proyecto de Titulación está dedicado a familia en especial a mis padres y hermana por ser mi fortaleza para cumplir este anhelado objetivo. A mi esposa e hija que son el motivo de inspiración para seguir superándome y a todas las personas quienes estuvieron apoyándome para hacer posible culminar felizmente esta etapa académica.

José Latorre Saigua

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento especial a mis padres José Latorre Inca y Marlene Saigua Cargua por darme la vida, por su cariño, por su apoyo incondicional, por todos los esfuerzos que han realizado y ser el mayor ejemplo de dedicación, tenacidad y responsabilidad para sobrellevar los retos para culminar esta etapa de académica

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus docentes, por los conocimientos impartidos y por la ayuda entregada durante este período de formación profesional.

Al Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, así como también a la dirección de Gestión Ambiental e Higiene perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Riobamba por la colaboración y entrega de información sustancial para el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Rafaela Viteri, directora de tesis, por brindarme su amistad, confianza, asistencia técnica y la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo.

Al Ing. Daniel Chuquín, asesor de tesis, por su acertado apoyo técnico para cumplir con el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Juan González, miembro del tribunal examinador, por su apoyo y el importante aporte en la revisión de este trabajo de titulación.

A quienes conforman mi familia y amigos por su apoyo, que han sabido darme palabras de aliento, motivación y por todos los momentos vividos en esta etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Página
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
TABLA DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE MAPAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
RESUMEN	xx
SUMMARY.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- Justificación.....	2
1.3.- Objetivos de la investigación	3
1.3.1.- Objetivo general:.....	3
1.3.2.- Objetivos específicos:	3
CAPÍTULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. La atmósfera	4
2.1.1. Composición.....	4
2.2. Calidad de Aire.....	6

2.3. Contaminación del Aire.....	7
2.3.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos	8
2.3.1.1. Por su origen.....	8
2.3.1.1.1. Contaminantes primarios.....	8
2.3.1.1.2. Contaminantes secundarios	8
2.3.1.2. Por su estado físico.....	8
2.3.1.2.1. Gases.....	8
2.3.1.2.1. Partículas	9
2.3.1.3. Por su composición química.....	9
2.3.1.3.1. Orgánicos.....	9
2.3.1.3.2. Inorgánicos	9
2.3.2. Principales fuentes de contaminación.....	9
2.3.2.1. De acuerdo a su origen	9
2.3.2.1.1. Naturales.....	9
2.3.2.1.2. Antropogénicas.....	10
2.3.2.2. Por su movilidad.....	10
2.3.2.2.1. Fuentes fijas.....	10
2.3.2.2.2. Fuentes móviles	10
2.3.2.3. Por su distribución espacial	10
2.3.2.3.1. Fuentes puntuales	10
2.3.2.3.2. Fuentes de área	10

2.3.3. Dispersión de los contaminantes	11
2.3.3.1. Parámetros que influyen en la dispersión	11
2.3.3.1.1. Parámetros de la fuente.....	11
2.3.3.1.2. Parámetros meteorológicos.....	11
2.3.3.1.2.1. Temperatura.....	12
2.3.3.1.2.2. Velocidad y dirección de los vientos	12
2.3.3.1.2.3. La radiación solar	12
2.4. Óxidos de nitrógeno.....	13
2.4.1. Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	13
2.4.2. Óxido Nítrico (NO)	13
2.4.2. Fuentes de Óxidos de Nitrógeno	14
2.4.3. Efectos	14
2.4.3.1. Salud Humana.....	14
2.4.3.2. Vegetación	15
2.4.3.3. Efectos al ambiente.....	15
2.5. Ozono troposférico	16
2.5.1. Formación de ozono troposférico	16
2.5.2. Efectos producidos por ozono	17
2.5.2.1. Salud humana	17
2.5.2.2. Vegetación.....	17
2.6. Legislación Aplicable	18

2.6.1. Constitución de Republica.....	18
2.6.2. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	18
2.6.3. Código Orgánico del Ambiente	19
2.6.3.1. Artículo 191. Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo.....	19
2.6.3.2. Ley de Gestión Ambiental Título I - Ámbito y principios de la ley.....	19
2.6.3.3. Acuerdo Ministerial 097-A – Reforma al Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente	20
2.6.3.3.1. <i>Ozono (O₃)</i>	20
2.6.3.3.2. <i>Dióxido de nitrógeno (NO₂)</i>	20
2.7. Interpolación Espacial	21
2.7.1. Tipos de interpolación	21
2.7.1.1. Interpolación simple	21
2.7.1.2. Interpolación geoestadística	22
2.7.2. Modelos de Interpolación	22
2.7.2.1. IDW	22
2.7.2.2. Kriging.....	22
CAPÍTULO III	23
3. METODOLOGÍA.....	23
3.1. Zona de estudio.....	23
3.1.1. Ubicación geográfica del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba.....	23
3.1.2. Lugar de la investigación.....	24
3.1.3. Materiales	24

3.2. Tipo de investigación.....	24
3.2.1. Esquema del proceso	25
3.2.1.1. Procedimientos	26
3.2.1.1.1. Parámetros de temperatura y radiación	26
3.2.1.1.2. Concentraciones de NO ₂ y Ozono	27
3.2.1.1.3. Implementación del Modelo IDW	28
3.2.1.1.6. Creación de mapas temáticos	29
3.2.1.1.7. Elaboración de la rosa de los vientos.....	29
3.2.1.1.9. Coeficiente de correlación de Pearson.....	30
CAPÍTULO IV	32
4. RESULTADOS	32
4.1. Base de datos para NO ₂ , ozono troposférico, temperatura y radiación	32
4.2. Mapas de dispersión para NO ₂ , ozono troposférico, temperatura y radiación	33
4.2.1. Marzo.....	33
4.2.2. Abril.....	38
4.2.3. Mayo.....	41
4.2.4. Junio.....	44
4.2.5. Julio	47
4.2.6. Agosto.....	50
4.2.7. Septiembre	53
4.2.8. Octubre	56

4.2.9. Noviembre	59
4.2.10. Diciembre	62
4.3. Análisis estadístico	65
4.3.1. Promedios Mensuales	65
4.3.2. Promedio anual de NO ₂	68
4.3.2.1. Concentraciones máximas y mínimas para NO ₂	69
4.3.3. Promedio anual de Ozono.....	69
4.3.3.1. Concentraciones máximas y mínimas para O ₃	70
4.3.4. Promedio anual de la frecuencia de la distribución de los vientos.....	71
4.3.5. Análisis de correlación	73
CONCLUSIONES.....	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	
ANEXO A. MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO	
ANEXO B. BASE DE DATOS PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO.....	

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Esquema del proceso.....	25
Gráfico 1-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo.....	34
Gráfico 2-4. Rosa de los vientos – marzo.....	34
Gráfico 3-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - marzo.....	35
Gráfico 4-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo ...	38
Gráfico 5-4. Rosa de los vientos - abril.....	39
Gráfico 6-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - marzo.....	39
Gráfico 7-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo ...	41
Gráfico 8-4. Rosa de los vientos - mayo.....	42
Gráfico 9-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - mayo.....	42
Gráfico 10-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	44
Gráfico 11-4. Rosa de los vientos - junio.....	45
Gráfico 12-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - junio.....	45
Gráfico 13-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	47
Gráfico 14-4. Rosa de los vientos - julio.....	48
Gráfico 15-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - julio.....	48
Gráfico 16-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	50
Gráfico 17-4. Rosa de los vientos - agosto.....	51
Gráfico 18-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - agosto.....	51

Grafico 19-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	53
Grafico 20-4. Rosa de los vientos - septiembre.....	54
Grafico 21-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - septiembre	54
Grafico 22-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	56
Grafico 23-4. Rosa de los vientos - octubre	57
Grafico 24-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - octubre	57
Grafico 25-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	59
Grafico 26-4. Rosa de los vientos - noviembre	60
Grafico 27-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - noviembre.....	60
Gráfico 28-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo .	62
Gráfico 29-4. Rosa de los vientos - diciembre	63
Gráfico 30-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - diciembre.....	63
Gráfico 31-4. Concentraciones mensuales de NO ₂ dentro del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba	65
Grafico 32-4. Concentraciones mensuales de ozono dentro del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba	66
Grafico 33-4. Promedios mensuales de temperatura.....	67
Grafico 34-4. Promedios mensuales de radiación	67
Grafico 35-4. Promedio anual de NO ₂ por estación de monitoreo.....	68
Grafico 36-4. Concentraciones mínimas y máximas de NO ₂	69
Grafico 37-4. Promedio anual de ozono por estación de monitoreo	70
Grafico 38-4. Concentraciones mínimas y máximas de O ₃	71

Gráfico 39-4. Rosa de los vientos / periodo marzo - diciembre 2015	72
Gráfico 40-4. Frecuencia de distribución de los vientos / periodo marzo - diciembre 2015	72
Gráfico 41-4. Diagrama de dispersión O ₃ - NO ₂	73
Gráfico 42-4. Diagrama de dispersión Radiación - NO ₂	74
Gráfico 43-4. Diagrama de dispersión Radiación - O ₃	75

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-3. Mapa de ubicación geográfica	23
Mapa 2-3 Estaciones de monitoreo para radiación y temperatura.....	26
Mapa 3-3. Estaciones de monitoreo para NO ₂ y O ₃	27
Mapa 1-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio – marzo.....	37
Mapa 2-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - abril.....	40
Mapa 3-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - mayo	43
Mapa 4-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - junio.....	46
Mapa 5-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - julio.....	49
Mapa 6-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - agosto...	52
Mapa 7-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - septiembre	55
Mapa 8-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - octubre .	58
Mapa 9-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - noviembre	61
Mapa 10-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - diciembre	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Composición de la atmósfera.....	5
Tabla 2-2. Composición de la tropósfera.....	6
Tabla 1-3. Estaciones meteorológicas.....	26
Tabla 2-3. Estaciones de monitoreo de NO ₂ y Ozono.....	27
Tabla 1-4. Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno – marzo.....	32
Tabla 2-4. Concentraciones de Ozono - marzo.....	32
Tabla 3-4. Base de datos de radiación - marzo.....	33
Tabla 4-4. Base de datos de temperatura - marzo.....	33
Tabla 5-4. Coeficiente de correlación de Pearson.....	75

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A. MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO

ANEXO B. BASE DE DATOS PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO

RESUMEN

Se realizó el diseño del modelo de dispersión de ozono troposférico de la ciudad de Riobamba para el año 2015. Se elaboraron mapas de dispersión implementando el modelo de interpolación IDW, además de un análisis de vientos, con el software WRPLOT View, a partir de los datos de velocidad y dirección del viento. El análisis estadístico se implementó en función de correlaciones bivariadas determinando la relación entre las variables para lo cual, se calcularon los valores promedios anuales determinando si estos sobrepasaron los valores establecidos en el acuerdo ministerial 097-A Reforma del Libro VI Anexo 4 del TULSMA. Los mapas de dispersión indicaron que la concentración de O₃ varió en función de las concentraciones registradas por su precursor el NO₂, en los sectores donde las concentraciones de NO₂ (86.25 µg/m³) fueron más altas, se registraron menores concentraciones de O₃ (39.87 µg/m³), mientras que en sectores donde los niveles de NO₂ disminuyeron (21.26 µg/m³) las concentraciones de O₃ aumentaron (59.79 µg/m³), esto ratifica con el coeficiente de correlación de Pearson, el cual indicó que entre NO₂ y el O₃ existe una correlación inversa con un coeficiente de -0.249. Se determinó la concentración promedio anual para NO₂, esta es de 32.86 µg/m³ y 25.14 µg/m³ para O₃, concentraciones que no sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la norma. Se recomienda la instalación de mayor número de estaciones de monitoreo dentro del perímetro urbano que permitan conocer con mayor certeza el comportamiento de los contaminantes en estudio, para esto considerar el tráfico vehicular, áreas verdes y zonas periféricas.

Palabras clave: <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <CONTAMINACIÓN DEL AIRE>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO>, <OZONO TROPOSFÉRICO> <ARCMAP (SOFTWARE)>, <WRPLOT VIEW (SOFTWARE)>

SUMMARY

In this research was carried out the design of the dispersion model of tropospheric ozone in Riobamba city for the year 2015. Dispersion maps were developed by implementing the IDW (Inverse Distance Weighting) interpolation model, in addition to a wind analysis, with the WRPLOT View software, from data speed and wind direction. The statistical analysis was implemented based on bivariate correlations determining the relationship between the variables for which, the annual average were calculated, determining whether they exceeded the values established in Ministerial Agreement 097-A Reform of Book VI Annex 4 of TULSMA. Scatter maps indicated that the concentration of O₃ varied as a function of the concentrations recorded by its predecessor the NO₂, in the sectors where concentrations of NO₂ (86.25 µg/m³) were higher, there were lower concentrations of O₃ increased (39.87 µg/m³), while in sectors where NO₂ levels decreased (21.26 µg/m³) O₃ concentrations increased (59.79 µg/m³), this ratifies with the Pearson correlation coefficient, which indicated that between NO₂ and O₃ there is an inverse correlation with a coefficient of -0.249. It was determined the annual average concentration for NO₂, this is of 32.86 µg/m³ and 25.14 µg/m³ for O₃, concentrations that did not exceed the maximum permissible limits established by the standard. It is recommended that a larger number of monitoring stations be installed within the urban perimeter, that allow to know with greater certainty the behavior of the pollutants in study, for this consider the vehicular traffic, green areas and peripheral areas.

Key words: <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <AIR POLLUTION>, <NITROGEN DIOXIDE>, <TROPOSPHERIC OZONE> <ARCMAP (SOFTWARE)>, <WRPLOT VIEW (SOFTWARE)>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire se refiere a la presencia en la capa atmosférica de elementos en una proporción que ocasiona molestias o riesgos para la calidad de vida de las personas y los seres vivos en general, además puede afectar a varios materiales, disminuir la visibilidad u ocasionar olores desagradables; dentro de los principales mecanismos de contaminación se encuentran distintos procesos que generan combustión, estos pueden ser los generados por la industria en general, la producida por el parque automotor, calefacciones de las residencias, entre otros, produciendo principalmente: dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre; además las plantas industriales producen otros tipos de contaminantes como el cloro o hidrocarburos, producto de una combustión incompleta que son igual de perjudiciales (Martínez y Díaz, 2004). Este tipo de contaminación se denomina antropogénica y ha estado presente desde hace casi 500 años, uno de los primeros casos de efectos severos registrados en la historia fue el que se produjo en Londres en diciembre del año 1952, donde los altos niveles de contaminantes en la atmósfera producto del uso masivo de carbón, fueron asociados con un preocupante aumento en el número de muertos que llego a los 4000 (Rosales, et al., 2001).

El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas irritante generado principalmente en los procesos de combustión, cerca del 90 % de los óxidos de nitrógeno que se producen de esta forma, lo hacen en forma de óxido nítrico (NO), al momento de ponerse en contacto con el aire se oxida a NO_2 , este proceso dependerá de la temperatura y la concentración de NO en el aire, los efectos adversos en la salud humana van desde una inflamación leve en las mucosas bronquiales en concentraciones mínimas hasta producir bronquitis y otro tipo de enfermedades cuando estas aumentan (Ferrero, et al., 2000). Por su parte el ozono como tal se distribuye en dos capas de la atmósfera, en la estratósfera se ubica a 25 km de la superficie y es el encargado en filtrar los rayos ultravioleta, por el contrario una parte se encuentra próximo al suelo y se origina a partir de reacciones químicas que se producen en la tropósfera a partir de otros contaminantes o también llamado compuesto precursores por acción de las luz solar, este proceso fotoquímico se ejecuta de forma natural por las emisiones de plantas y seres vivos, manteniéndose niveles bajos, el problema se presenta al momento en que los niveles de contaminación aumenta, ocasionando que los niveles de ozono aumenten, las consecuencias de concentraciones altas en el ser humano se presentan como afecciones de tipo respiratorias por largos periodos de exposición, en el caso de

la vegetación incide en una disminución en el crecimiento de la plantas y sensibilidad afecciones de tipo biológico como plagas y enfermedades (Mantilla, et al., 2015).

El avance de las tecnologías, como son las herramientas computacionales y los sistemas de información geográfica, han permitido mejorar la representación espacial de distintas variables (Quevedo y Sánchez, 2009), como es el caso de los contaminantes en estudio, esto se realiza tomando como base la información registrada por las estaciones de monitoreo, a partir de esta información base y con el apoyo de métodos de interpolación se puede generar la información necesaria del comportamiento de los contaminantes en las zonas donde no se pudo medir (Borrego, et al. 2010), disminuyendo los tiempos de entendimiento e interpretación; uno de estos interpoladores es el IDW (Inverse Distance Weighted) este método genera los valores faltantes aplicando una combinación de ponderación lineal a partir de los puntos iniciales, de esta forma la relación de un punto con otro declina con la distancia del nuevo punto (Barón, 2003).

El presente trabajo de investigación busca generar cartografía temática de la dispersión del NO₂ y el ozono troposférico y la relación que existe entre estos contaminantes, a partir de la implementación del modelo de interpolación IDW para el perímetro urbano de la ciudad de Riobamba, la información generada será una herramienta útil que permitirá determinar cómo estos contaminantes se distribuyen en la urbe y si sus concentraciones se encuentran en rangos que afecten a la población.

1.2.- Justificación

El creciente aumento del parque automotor y las industrias en general en la ciudad de Riobamba ha conllevado que los niveles de contaminación en ciertas zonas de la urbe también lo hagan, por este motivo el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Riobamba, ha instalado estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos del perímetro urbano de la ciudad, estas son las encargadas del registro de las concentraciones de los contaminantes obteniéndose información mensual de dichos puntos, dicha información es explícita para la zona donde fue tomada, los altos costos que conlleva realizar este tipo de monitoreo hace que el número de estaciones sea mínimo, en este caso tienen ubicadas seis estaciones; tres de estas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba, esto ocasiona que no se pueda tener una idea clara de cómo varían las concentraciones de los contaminantes en los lugares donde no se han realizado mediciones.

El presente trabajo técnico busca a través del uso de los sistemas de información geográfica generar esta información y poder representarla a través de mapas o cartografía temática, mediante el empleo de modelos de interpolación como el modelo IDW (Inverse Distance Weighted), mismo que no requiere de un número alto de información, el cual se ajusta a información que se tiene, las cuales son mínimas en relación al área de estudio que se desea abarcar, los contaminantes elegidos son el NO₂ al ser un contaminante primario generado principalmente por los automóviles, además de ser un precursor del segundo contaminante en estudio el ozono troposférico; la información generada permitirá mejorar la interpretación y el análisis de la distribución de los contaminantes, además de la relación existente entre ambos ya que el NO₂ es un precursor de O₃, de esta forma se obtiene un trabajo integral que permitirá a los gobiernos locales tomar las mejores decisiones que permitan disminuir las concentraciones de estos contaminantes en post de mejorar la calidad de vida de los habitantes.

1.3.- Objetivos de la investigación

1.3.1.- Objetivo general:

- Diseñar el modelo de dispersión de ozono troposférico de la ciudad de Riobamba para el año 2015.

1.3.2.- Objetivos específicos:

- Generar una base de datos para NO₂, Ozono troposférico, radiación solar y temperatura del área de estudio.
- Implementar el modelo IDW para la generación de mapas temáticos.
- Elaborar un análisis de la velocidad y dirección del viento para el periodo de estudio.
- Realizar un análisis estadístico de las variaciones de concentraciones de NO₂ y Ozono troposférico, en relación con los parámetros meteorológicos en estudio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La atmósfera

La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve la superficie de la Tierra, esta se extiende aproximadamente a unos 80 km de altitud de la mismas, esta es responsable de que exista vida en la Tierra como las conocemos, por su conformación protege al planeta de la perjudicial radiación ultravioleta proveniente del sol; entre los componentes de la atmósfera está el oxígeno, elemento vital para la función respiratoria para los seres vivos, quienes a su vez, producto de la respiración suministran de dióxido de carbono a las plantas de donde obtenemos los alimentos, además posee vapor del agua mediante el cual es posible los fenómenos de condensación y precipitación que dan lugar al ciclo hidrológico (Ledesma, et al., 2011).

2.1.1. *Composición*

La composición se ha visto modificada desde su origen primitivo, formándose a partir de la actividad volcánica (instante en el cual existían mínimas concentraciones de oxígeno) evolucionando hasta alcanzar las características actuales; es importante mencionar que los elementos contaminantes que forman parte de su composición corresponden a un proceso que atiende a las características temporales de un lapso de tiempo dado, esto se da desde la existencia misma del ser humano. La atmósfera se encuentra formada por distintos gases y su composición fluctúa en función de la altura formando diferentes capas, las cuales cuentan con características específicas y se estratifican de forma sucesiva (Solís, et al., 2003. p. 191), como se muestra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2. Composición de la atmósfera

Capa	Altura	Características	Temperatura
Tropósfera	10-16 km.s.n.m	Forma parte del 95% del aire del planeta, está compuesta por N (78%), O ₂ (20%) y otros gases como Ar, He, Kr, Xe, CO ₂ , y vapor de agua	De 15 a -56 °C La temperatura disminuye 1 °C por cada 200 m de altitud
Estratósfera	16-50 km.s.n.m	El N y el O ₂ disminuyen Constituida principalmente por O ₃ que absorbe la energía ultravioleta, aumentando la temperatura	-56 a -2 °C
Mesósfera	50-85 km.s.n.m	Capa inestable en la cual se producen nubes luminiscentes formadas por polvo envuelto en hielo	-2 a -96 °C
Exósfera	A partir de los 500 km.s.n.m	Formada por una capa de hielo rodeada por otra capa de hidrógeno	

Fuente: Solís, et al., (2003)

La capa de interés para el presente estudio será la tropósfera, debido a que en este espacio se hallan los contaminantes en estudio, al mismo tiempo que es donde se encuentra el aire disponible para los seres vivos, esta es la primera capa de la atmósfera, es decir la que se encuentra en contacto directo con la superficie terrestre, se expande una media de 10 km de altura aproximadamente, mientras que en el ecuador alcanza un máximo de 16 km en los polos esta llega a los 8 km (Chalacán, 2009. p. 26). La composición básica de la tropósfera se muestra en la tabla 2-2.

Tabla 2-2. Composición de la tropósfera

Componente	Concentración %
Nitrógeno (N)	78.03
Oxígeno (O ₂)	20.99
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.03
Argón (Ar)	0.94
Neón (Ne)	0.00123
Helio (He)	0.0004
Criptón (Kr)	0.00005
Xenón (Xe)	0.000006
Hidrógeno (H)	0.01
Metano (CH ₄)	0.0002
Óxido Nitroso (NO ₂)	0.00005
Vapor de agua (H ₂ O)	Variable
Ozono O ₃	Variable
Partículas Suspendedas	Variable

Fuente: Dickson, (2003)

2.2. Calidad de Aire

La calidad del aire se define como un parámetro a través del cual es posible saber la composición y concentración de contaminantes presentes en la atmósfera, que, debido a su naturaleza, capacidad de difusión y concentración ocasionan múltiples problemas ambientales, además toma en cuenta la relación existente entre la contaminación del aire y los efectos que estos tienen en la salud de la población. Las tres herramientas principales para evaluar la calidad del aire son:

- Monitoreo del ambiente
- Modelos
- Inventario o medición de emisiones (OMS, 2004)

Estas herramientas de evaluación son interdependientes en alcance y aplicación; por lo tanto, el monitoreo, la elaboración de modelos de simulación y la evaluación de las emisiones serán concebidos como componentes que se relacionan en un enfoque integral para estudiar la exposición o determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire (Astudillo, 2012).

En el Ecuador el Acuerdo 050 emitido por el Ministerio del Ambiente, ente regulador de la calidad ambiental en el Ecuador, tiene por objeto preservar la salud de la población, precautelar el bienestar del ecosistema y el ambiente en general. En el mismo acuerdo se hallan los límites máximos permisibles de contaminantes de aire a nivel del suelo. Dicha norma incluye la metodología y procedimientos específicos de ensayo consignados a la medición de contaminantes ambientales.

Generalmente la calidad del aire se determina por medio de los niveles de inmisión que vienen conceptualizados como la concentración media a de un contaminante presente en el aire durante un periodo de tiempo determinado. La unidad en que se expresan normalmente estos niveles son microgramos de contaminante por metro cubico de aire, medidos durante un periodo de tiempo determinado (Marcano, 2006).

2.3. Contaminación del Aire

La principal causa de la contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y ceniza generados por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de producción de energía, esta condición empeoró con el aumento del uso del automóvil. Con el pasar de los años, se produjeron episodios importantes de afección a la salud pública a causa del aumento de la contaminación en el aire en ciudades como Londres, Inglaterra y Los Ángeles, en los Estados Unidos (OMS, 2004).

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de las zonas urbanas, se la considerada como una condición primordial, misma que se refiere a las alteraciones en la conformación físico o química de la atmósfera por la existencia de materia o energía en cualquiera de los estados físicos y formas que al incorporarse al aire modifica o cambia su composición y condición natural, provocando un desequilibrio ecológico, en cantidades y con duración que pueda afectar la vida humana, de animales y plantas (Solís, et al., 2003).

La contaminación del aire es una condición en la cual una sustancia se encuentra en exceso respecto a su concentración ambiental normal que degrada la calidad de la atmósfera y tiene un impacto medible en la calidad del aire, en el ecosistema o en la salud humana; los contaminantes atmosféricos se conforman de diversos gases, como el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), Ozono (O₃), Metano (CH₄), compuestos clorados (CFC's. HCFC's), entre otros. De la misma forma se consideran contaminantes sólidos al polen, polvos, y otros contaminantes como microorganismos (hongos, bacterias) vapores, humos; las concentraciones de estos contaminantes, su dispersión y

persistencia en la atmósfera están en función de su composición física y química, así como de las condiciones meteorológicas y topográficas predominantes en el lugar donde se generan las fuentes de emisión (Solís, et al., 2003).

Debido a que el Ecuador se encuentra en vías de desarrollo, las colonias metropolitanas están en inmutable crecimiento lo que conlleva el incremento de la contaminación atmosférica. Las fuentes de contaminación en el país son: Los vehículos con el 76%, fuentes naturales como volcanes con el 15%, Industria 5% y generación eléctrica con el 4%. (Barberán, 2017)

2.3.1. Clasificación de los contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos se clasifican de la siguiente manera:

2.3.1.1. Por su origen

2.3.1.1.1. Contaminantes primarios

Son aquellos emitidos de manera directa a la atmósfera como resultado de un proceso de tipo natural o antrópico, estos contaminantes forman parte de la atmósfera en la misma forma en que fueron emitidos como son CO₂, CO y SO₂, NO_x, partículas de polvo, entre otros. (Sánchez, 2015).

2.3.1.1.2. Contaminantes secundarios

Estos contaminantes se generan en la atmósfera como consecuencia de reacciones entre los contaminantes primarios o estos con los compuestos que de forma natural están presentes en la atmósfera como es el caso del O₃ y los sulfatos. Es importante acotar que si bien se sabe el efecto que pueden producir el ozono en la salud y el aumento en las concentraciones, hasta el momento han sido pocos los estudios enfocados a generar la información de la dispersión del contaminante (Sánchez, 2015).

2.3.1.2. Por su estado físico

2.3.1.2.1. Gases

Incluyen humos y vapores que no se depositan y que permanecen en la atmósfera, pueden transformarse progresivamente en formas más simples o más complejas (Sánchez, 2015).

2.3.1.2.1. Partículas

Lo conforman partículas sólidas y líquidas como son polvo, humo y cenizas cuyo tamaño pueden variar de las 500 hasta las 0.002 micras, las de mayor tamaño se depositan al poco tiempo y distancia de ser generadas, por su parte las partículas más pequeñas pueden mantenerse por periodos largos y ser transportadas por el viento a mayores distancias (Sánchez, 2015).

2.3.1.3. *Por su composición química*

2.3.1.3.1. Orgánicos

Son aquellos que su estructura está conformada por hidrógeno y carbono, como son los hidrocarburos y sus derivados (Sánchez, 2015).

2.3.1.3.2. Inorgánicos

Son compuestos que no contienen carbono en su composición, excepto los simples como son CO y CO₂, así como partículas metálicas y NO_x (Sánchez, 2015).

2.3.2. *Principales fuentes de contaminación*

Es primordial acotar que el comportamiento de los contaminantes está directamente relacionado a los factores climáticos y topográficos, además de la fuente emisora del cual se generan; el control de estos debe ejecutarse desde su origen, por ello es importante determinar cuáles son sus fuentes las cuales se presentan a continuación:

2.3.2.1. *De acuerdo a su origen*

2.3.2.1.1. Naturales

Son todos los procesos o fenómenos de emisión que se dan en los ecosistemas sin que exista la intervención del hombre y son resultado de la acción de eventos geológicos, meteorológicos y metabólicos. Dentro de estos podemos mencionar las erupciones volcánicas, tolvánicas, incendios forestales naturales, procesos erosivos; por su parte la vegetación contribuye a este tipo de contaminación a través del polen e hidrocarburos, lagos alcalinos y pantanos (Bracho, et al., 2003).

2.3.2.1.2. Antropogénicas

Este tipo de fuentes son aquellas que se producen por emisiones resultantes de las actividades humanas, como lo son las industriales, actividades agrícolas, quema de combustibles (carbón vegetal o mineral, hidrocarburos, biomasa), vehículos, cría de ganado entre otras (Bracho, et al., 2003).

2.3.2.2. *Por su movilidad*

2.3.2.2.1. Fuentes fijas

Se refiere a todas las instalaciones establecida en un solo sitio que tenga como objetivo desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales de servicios o de actividades que generan emisiones contaminantes a la atmósfera, entre estas fuentes tenemos las minas, industrias, cementeras, etc. (Romero, et al., 2009).

2.3.2.2.2. Fuentes móviles

Abarcan equipos y maquinarias no fijas, como los motores de combustión y similares, que debido a sus operaciones generan o puedan generar emisiones de contaminantes hacia la atmósfera, en este grupo se incluyen a los automóviles, camionetas, camiones de carga y el transporte público en general (Romero, et al., 2009).

2.3.2.3. *Por su distribución espacial*

2.3.2.3.1. Fuentes puntuales

Son fuentes donde la totalidad de las emisiones contaminantes a la atmósfera, son establecidas a nivel de cada establecimiento, esto hace posible monitorear en ellas el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente para cada lugar, permitiendo actualizar el inventario de fuentes de forma constante, dentro de este tipo de fuentes están, la industria de la metalurgia, automotriz, avicultura, producción ganadera (Solís, et al., 2003).

2.3.2.3.2. Fuentes de área

Son aquellas fuentes distribuidas en una zona específica, cuyas emisiones particulares no es posible evaluar y cuantificar de forma precisa. En forma individual emiten cantidades específicas, sin embargo, en conjunto tienen una gran relevancia. A partir de estas consideraciones dentro de

las fuentes que podemos mencionar se encuentran los locales comerciales, de servicio y hogares, rellenos sanitarios, distribución y almacenamiento de gasolina, limpieza y desagüe, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de energía móviles (Solís, et al., 2003).

2.3.3. Dispersión de los contaminantes

Los contaminantes son transferidos a la atmósfera en zonas específicas (fuentes de emisión), la dispersión de los mismos es un proceso que tienen lugar en la atmósfera y cuya consecuencia es la disminución de la concentración de contaminantes respecto a la que existía en el momento de la emisión, de esta forma podemos establecer los siguientes parámetros (UJAEN, 2009):

- **Niveles de emisión.** Concentración del contaminante en el foco donde se produce (fuente)
- **Niveles de inmisión.** Concentración del contaminante en otro lugar. Tiene mayor interés analítico en cuanto a efectos.

2.3.3.1. Parámetros que influyen en la dispersión

En la dispersión de los contaminantes influyen dos tipos de parámetros:

2.3.3.1.1. Parámetros de la fuente

Dentro de estos parámetros se debe tener en cuenta factores como la altura de la fuente, a mayor sea la altura de esta menor será la concentración superficial. Cuando se trata de fuentes de altura menor como el tráfico vehicular, los edificios circundantes tendrán una gran influencia, ya que las emisiones de los vehículos quedaran atrapadas en los cañones de aire que se forman en las calles (UJAEN, 2009).

2.3.3.1.2. Parámetros meteorológicos

Influyen directamente en la dispersión de los contaminantes ya que determinan el estado y movimiento de las masas de aire, de esta forma dificultaran o facilitaran la dispersión de los contaminantes, dentro de estos parámetros tenemos: la velocidad y dirección del viento, así como la estratificación térmica, radiación solar, presión atmosférica, entre otras (UJAEN, 2009).

2.3.3.1.2.1. Temperatura

La temperatura es un parámetro a tener en cuenta en el comportamiento de los contaminantes, a medida que la temperatura aumenta los gases se hacen más volátiles, ocasionando una mayor facilidad en su dispersión. Existen momentos puntuales en los que se genera capas frías por debajo de capas con mayor temperatura, a este fenómeno se lo conoce como inversión térmica, que limita la circulación vertical del aire, encerrando los contaminantes en áreas específicas. Este fenómeno se produce principalmente durante la noche al disminuir la radiación solar lo que ocasiona que el aire más cercano a la Tierra se enfríe con mayor velocidad y pudiendo permanecer hasta varias horas del día siguiente cuando la radiación solar aumenta la temperatura de estas capas inferiores rompiendo la inversión térmica (Sánchez, 2015).

2.3.3.1.2.2. Velocidad y dirección de los vientos

La variación del movimiento del aire juega un papel primordial en la dispersión de los contaminantes atmosféricos, el momento en que el viento se detiene puede ocasionar estancamiento con un aumento significativo de los contaminantes, de esta manera la velocidad del viento puede repercutir directamente de dos formas:

- Al aumentar la velocidad de los vientos se incrementan los procesos erosivos en zonas agrícolas y montañosas, originando una mayor presencia de partículas en el aire, por otro lado, si la velocidad de los vientos se mantiene constante o aumenta impide la deposición de estas partículas ocasionando que se mantengan en la atmósfera por más tiempo (Manahan, 2011).
- La dirección de los vientos determina la dispersión de los contaminantes, los cuales serán arrastrados en función de los movimientos de las masas de aire, generando la diseminación vertical y horizontal de estos. La dirección de los vientos se encuentra determinada por los vientos alisios y el efecto de los huracanes (Morales, et al., 2007).

2.3.3.1.2.3. La radiación solar

La radiación solar no influye directamente en la dispersión de los contaminantes, pero si en lo que se refiere a la contaminación fotoquímica, esta se produce a partir de la existencia en la atmósfera de contaminantes químicamente muy reactivos, los cuales, en presencia de radiación solar, dan lugar a nuevos contaminantes, conocidos como contaminantes secundarios (OMS, 2004).

2.4. Óxidos de nitrógeno

A nivel de la atmósfera existen siete compuestos diferentes de óxidos de nitrógeno cuya relevancia como contaminantes varía de forma notoria de unos a otros, estos son: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxido nitroso (N₂O), dióxido de dinitrógeno (N₂O₂), trióxido de dinitrógeno (N₂O₃), tetróxido de dinitrógeno (N₂O₄), y pentóxido de dinitrógeno (N₂O₅). En términos generales, el óxido nitroso es el compuesto más abundante de los mencionados, su escasa reactividad química (tiempo de vida estimado en la atmósfera 120 años) impide que se le considere como contaminante. Del resto, los más abundantes a nivel de la atmósfera son el NO y el NO₂, cuya suma se denota como NO_x, por su estrecha relación de interconversión (Pujadas, 2002).

El origen dominante de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera son los procesos de combustión, principalmente emitiendo monóxido de nitrógeno (NO). Éste es oxidado a dióxido de nitrógeno, según la ecuación (1) (Galán y Fernández, 2006).



2.4.1. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El NO₂ es uno de los contaminantes más peligrosos, debido a su carácter irritante y porque este se descompone por medio de luz solar de acuerdo con el tipo de reacción (2); la formación de oxígeno atómico, que es muy reactivo, transforma el oxígeno en ozono reacción (3). En lo que respecta al 67% de las emisiones de NO₂ son de tipo antropogénico, de este porcentaje alrededor del 90% se genera en combustiones a elevadas temperaturas tanto de fuentes fijas como móviles (Molina, 2013).



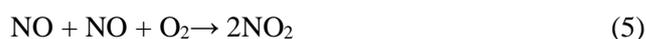
2.4.2. Óxido Nítrico (NO)

Es un gas incoloro e inodoro, tóxico cuando se encuentra en altas concentraciones, se encuentra presente en el aire en menos de 0.50 ppm, a pesar de esto en bajas concentraciones la tolerancia por parte de los seres vivos es aceptable. Bajo condiciones troposféricas la reacción 1 no es significativa, ya que continuamente en entornos urbanos los cuales contienen un índice considerado de contaminación por fuentes vehiculares el NO recién emitido consecutivamente es

oxidado por acción del ozono para generar NO₂, por tal motivo reduce de manera considerable la concentración del O₃ según la reacción (4) (Molina, 2013).



En episodios de smog de NO, con bajos niveles de ozono (< 30 ppb), Bower y Col afirman que el NO₂ es generado de la siguiente manera: (Galán y Fernandez, 2006)



2.4.2. Fuentes de Óxidos de Nitrógeno

Las más importantes fuentes artificiales de óxidos de nitrógeno son la combustión de carbón petróleo y gasolina, siendo los automóviles los que mayor contribución tienen en especial los motores de combustión a diésel los cuales emiten NO_x aproximadamente cuatro veces más que los motores a gasolina, estos compuestos son altamente reactivos y en conjunto con los compuesto orgánicos volátiles son precursores del ozono en la baja tropósfera, estas reacciones requieren de altas temperaturas y radiación solar en especial en la longitud de onda del ultravioleta; las concentraciones características de una atmósfera limpia rondan los 2 µg/m³, en los que respecta a atmósferas contaminadas las concentraciones son superiores a los 400 µg/m³ (Molina, 2013).

2.4.3. Efectos

2.4.3.1. Salud Humana

El dióxido de nitrógeno es un compuesto muy toxico, generalmente las concentraciones que se alcanzan en las ciudades no alcanzan rangos que pudiesen desencadenar efectos de consideración, cuando esto ocurre los efectos se centran en el aparato respiratorio, se ha determinado que al superar una concentración media de NO₂ de 190 ug/m³ en el 40% de los días, existe un incremento en las frecuencias de las infecciones de las vías respiratorias (Delgado, 2004).

Se ha determinado que el NO₂ ocasiona daños en el parénquima pulmonar, e incluso en concentraciones crónicas a concentraciones bajas el resultado es la generación de cambios patológicos similares a un enfisema pulmonar, además provoca la inhibición de la depuración mucociliar, la fagocitosis y la respuesta inmunológica en el pulmón, ocasionando una disminución

de la resistencia del pulmón ante las infecciones; otro efecto a tener en cuenta es el aumento a la sensibilidad pulmonar a los bronco constrictores, afectando de manera especial a las personas asmáticas; se puede generar también una sensación de ahogo y dolor en el pecho (Delgado, 2004).

2.4.3.2. Vegetación

Con lo que respecta a la vegetación el NO₂ presenta baja toxicidad frente a la vegetación en relación a los daños que puede ocasionar el ozono, a pesar de esto en concentraciones elevadas (niveles registrados en ciudades contaminadas) se han registrado daños como defoliaciones, clorosis, pérdida de producción en algunas especies y disminución del crecimiento; también puede afectar de forma indirecta, a través de reacciones químicas en la atmósfera o directamente tras ser precipitado en la vegetación, suelo o agua; cuando se trata de los efectos indirectos se debe tener en cuenta el papel que cumplen los óxidos de nitrógeno como precursores del ozono troposférico, este actúa como Fito toxina y gas de efecto invernadero, en el caso de ser directo es debido a sus efectos tóxicos, a la eutrofización y a la acidificación (Delgado, 2004).

2.4.3.3. Efectos al ambiente

Al ser un contaminante primario los efectos sobre el medio ambiente tienen mucha trascendencia, influye en la formación del smog fotoquímico, en las reacciones de formación de ozono estratosférico y destrucción del ozono troposférico; uno de los principales problemas que causa este contaminante es la acidificación del medio, debido a que a través de la lluvia, niebla o nieve ácida, se pierde la capacidad neutralizante del suelo y del agua acarreado como principal consecuencia el retorno a la superficie de la Tierra en forma de ácidos, los óxidos de azufre y nitrógeno que son descargados a la atmósfera (Baird, 2001).

La acidificación perjudica a los organismos acuáticos, ya que se ven afectados con la disminución del pH, por lo que se reduce la población de peces que habitan en lagos y ríos; este cambio afecta a la química del suelo lo que origina que se una diseminación de los metales tóxicos, produciendo lixiviados en el suelo, esta acidificación no solo afecta a la parte ambiental, si no al patrimonio histórico mismo que se va deteriorando principalmente cuando está formado por mármol y piedra caliza; otro problema que conllevan los óxidos de nitrógeno en el ambiente es la eutrofización, de los ecosistemas marinos por un exceso de enriquecimiento de sustancias nutritivas principalmente en ecosistemas marinos, lo que ocasiona un aumento considerable de fitoplancton o algas, que al no ser consumidos una vez muerto su acumulación ocasiona podredumbre, con una disminución drástica de la calidad del agua (Baird, 2001).

2.5. Ozono troposférico

El ozono es una sustancia que en la capa alta de la atmósfera protege a la Tierra de la radiación ultravioleta, que a nivel de la tropósfera se transforma en un contaminante de importancia, siendo uno de los principales causales de la contaminación por “smog” fotoquímico, además participa en un porcentaje considerable en el calentamiento global de la Tierra, cuya principal consecuencia es el efecto invernadero; el ozono troposférico es un típico contaminante secundario, debido a que su formación es producto a la reacción química de otros contaminantes con los componentes naturales en función a los niveles de radiación solar (Mantilla, et al., 2010).

Sustancias generadas por la industria pesada y el parque automotor, como el óxido nítrico, NO₂ y los compuestos orgánicos volátiles, bajo la acción de la luz solar, constituyen gran parte de la radiación fotoquímica en la tropósfera, este fenómeno se acrecienta en épocas de gran insolación con un régimen bajo de vientos (Mantilla, et al., 2010).

2.5.1. Formación de ozono troposférico

El ozono presente en las proximidades del suelo, debe su origen principalmente a las reacciones químicas que se producen en la propia tropósfera a partir de otros contaminantes, que reaccionan bajo la acción de la luz solar a lo que se le llama reacción fotoquímica, por lo que al ozono troposférico se lo denomina contaminante secundario, dichas reacciones se producen de forma natural por acción de las plantas y otros seres vivos por lo que siempre existirá una cierta concentración de ozono a nivel superficial (Galán y Fernández, 2006).

Otros mecanismos que pueden dar lugar a su generación, son las fuertes exposiciones a campos electromagnéticos como por ejemplo una tormenta eléctrica o por aporte de los niveles altos estratosféricos como intrusiones estratosféricas de energía, a pesar de esto, siguen siendo procesos puntuales, y ninguno de estos mecanismos es una causa real del aumento de las concentraciones de ozono superficial que se ha incrementado de forma pareja en conjunto con el desarrollo industrial (Mantilla, et al., 2010).

Dado que el ozono troposférico requiere de luz solar para su formación, los niveles de concentración presentan variaciones de acuerdo a la hora del día y la estación del año, de esta forma las mayores concentraciones de ozono se presentarán en los meses de primavera – verano, durante el día los niveles máximos de ozono se dan a partir del mediodía, cuando la radiación es más alta; con lo que respecta a la noche no se produce una reacción fotoquímica de ozono, ocurre todo lo contrario destruyéndose al reaccionar con otros compuestos químicos; se debe tener en

cuenta que en las zonas rurales donde el aire es más limpio y existe menos concentraciones de sustancias contaminantes, por lo tanto las concentraciones de ozono permanecerán relativamente altas en horas nocturnas (Mantilla, et al., 2010).

2.5.2. Efectos producidos por ozono

2.5.2.1. Salud humana

La contaminación por ozono troposférico, componente básico del smog se le considera un problema sin umbral, debido a que en pequeñas cantidades tiene efecto sobre la salud humana, de manera especial a los sistemas cardiovascular y respiratorio; la exposición al ozono ha sido asociada a la mortalidad prematura y una variedad de casos de morbilidad, con ingresos a hospitales y síntomas de asma, cálculos realizados por el ministerio de salud de Canadá determino que en centros urbanos casi 6000 muertos al año se le podía atribuir a la contaminación atmosférica cuyo componente predominante es el ozono troposférico (CEC, 2008).

Puede producir alteraciones biológicas en el organismo, ya que al ser un oxidante poderoso reacciona con una amplia gama de componentes celulares y materiales biológicos, este daño puede llegar a no producirse si los mecanismos de defensa y reacción del ser vivo amortigua dicha agresión, siempre a costa de un debilitamiento de las defensas del individuo, que lo dejan vulnerable a otras posibles agresiones ambientales. Los efectos inmediatos producidos por exposiciones intermitentes a concentraciones elevadas, puede resultar ser más pronunciadas que una continua, los daños se registran en distintas partes del tracto respiratorio, donde la magnitud de los daños depende de las características propias de cada individuo, de la propia concentración en el ambiente, del tiempo de exposición, los distintos niveles y el grado de ventilación (CEC, 2008).

2.5.2.2. Vegetación

Elevados niveles de concentración de ozono son responsables de daños visible en las hojas, disminución del crecimiento de las plantas y de las cosechas, así como de un aumento significativo en la sensibilidad al estrés tanto de origen biológico como plagas y enfermedades, como de otro tipo, esto pueden ser sequias o carencias nutricionales; el ozono penetra en las plantas a través de los estomas, lugar donde se realiza el intercambio de gases con el exterior, reaccionando de forma inmediata con los componentes celulares con los que entra en contacto, desbordando en ciertos casos las defensas naturales de los organismos; se han registrado daños estructurales a nivel de hojas y tallos, si el efecto es duradero se pueden ocasionar daños

fisiológicos que pueden derivar en una disminución neta de la fotosíntesis y en la capacidad de fijar CO₂ atmosférico, trayendo como consecuencia una reducción notoria del crecimiento de hojas, tronco, raíces y fruto (CEC, 2008).

2.6. Legislación Aplicable

2.6.1. Constitución de Republica

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados;

2.6.2. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Art. 1.- Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Art. 3.- Se sujetarán al estudio y control de los organismos determinados en esta Ley y sus reglamentos, las emanaciones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica.

Art. 4.- Será responsabilidad de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, en coordinación con otras Instituciones, estructurar y ejecutar programas que involucren aspectos relacionados con las causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.

2.6.3. Código Orgánico del Ambiente

2.6.3.1. Artículo 191. Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo.

La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

2.6.3.2. Ley de Gestión Ambiental Título I - Ámbito y principios de la ley

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 3.- El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Art. 4.- Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda, desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales.

En el sistema participará la sociedad civil de conformidad con esta Ley.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales.

2.6.3.3. *Acuerdo Ministerial 097-A* – Reforma al Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente

Se toma como referencia la legislación ambiental vigente ecuatoriana indicada en el acuerdo ministerial No. 097-A, Anexo 4 del libro VI, Registro oficial 387, del 4 de noviembre del 2015.

El Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente en el Libro VI De la Calidad Ambiental Anexo 4, denominado Norma de Calidad de Aire Ambiente (NCAA), consiste en una norma técnica dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, como objeto el Anexo 4 del TULSMA establece:

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades. La norma provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las emisiones al aire que se verifiquen desde procesos de combustión en fuentes fijas. Se provee también de herramientas de gestión destinadas a promover el cumplimiento con los valores de calidad de aire ambiente establecidos en la normativa pertinente.

2.6.3.3.1. *Ozono (O₃)*

La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un período de (8) ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/ m³), más de una vez en un año.

2.6.3.3.2. *Dióxido de nitrógeno (NO₂)*.

El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico (40 µg/ m³).

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

2.7. Interpolación Espacial

La interpolación es un conjunto de pasos que permiten modelar distintas variables espaciales, predecir su comportamiento, determinar radios de influencia y tiempos de duración de un fenómeno; también permite resolver problemas de decisión frente a procesos que se ven afectados por el comportamiento de ciertas variables, y en general, para proveer información ya sea sobre el presente o un futuro probable. La estimación de valores desconocidos en función a una muestra específica mediante técnicas de interpolación se lo realiza constantemente en varias áreas de la ciencia, además con frecuencia son indispensables en los procesos realizados en el arte de la investigación, en especial los que tiene que ver con las ciencias de la Tierra (Rangel, et al., 2002).

La interpolación espacial es el procedimiento que se utiliza para estimar valores de una o más variables en lugares donde no existe o no se conoce información a partir de mediciones en puntos ubicados en la misma área o región. Cuando la estimación de los valores de las variables se hace en lugares por fuera del área que cubren las mediciones tomadas, el proceso se llama extrapolación (Rangel, et al., 2002).

2.7.1. Tipos de interpolación

La interpolación espacial proporciona varias metodologías para ejecutar el análisis de los datos espaciales, de ahí su diferenciación, dividiéndose en dos tipos: la Interpolación Geoestadística y la Interpolación Simple; ambas metodologías podrán generar estimaciones globales o locales y tienen tanto interpoladores exactos como aproximados, la diferencia entre estas radica en los supuestos que se hacen en cada una, en el número de parámetros de decisión que intervienen y en la predicción del error de estimación (Rangel, et al., 2002).

2.7.1.1. Interpolación simple

El principio de generación de datos se basa en la continuidad de los datos, donde en un proceso dado, la razón de cambio es constante y como mínimo se deben conocer dos valores, de lo contrario se hace imposible conocer el error de la estimación (Rangel, et al., 2002).

2.7.1.2. Interpolación geoestadística

Su ejecución requiere de métodos exploratorios y de interpolación, estos métodos requieren un conocimiento mínimo de estadística, pues cuando existe variaciones irregulares en los datos, la muestra es representativa y/o la interpolación simple arroja resultados incoherentes con la realidad, los métodos geoestadísticas proporcionan estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación. Paralelamente, proporcionan una herramienta denominada semivariogramas que permite explorar y obtener una mejor comprensión de los datos, además se tiene el control para crear las mejores estimaciones basadas en la información disponible, permitiendo la toma de decisiones óptimas (Rangel, et al., 2002).

2.7.2. Modelos de Interpolación

2.7.2.1. IDW (Inverse Distance Weighted)

Se lo considera un modelo de interpolación determinista, emplea los puntos muestrales que se ubican en la vecindad de cada punto no muestral para estimar su valor, se caracteriza por ser exacto, donde los valores máximos y mínimos dentro del área de estudio se ubicaran solamente en los puntos muestrales, ya que asume que las cosas que están más cercas son más parecidas que las que se encuentran más lejos (López, 2014). Este modelo le asigna pesos a los datos en función inversa de la distancia que existe entre los datos, esto quiere decir que cuanto más cerca se encuentre el punto a interpolar de sus puntos vecinos, tendrán más peso. Es considerado un interpolador local y por lo tanto es muy preciso al generar la malla. Su uso no resulta complicado y no requiere de muchos recursos informáticos (Osorio, 2010).

2.7.2.2. Kriging

El método de interpolación Kriging indica que entre la dirección y distancia existente entre los datos hay una correlación espacial, la cual sirve para modelar una variable, ajustándola a un modelo teórico con el cual se proporcionará el error y la confianza que se puede dar a los datos interpolados, dependiendo del modelo que se utilice para ajustar los datos. Luego se asignan pesos, los cuales están en función de la interrelación que exista entre los puntos (Osorio, 2010).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

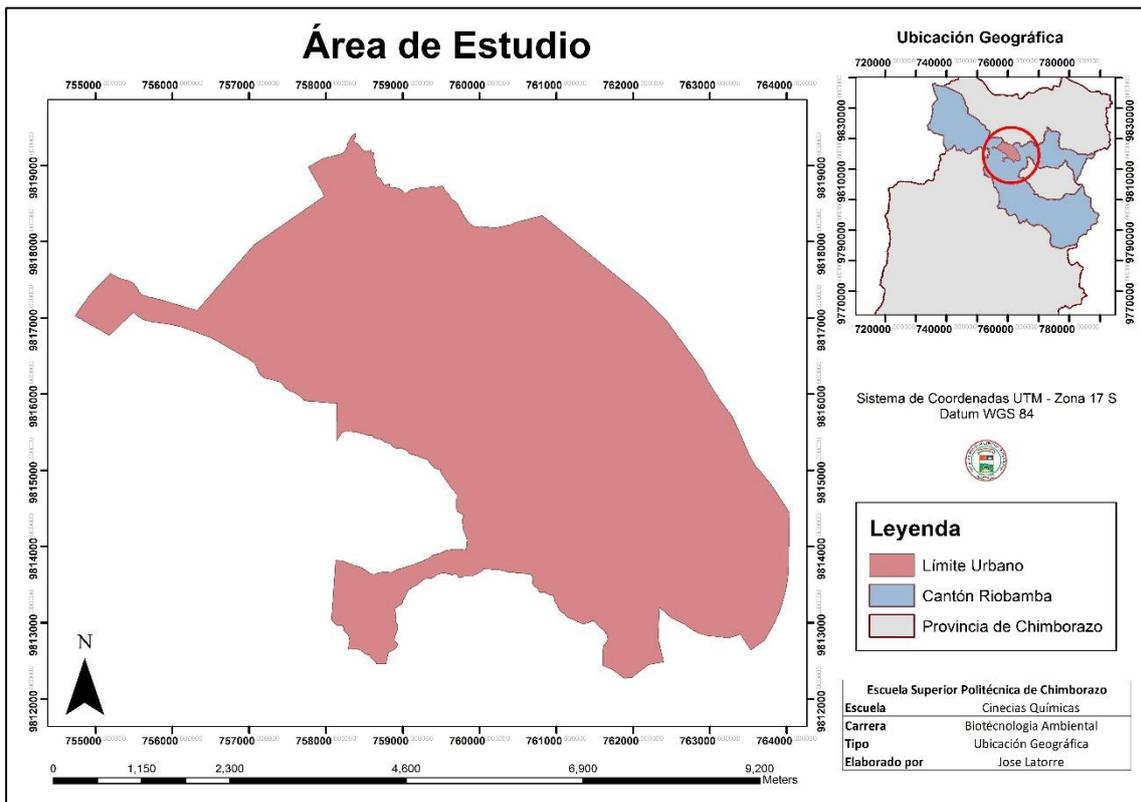
3.1. Zona de estudio

El área de estudio se ubica dentro del perímetro urbano del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo

3.1.1. Ubicación geográfica del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba

Coordenadas proyectadas: Datum Wgs 84 - Zona 17S (Mapa 1-3)

$x = 774932$ $y = 9827050$ altitud = 2483 m.s.n.m



Mapa 1-3. Mapa de ubicación geográfica

Elaborado por: Latorre, J (2017)

3.1.2. Lugar de la investigación

El desarrollo del trabajo técnico se realizó en la ciudad de Riobamba, los modelos de interpolación se realizaron en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ciencias.

3.1.3. Materiales

Software ArcMap 10.2.2, WRPlot View 8.0, IBM Spss Statistics 20.0 informes de monitoreo de NO₂ y Ozono troposférico, registros de temperatura y radiación solar global, información cartográfica del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba y computador.

3.2. Tipo de investigación

El trabajo técnico es de tipo teórico y práctico; primero se investigó el modelo de interpolación adecuado para los parámetros establecidos y se identificó la relación existente entre los mismos; posteriormente se implementó el modelo seleccionado y se realizó la interpretación de los resultados obtenidos.

3.2.1. Esquema del proceso

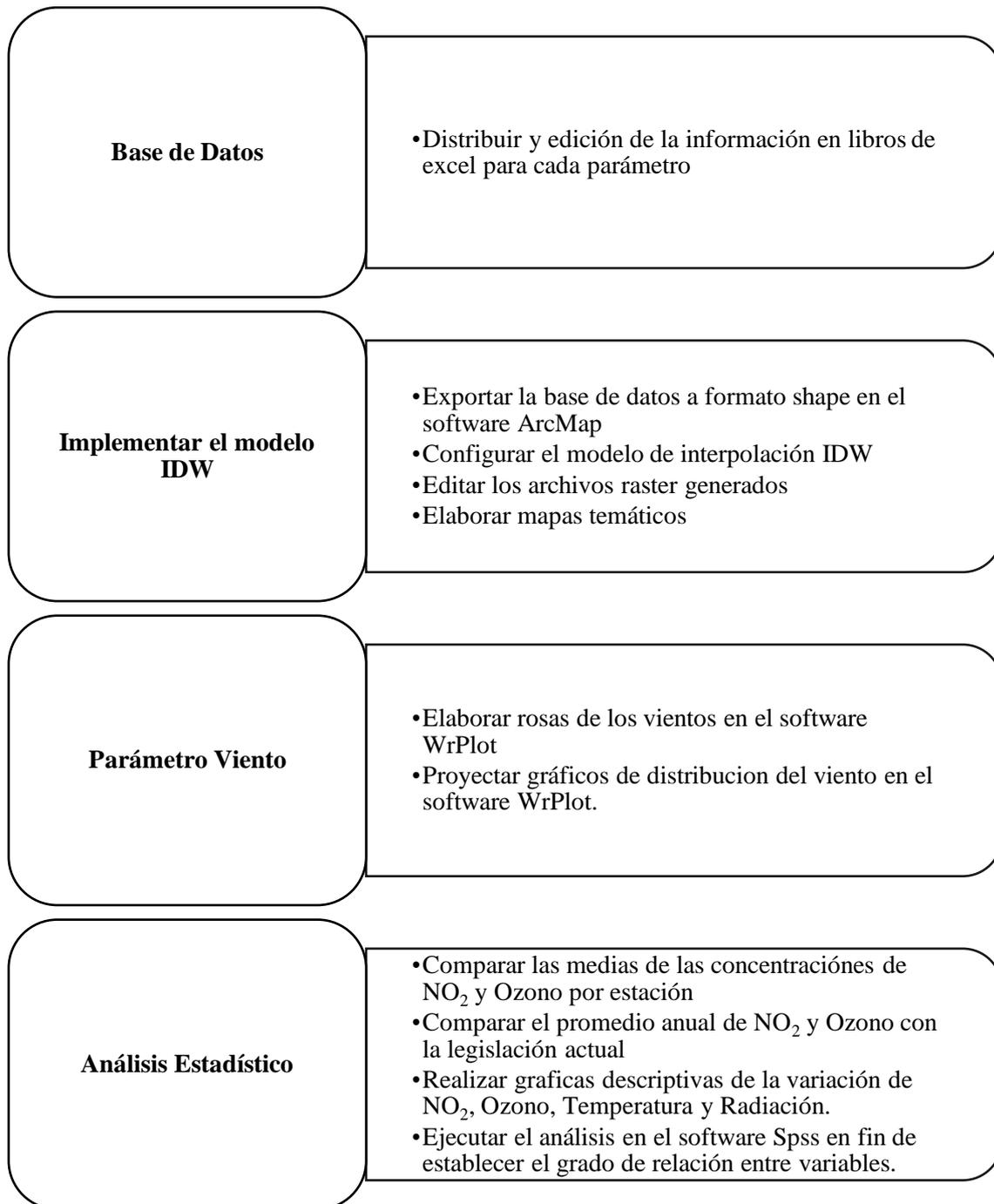


Gráfico 1-3. Esquema del proceso

Elaborado por: Latorre, J (2017)

3.2.1.1. Procedimientos

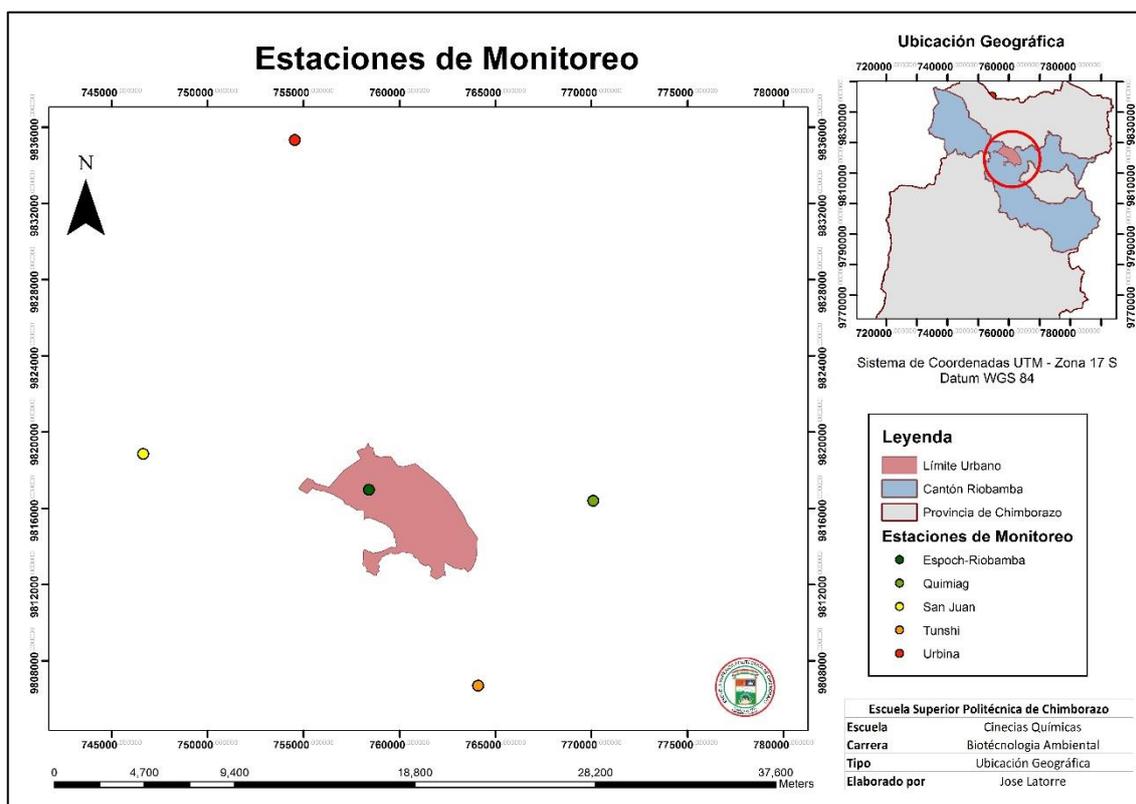
3.2.1.1.1. Parámetros de temperatura y radiación

Los parámetros de temperatura y radiación se obtuvieron de las estaciones meteorológicas (Tabla 1-3) pertenecientes al Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Mapa 2-3), mismos que se editaron obteniéndose el promedio medio para los meses que se contemplaron en este estudio, con esta información se generó una base de datos independiente para temperatura y radiación.

Tabla 1-3. Estaciones meteorológicas

Id	x	y	Descripción
1	746640	9818849	San Juan
2	758398	9816965	ESPOCH – Riobamba
3	770083	9816392	Quimiag
4	764087	9806678	Tunshi
5	754533	9835326	Urbina

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 2-3 Estaciones de monitoreo para radiación y temperatura

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

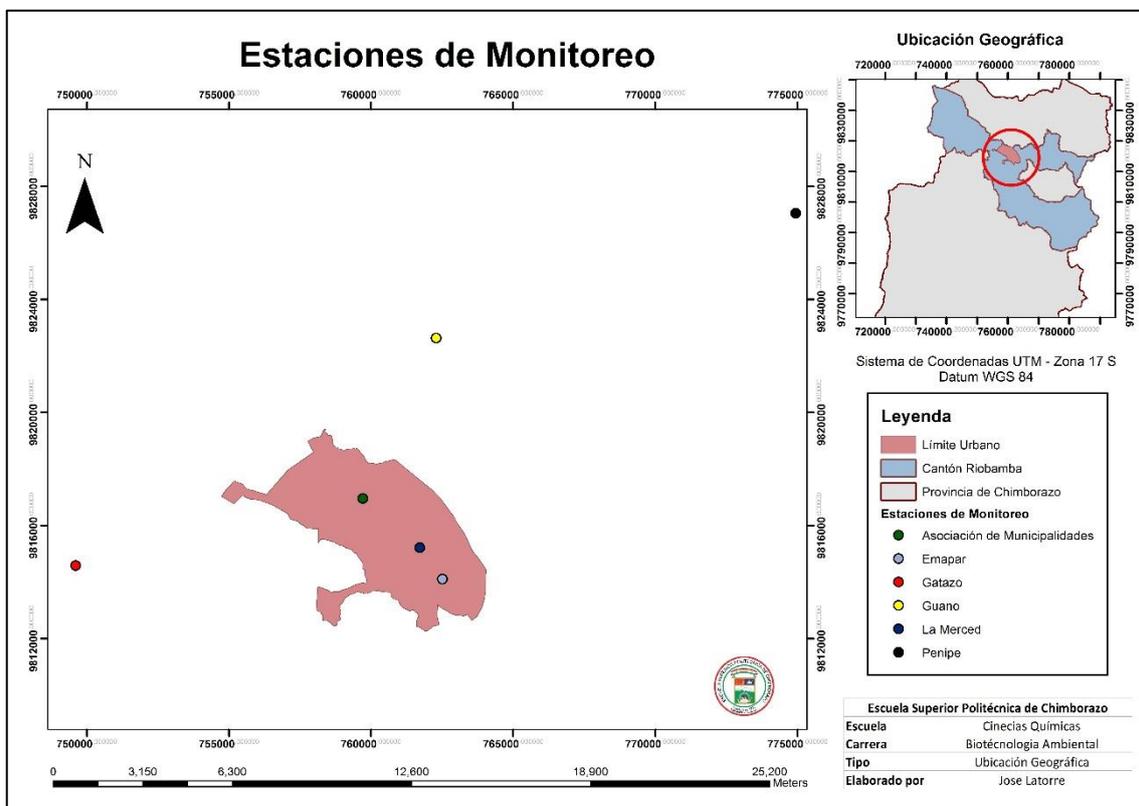
3.2.1.1.2. Concentraciones de NO₂ y Ozono

Las concentraciones de NO₂ y Ozono fueron facilitadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Riobamba, a través de la Dirección de Gestión Ambiental e Higiene; estos datos fueron obtenidos por la red de monitoreo de la institución que consta de seis estaciones (Tabla 2-3) (Mapa 3-3).

Tabla 2-3. Estaciones de monitoreo de NO₂ y Ozono

Id	x	y	Descripción
1	759711	9816958	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	EMAPAR
3	749611	9814587	Gatazo
4	762285	9822634	Guano
5	774932	9827050	Penipe
6	761710	9815217	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)



Mapa 3-3. Estaciones de monitoreo para NO₂ y O₃

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.2.1.1.3. Implementación del Modelo IDW

El proceso de implementación del modelo de interpolación permite estimar valores de áreas donde no existe información a partir de datos muestrales, obtenidos generalmente por estaciones de monitoreo; se seleccionó el modelo IDW (6) debido a la falta de puntos de muestro, ya que este modelo basa la generación de las áreas a partir de las distancias entre los puntos de muestreo, a diferencia de métodos de interpolación estadísticos como el Kriging que requieren de una mayor cantidad de datos para su implementación:

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (6)$$

- (S_o) = La ubicación de la predicción
- $Z(S_i)$ = El valor medido en la ubicación i
- λ_i = Una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i
- N = La cantidad de valores medidos (López, 2014).

El modelo IDW se aplicó para la obtención de los mapas de temperatura, radiación, NO_2 y Ozono, este proceso conlleva básicamente dos etapas, mismas que se describe a continuación:

1. Exportar la información de Excel a formato shapefile

Se exportó cada una de las coordenadas de las estaciones de monitoreo en el software ArcMap 10.2.2 con las respectivas concentraciones de NO_2 – Ozono y los parámetros climáticos de temperatura y radiación, para cada una de estas variables de genero un shapefile independiente (Anexo A – Figura 1).

2. Configuración del modelo IDW

Se utilizó la herramienta **Geostatistical Analyst**, esta se activó en la barra de menú, en la opción **customize/toolbars/Geostatistical Analyst**, dentro de esta opción se seleccionó **Geostatistical Wizard**, en la ventana que se activó se configuro los siguientes parámetros: **Deterministic methods** se seleccionó **IDW**; **Source Dataset** se seleccionó el Shape file de puntos generado; **Data Field** se seleccionó la columna que contiene la variable a ser interpolada, para este estudio **Z** (Anexo A – Figura 2) (Rodríguez, 2014), clic en next.

En la siguiente ventana se verificó a partir de la vista preliminar que nos presenta la herramienta como se interpolara la variable seleccionada, los vecinos que se consideraron para los cálculos de los valores desconocidos van hacer los puntos de muestreo que se encuentran dentro del perímetro urbano, tomando en cuenta la estación más cercana, se verificó esto (Anexo A – Figura 3); clic en next.

La última ventana del proceso (Anexo A – Figura 4) nos presentó un resumen estadístico de las variables procesadas, donde se indica el error de la predicción, este dependió de la variación de los datos en las estaciones de monitoreo.

Finalizado el proceso, el resultado final es una imagen raster que contiene la información generada por el modelo, misma que abarco el área que ocupan las estaciones de monitoreo (Anexo – Figura 5); este proceso se repitió para todas las variables en estudio.

En lo que respecta al proceso interpolación para NO₂ y Ozono se realizó un procedimiento extra, debido a que por la ubicación de las estaciones de monitoreo no se pudo abarcar en su totalidad el perímetro urbano, para esto en el software se utilizó la función **Processing Extent/Extent/Same as layer Limite Urbano** (Anexo A – Figura 6); el resultado fue un archivo raster cuya interpolación se extiende hasta el contorno del límite urbano (Anexo A – Figura 7) (ESRI, 2017).

3.2.1.1.6. Creación de mapas temáticos

Los raster de interpolación se generaron para cada una de las variables en estudio, se editaron a partir del Shapefile del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba; para una mejor interpretación de los resultados se agruparon en un solo mapa las 4 variables en estudio con sus respectivos rangos, para cada mes, esto permitió visualizar de mejor manera el comportamiento de las mismas (Anexo A – Figura 8).

3.2.1.1.7. Elaboración de la rosa de los vientos

Se utilizaron los datos de velocidad y dirección del viento del año 2015 registrado en la estación meteorológica del Centro de Energías Alternativas y Ambiente ubicada en la ESPOCH, estos datos se ingresaron en el software WRPLOT VIEW y se generó la gráfica (rosa de los vientos) donde se mostró la frecuencia de la ocurrencia, dirección y la velocidad del viento, además se realizó un gráfico estadístico de las frecuencias para cada mes en estudio, el procedimiento

implementado se efectuó de acuerdo a lo mencionado por (Ramírez y Vivanco, 2014), y se describe a continuación.

- 1) Se elaboró un archivo en excel, especificando el año, mes, día, hora, velocidad y dirección del viento (Anexo A – Figura 9).
- 2) Se importó el archivo excel y se procedió a llenar los nombres de las columnas pertenecientes a: año, mes, día, hora, dirección del viento y velocidad del viento (Anexo A – Figura 10)
- 3) Se insertó la información correspondiente a la estación meteorológica, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: código de la estación, ciudad, estado, latitud, longitud, zona horaria y elevación de la estación (Anexo A – Figura 11).
- 4) Con esta información se creó automáticamente un archivo tipo .Sam, archivo generado por WRPLOT VIEW, este archivo corresponde a la evaluación de los datos ingresados al programa (Anexo A - Figura 12).
- 5) A partir de este archivo el software generó la rosa de los vientos, la cual tiene dos tipos de visualización de la dirección del viento (desde donde proviene el viento, o hacia donde se dirige) y un gráfico de distribución de frecuencia del viento (Anexo A - Figura 13).

3.2.1.1.8. Análisis estadístico de las concentraciones de NO₂ y Ozono

El análisis estadístico se realizó a partir de la comparación de la concentración de los promedios y los valores máximos - mínimos anuales de cada una de las estaciones, para determinar si las concentraciones analizadas se encuentran dentro de los rangos establecidos por la legislación actual. Se comparó la variación de la media mensual para el área de estudio en el año establecido para la presente investigación, esta información se plasmará a partir de Gráficos de Barras realizados en Microsoft Excel

3.2.1.1.9. Coeficiente de correlación de Pearson

Se determinó la relación existente entre los contaminantes, para esto se implementó el coeficiente de correlación de Pearson (7) en el software estadístico IBM SPSS 20.0, el coeficiente mide el grado de asociación lineal que existe entre dos variables, el valor r obtenido se encuentra en un rango de -1 y +1, será positivo de existir una relación directa, en este caso los valores aumentarían

al mismo tiempo, por el contrario se obtendrá un valor negativo si las variables presentan una relación inversa, en este caso mientras una disminuye la otra aumentará (Díaz y Fernández, 2002).

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (7)$$

- r = Coeficiente de correlación Karl Pearson.
- $x = X - \bar{X}$
- $y = Y - \bar{Y}$ (Rodríguez, 2007).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Base de datos para NO₂, ozono troposférico, temperatura y radiación

A partir de la información recolectada se realizó una base de datos por mes para cada una de las variables en estudio, en las tablas 1-4, 2-4, 3-4 y 4-4 se muestra la información para el mes de marzo, las restantes se encuentran en el apartado de anexos (Anexo B).

Tabla 1-4. Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno - marzo

Id	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Estación de monitoreo
1	86.25	Asociación de municipalidades
2	4.93	EMAPAR
3	54.52	Gatazo
4	50.54	Guano
5	16.22	Penipe
6	24.79	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

Tabla 2-4. Concentraciones de Ozono - marzo

Id	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Descripción
1	11.92	Asociación de municipalidades
2	19.88	EMAPAR
3	10.9	Gatazo
4	23.11	Guano
5	15.2	Penipe
6	18.63	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

Tabla 3-4. Base de datos de radiación - marzo

Id	W/m²	Descripción
1	146.79	San Juan
2	197.14	ESPOCH-Riobamba
3	178.42	Quimiag
4	190.26	Tunshi
5	146.29	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

Tabla 4-4. Base de datos de temperatura - marzo

Id	°C	Descripción
1	10.93	San Juan
2	13.75	ESPOCH-Riobamba
3	13.36	Quimiag
4	13.75	Tunshi
5	7.61	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.2. Mapas de dispersión para NO₂, ozono troposférico, temperatura y radiación

4.2.1. Marzo

En el mes de marzo la mayor concentración de NO₂ se registró en la zona norte de la ciudad (Mapa 1-4), en la estación ubicada en la asociación de municipalidades con 33.62 µg/m³, la concentración más baja fue 11.69 µg/m³ en la estación de monitoreo EMAPAR ubicada en la zona sur de la ciudad, en lo referente al Ozono las concentraciones altas y bajas variaron registrándose la mayor concentración en la estación de EMAPAR con 56.79 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades con 38.43 µg/m³ y 39.87 µg/m³ respectivamente, estos valores concuerdan con lo reportado por Querol (2008), que dice que las concentraciones de NO₂ están en función de las emisiones producidas por el tráfico vehicular, esto se aplica en la estación de mayor concentración donde se tiene una presencia vehicular alta durante todo el día; en lo referente a la temperatura no se presentó una variación significativa dentro del perímetro urbano, la radiación solar entre estaciones tuvo una variación media de 4 W/m². (Gráfico 1-4).

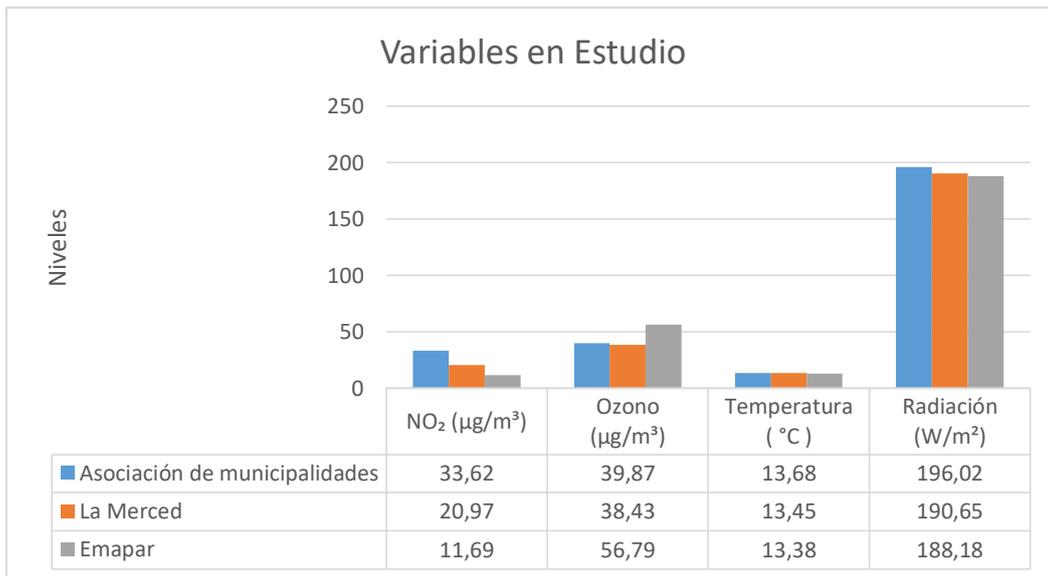


Gráfico 1-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

En el mes de Marzo del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 2-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 64,9%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 12.5% entre 2.1 - 3.6; 11.2% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 1.7%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 9.5% y una velocidad promedio mensual de 1.69 m/s (Gráfico 3-4).

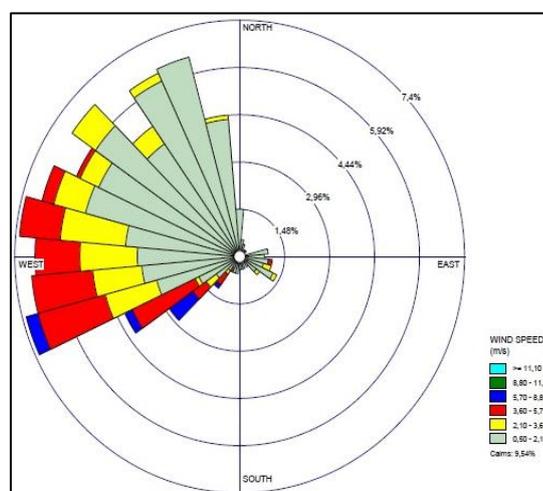


Gráfico 2-4. Rosa de los vientos - marzo

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

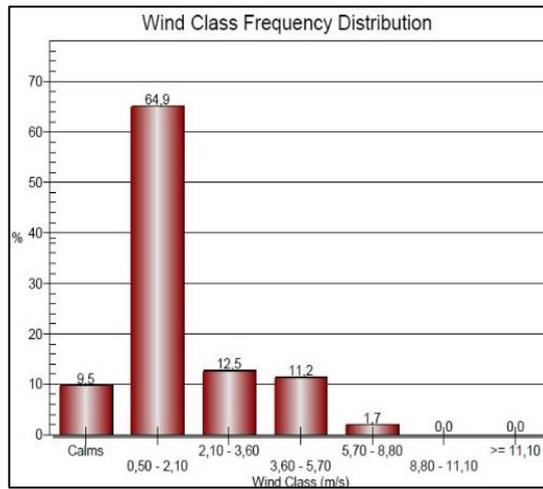
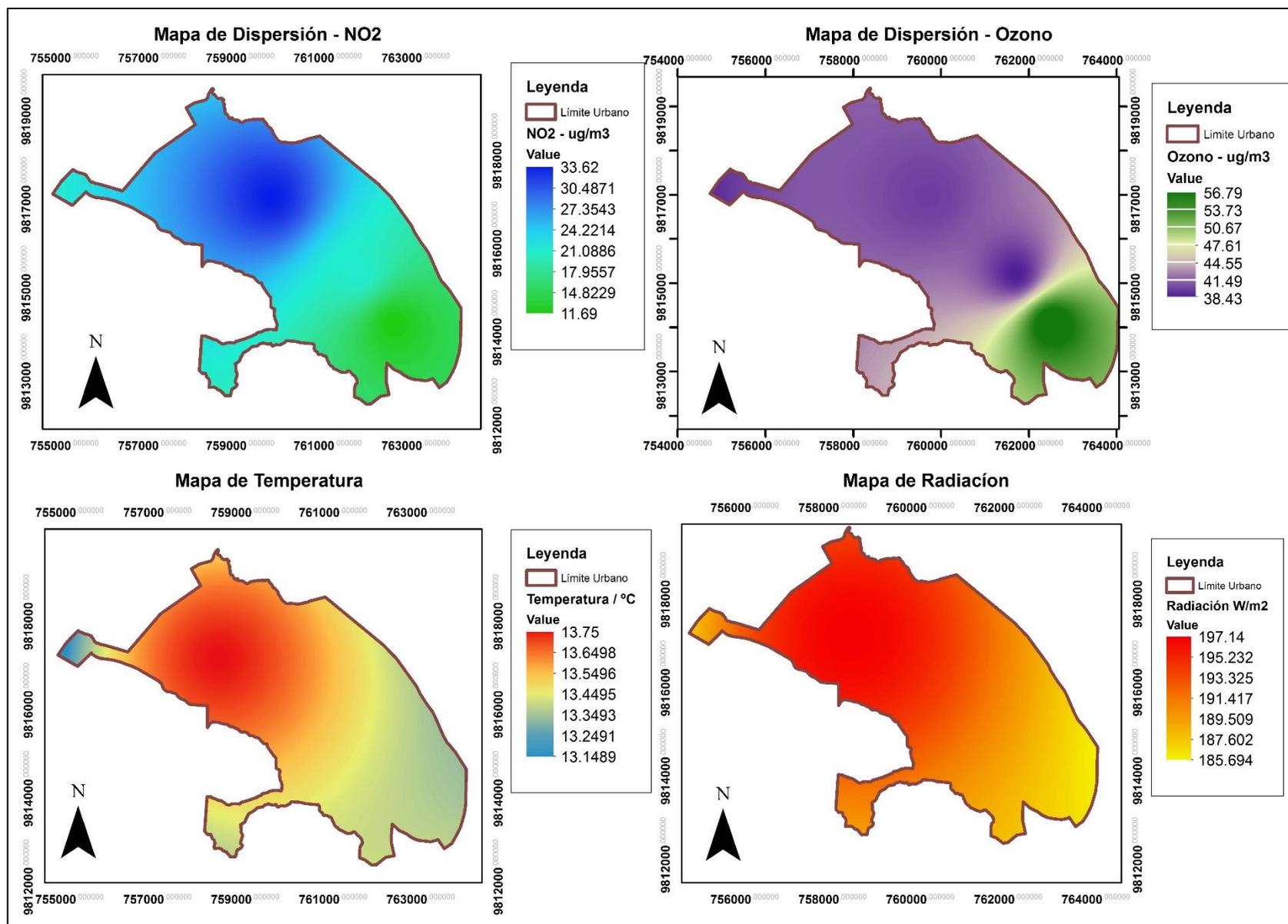


Gráfico 3-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - marzo

Elaborado por: Latorre, J. (2017)



Mapa 1-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - marzo
 Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.2. Abril

Para el mes de abril la mayor concentración de NO₂ se presentó en la zona norte de la ciudad (Mapa 2-4), en la estación Asociación de Municipalidades con 30.58 µg/m³, la concentración más baja fue 13.25 µg/m³ en la estación EMAPAR en la zona sur del perímetro urbano, en lo que respecta a las concentraciones de Ozono variaron en relación al NO₂, como lo menciona Alonso et al. (2009) el cual manifiesta que los óxidos de nitrógeno es un contaminante precursor del ozono troposférico, de esta forma se registró la mayor concentración en el sector de EMAPAR con 32.5 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades con 28.81 µg/m³ y 25.07 µg/m³ en cada una de las estaciones antes mencionadas, la diferencia entre las concentraciones de las estaciones fue mínima, siendo esta de 3.74 µg/m³; con lo que respecta a temperatura no se presentó una variación significativa dentro del perímetro urbano, la radiación solar entre estaciones tuvo una variación media de 5.45 W/m². (Gráfico 4-4).

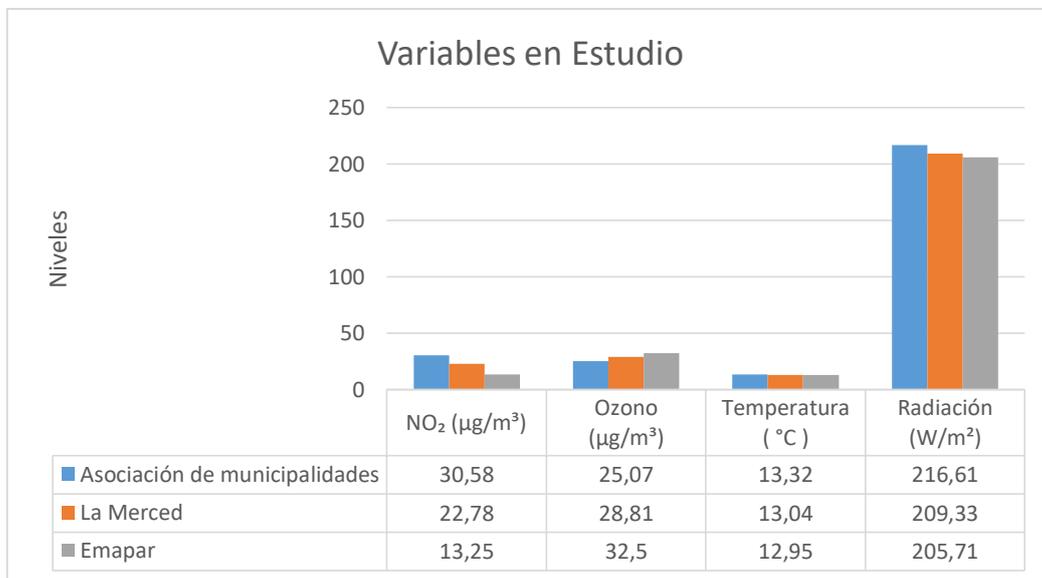


Gráfico 4-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Abril del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 5-4); en sentido Noroeste (NW), se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 62,2%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 12.5% entre 2.1 - 3.6; 14.3% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 3.6%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 7.2% y una velocidad promedio mensual de 1.92 m/s (Gráfico 6-4).

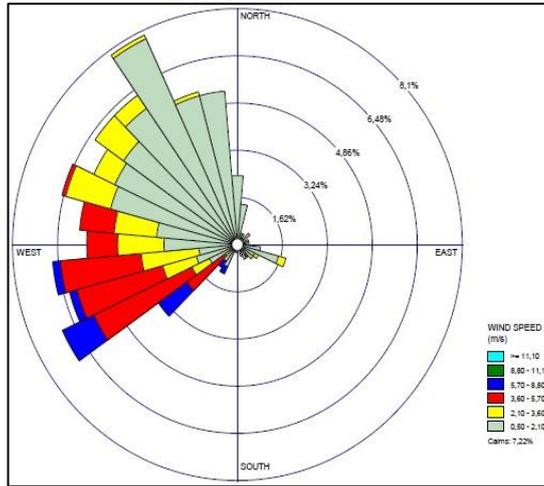


Grafico 5-4. Rosa de los vientos - abril

Elaborado por: Latorre, J (2017)

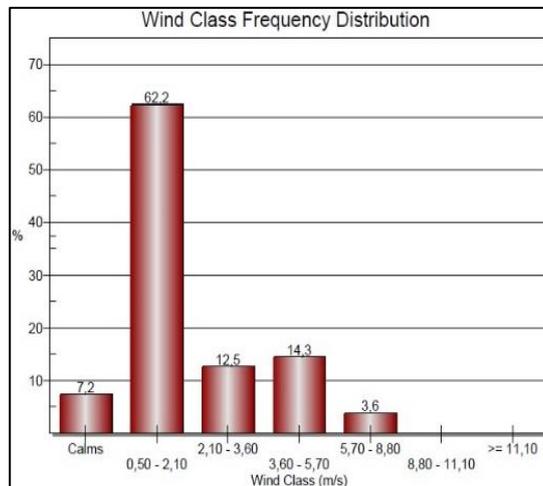
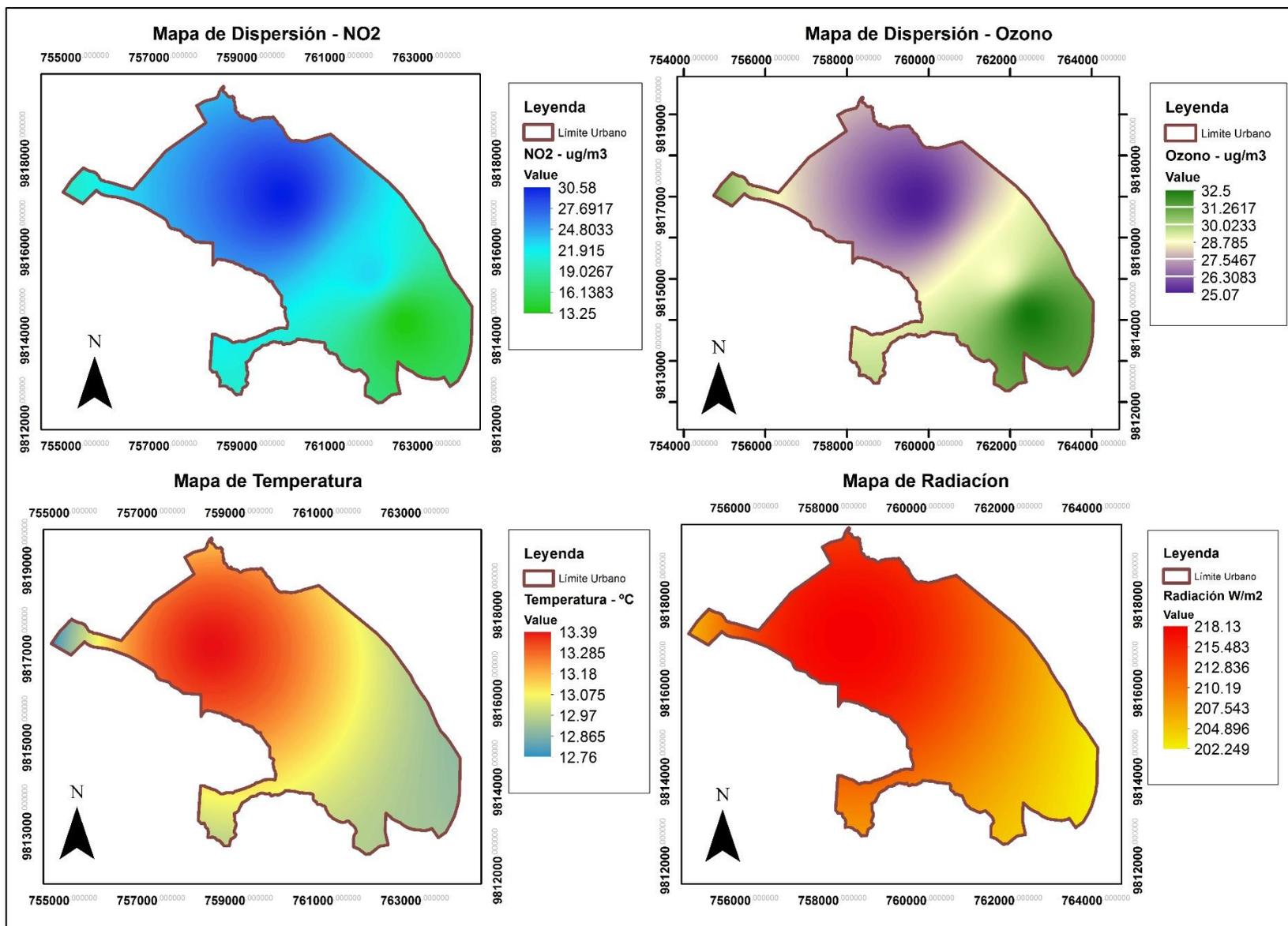


Grafico 6-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - marzo

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 2-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - abril

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.3. Mayo

La mayor concentración de NO₂ en el mes de mayo se presentó en la zona norte de la ciudad (Mapa 3-4), misma que posee una mayor incidencia de tráfico vehicular, en el caso del NO₂ como lo reporta Montero (2011), las fuentes móviles contribuyen con el 81% de las emisiones de los óxidos de nitrógeno, esto se vio representado en la estación Asociación de Municipalidades con un 45.4 µg/m³, la concentración más baja fue de 11.63 µg/m³ en la estación La Merced en la zona centro del perímetro urbano, las concentraciones de Ozono variaron con respecto al NO₂, se registró la mayor concentración en el sector de EMAPAR con 20 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de Municipalidades con 15.18 µg/m³ y 17.17 µg/m³, en este mes la diferencia entre las concentraciones de las tres estaciones no fue tan acusada; con lo que respecta a temperatura no se presentó una variación significativa, la variación de la radiación solar fue mínima, registrándose la mayor cantidad de radiación en la estación Asociación de Municipalidades (Gráfico 7-4).

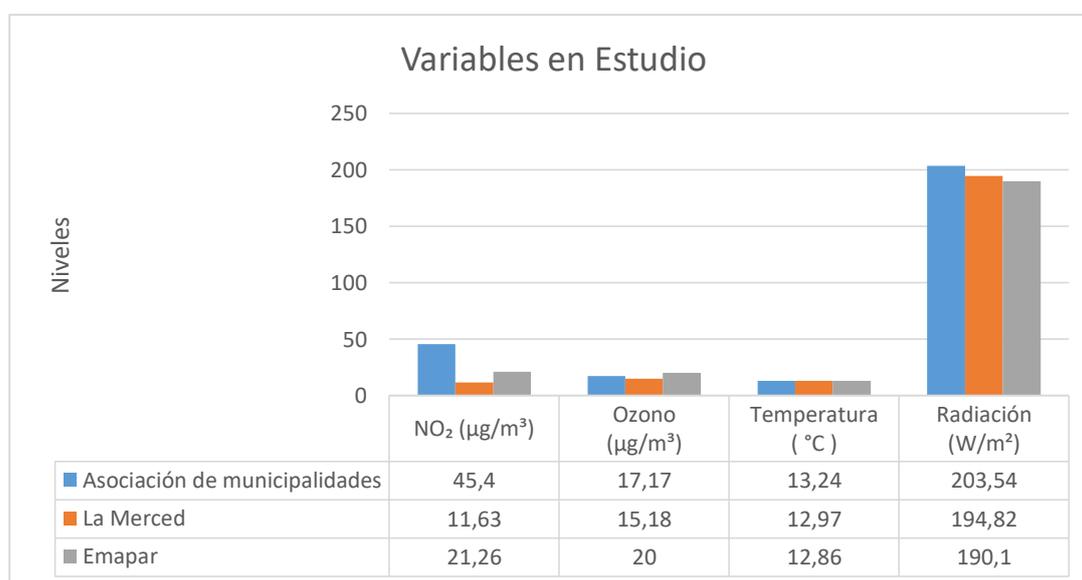


Gráfico 7-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Mayo del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 8-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 63,6%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 11.2% entre 2.1 - 3.6; 14.2% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que

alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 4.6%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 6.32% y una velocidad promedio mensual de 1.97 m/s (Gráfico 9-4).

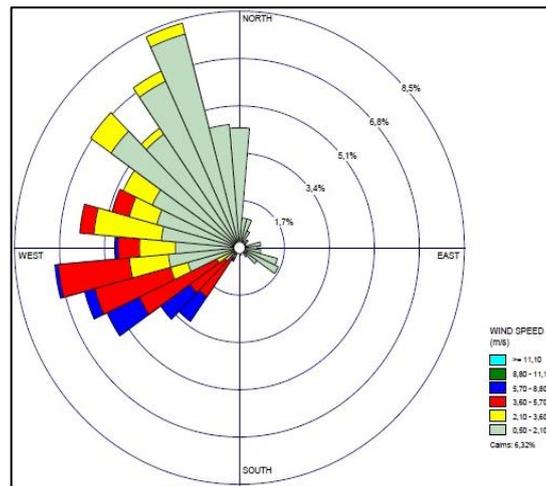


Gráfico 8-4. Rosa de los vientos - mayo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

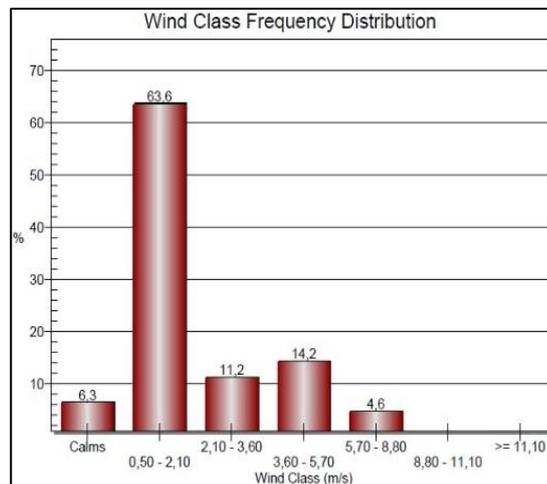
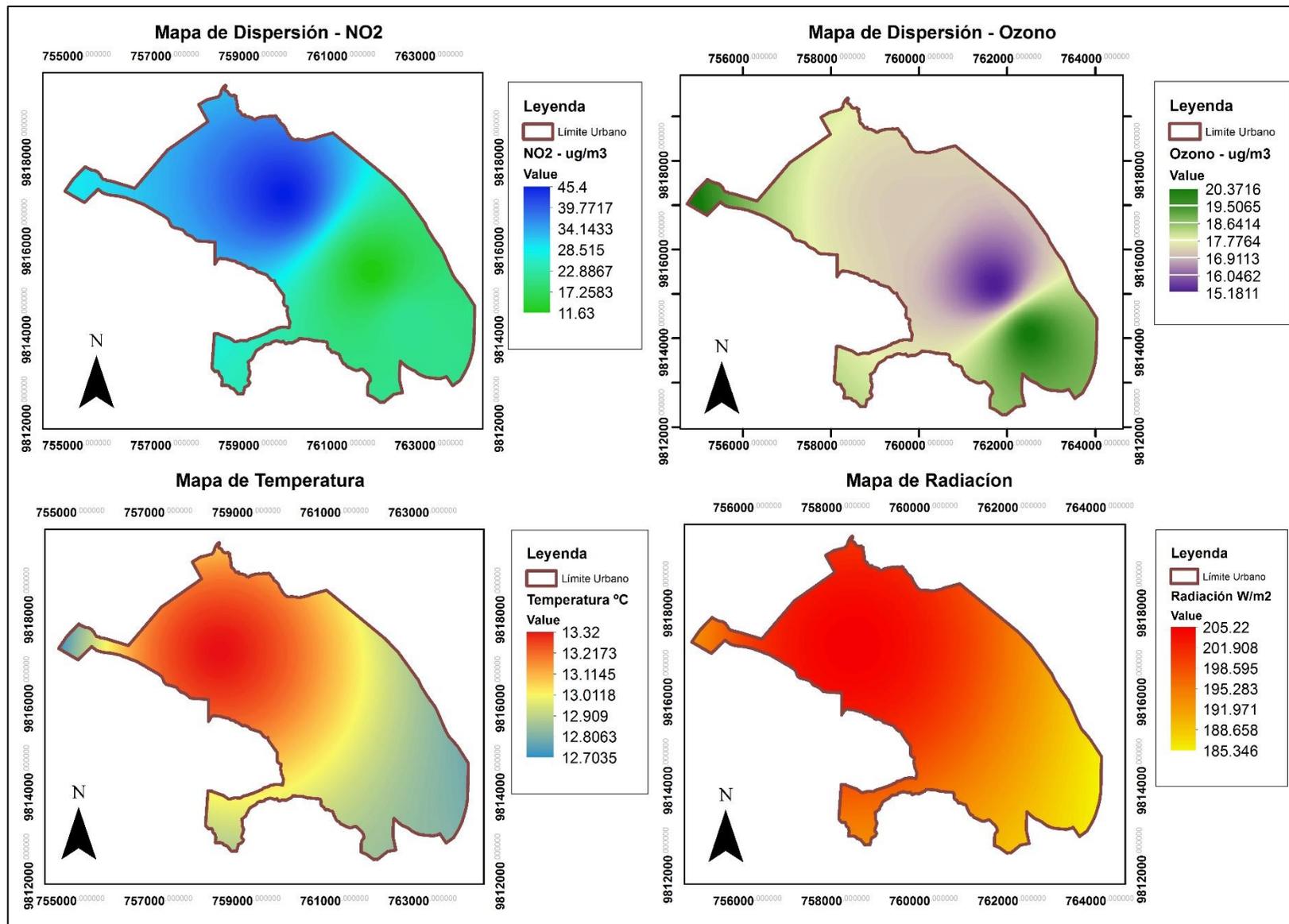


Gráfico 9-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - mayo

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 3-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - mayo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.4. Junio

En el mes de junio la mayor concentración de NO₂ se presentó en la zona norte de la ciudad (Mapa 4-4), en la estación Asociación de Municipalidades con 15.55 µg/m³, la concentración más baja fue de 6.07 µg/m³ en la estación EMAPAR en la zona sur del perímetro urbano, se podría decir que entre esta estación y La Merced las variación del contaminante es imperceptible ya que aquí fue de 6.49 µg/m³, las concentraciones de Ozono tuvieron una variación respecto al NO₂, se registró la mayor concentración en el sector de EMAPAR con 24.38 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades con 13.27 µg/m³ y 20.43 µg/m³ concordando con lo mencionado por IDEAM (2014) que mientras que el NO₂ participa en la formación del O₃, el NO presente en zonas urbanas lo destruye razón por la cual se observó una diferencia notoria entre las concentraciones registradas entre la estación de EMAPAR y La Merced; la temperatura no registro una variación significativa, la variación de la radiación solar no fue significativa, el valor más alto se presentó en la estación Asociación de Municipalidades (Gráfico 10-4).

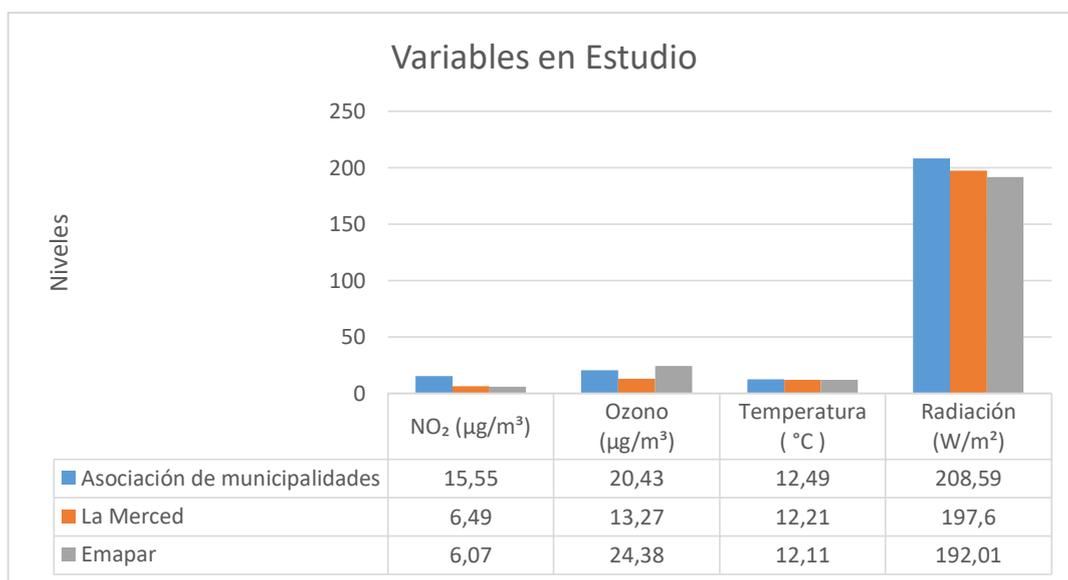


Gráfico 10-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Junio del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 11-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 58.1% en conjunto con velocidades dirigidas al este con muy poca reiteración, se divisa un incremento de velocidad en

medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 12.5% entre 2.1 - 3.6; 17.9% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 5.6%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 5.83% y una velocidad promedio mensual de 2.16 m/s (Gráfico 12-4).

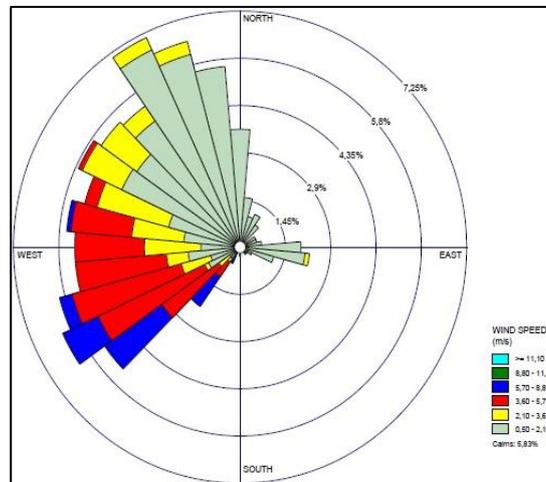


Gráfico 11-4. Rosa de los vientos - junio

Elaborado por: Latorre, J (2017)

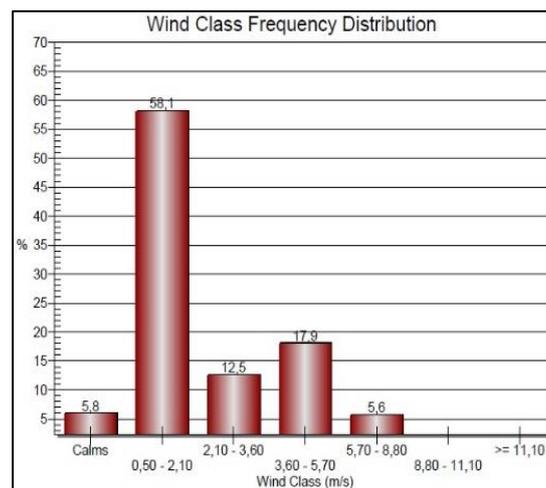
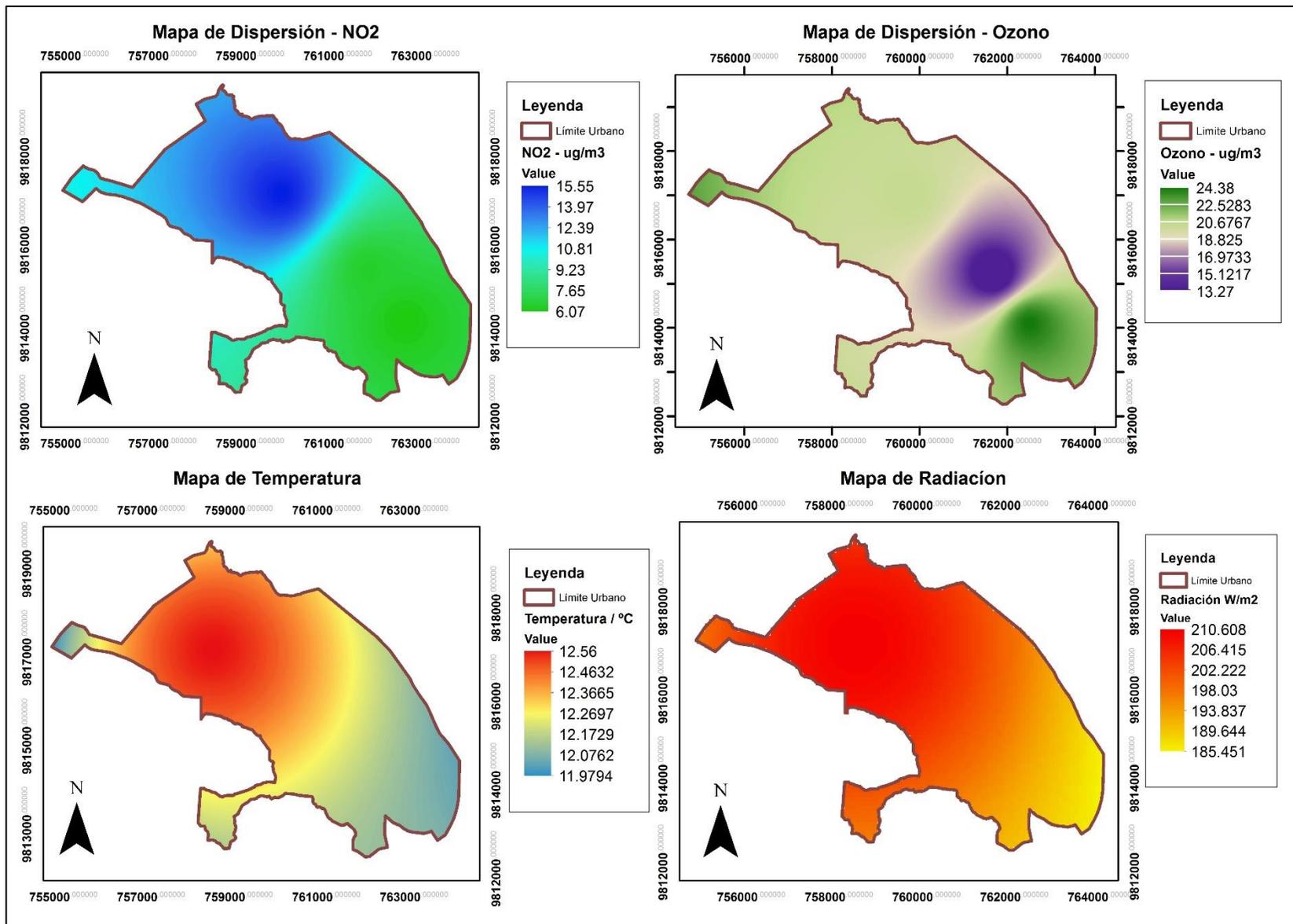


Grafico 12-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - junio

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 4-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - junio
 Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.5. Julio

Las concentraciones de NO₂ en el mes de julio presentaron su mayor registro en la zona norte de la ciudad (Mapa 5-4), en la Asociación de Municipalidades con 4.66 µg/m³, la concentración más baja fue de 1.82 µg/m³ en la estación EMAPAR en la zona sur del perímetro urbano, las concentraciones de Ozono variaron con respecto al NO₂, se registró la mayor concentración en el sector de EMAPAR con 11.19 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades con 7.8 µg/m³ y 6.71 µg/m³, este mes registro lo valores más bajos tanto para NO₂ como para ozono en los meses de estudio coincidiendo con el mes en el cual obtuvo vacaciones la mayoría de unidades educativas, disminuyendo así el tráfico rodado como lo menciona Bañón y Beviá (2000); por su parte los niveles de temperatura como radiación solar no presentaron una diferencia significativa entre los valores registrados para el perímetro urbano (Gráfico 13-4).

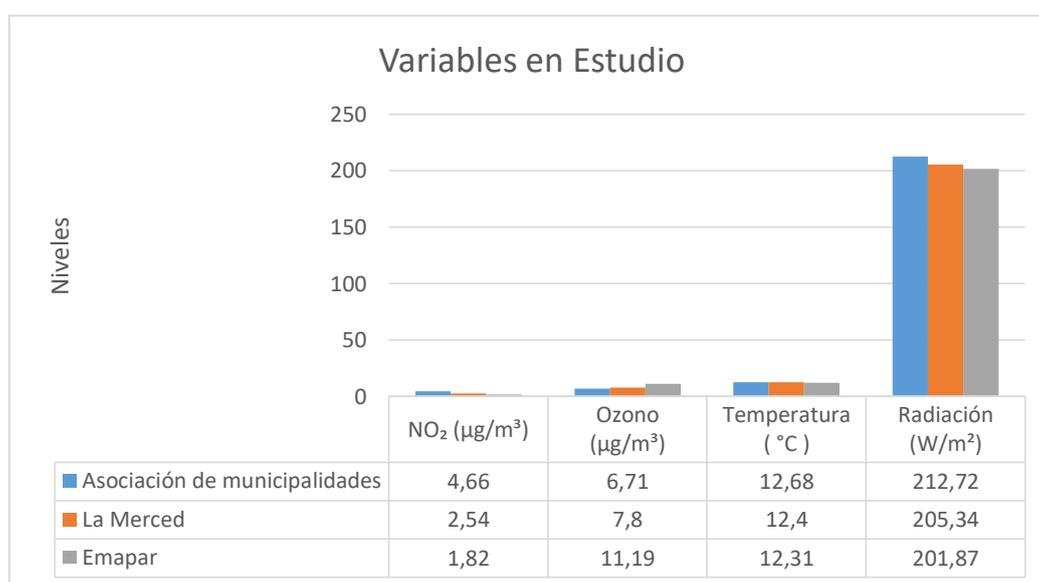


Gráfico 13-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Julio del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 14-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 60.7%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 11.3% entre 2.1 - 3.6; 16.1% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que

alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 5.9%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 5.8% y una velocidad promedio mensual de 2.14 m/s (Gráfico 15-4).

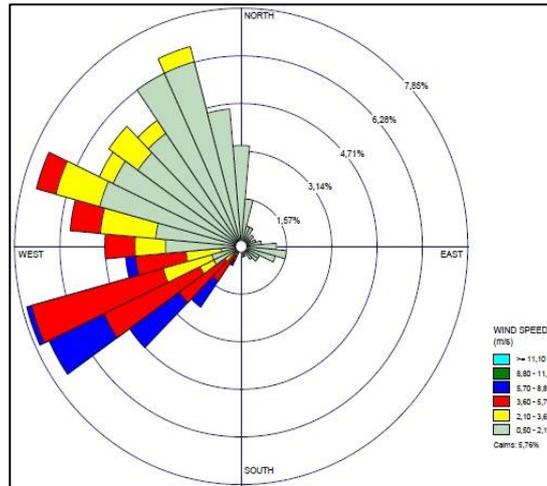


Gráfico 14-4. Rosa de los vientos - julio

Elaborado por: Latorre, J (2017)

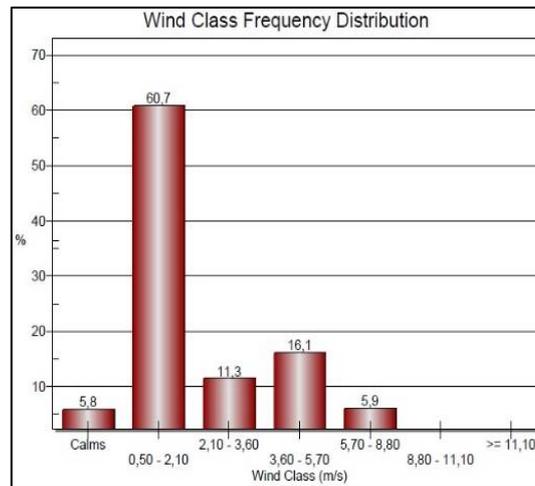
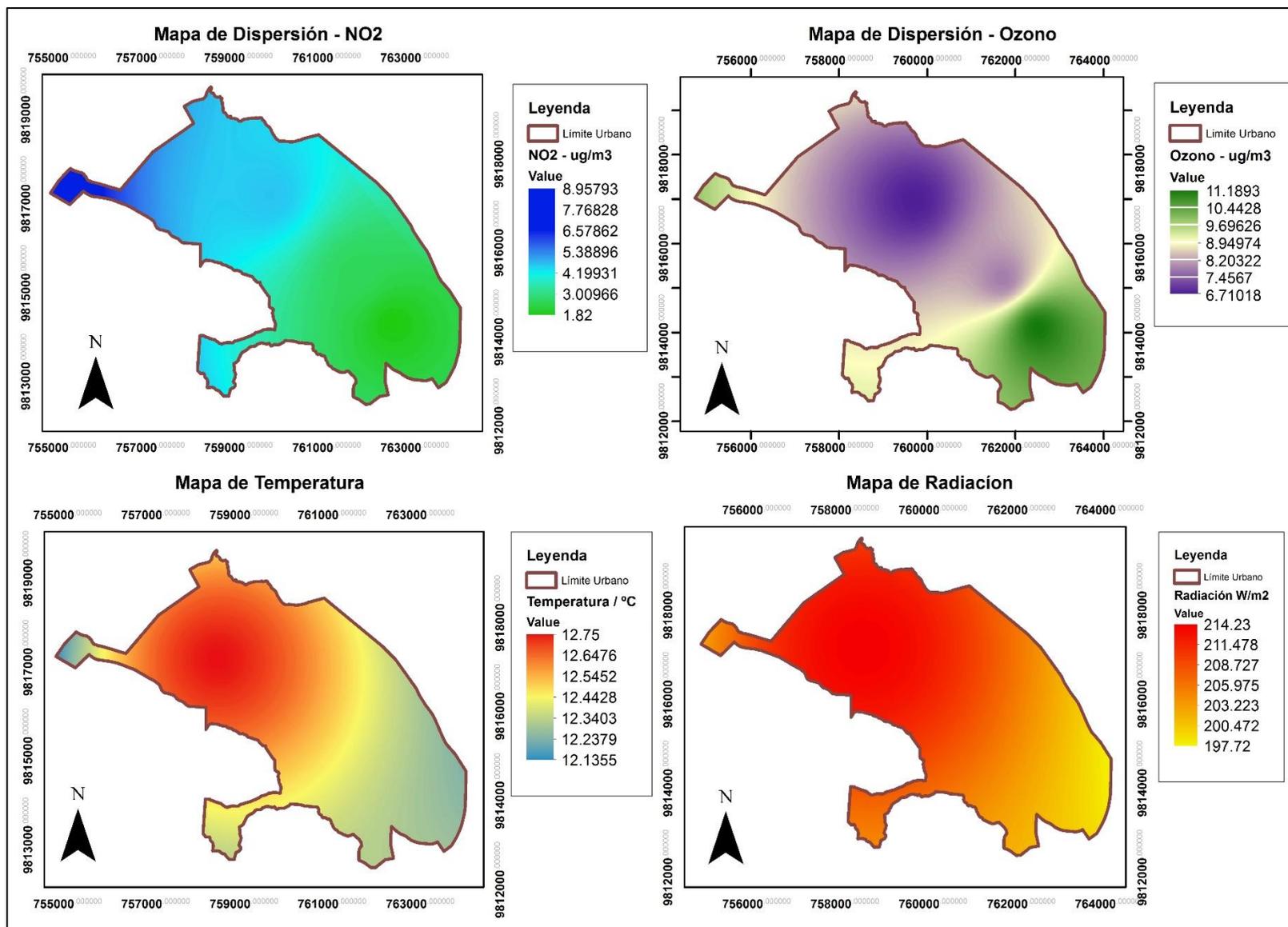


Gráfico 15-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - julio

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 5-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - julio
 Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.6. Agosto

Las concentraciones de NO₂ para el mes de agosto registraron la mayor concentración en la zona centro de la ciudad (Mapa 6-4), en concordancia a lo dicho por Bañon y Beviá (2000) sobre las variaciones de intensidad de tráfico en la época estival, estas aumentan en zonas turísticas como el centro histórico reflejado en la estación La Merced con 35.15 µg/m³, la concentración más baja fue de 7.24 µg/m³ en la estación EMAPAR en la zona sur del perímetro urbano, se debe recalcar que la diferencia entre las estaciones de La Merced y Asociación de municipalidades es solamente de 2.49 µg/m³, en relación con EMAPAR donde la concentración disminuyó 27.91 µg/m³; en los que respecta a la variación de las concentraciones de O₃, se registró la mayor concentración en el sector de EMAPAR con 20.69 µg/m³, estas disminuyeron en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades con 18.58 µg/m³ y 16.25 µg/m³, la diferencia entre estaciones fue mínima disminuyendo a razón de 1.5 µg/m³ entre cada una de ellas; tanto temperatura como radiación solar no presentaron una diferencia significativa entre los valores registrados por las estaciones (Gráfico 16-4).

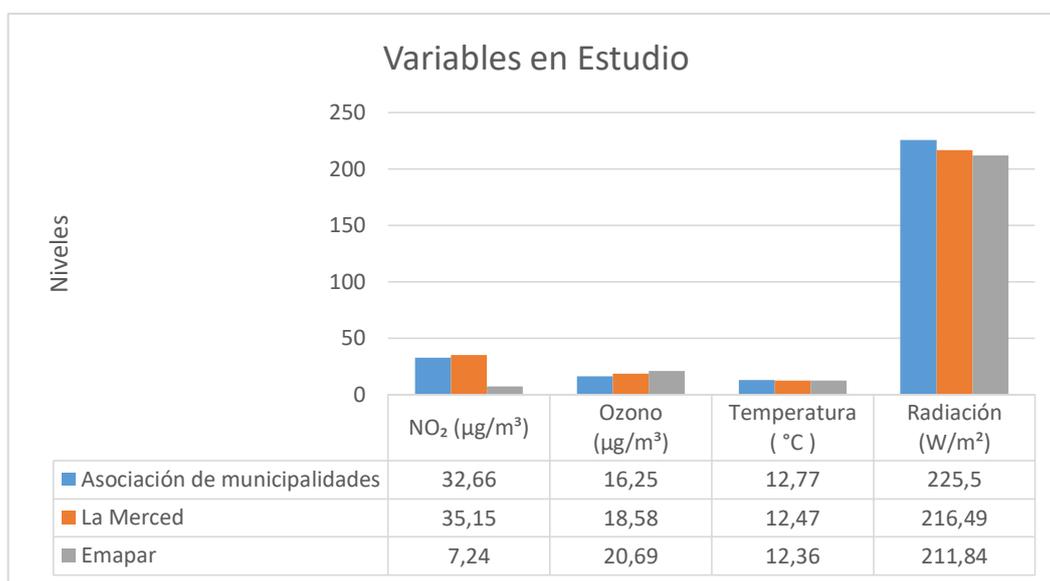


Gráfico 16-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Agosto del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 17-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 56.5% en conjunto con velocidades dirigidas al este con muy poca reiteración, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un

10.6% entre 2.1 - 3.6; 20.4% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 7.5%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 4.9% y una velocidad promedio mensual de 2.36 m/s (Gráfico 18-4).

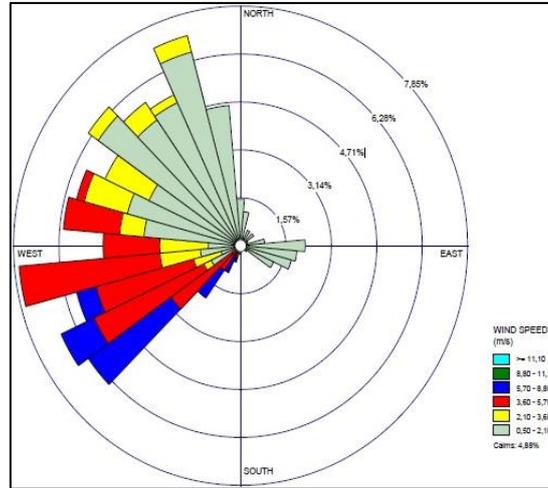


Gráfico 17-4. Rosa de los vientos - agosto

Elaborado por: Latorre, J (2017)

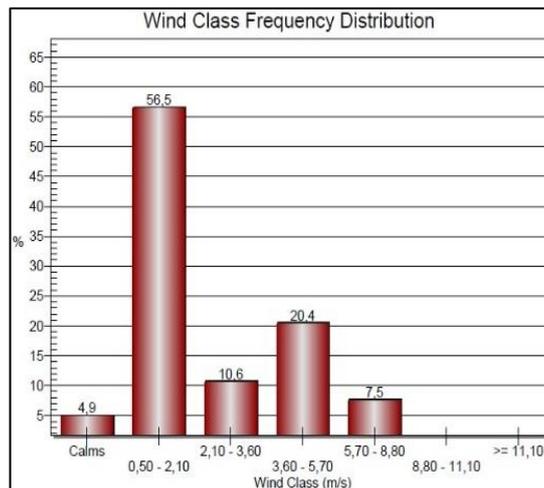
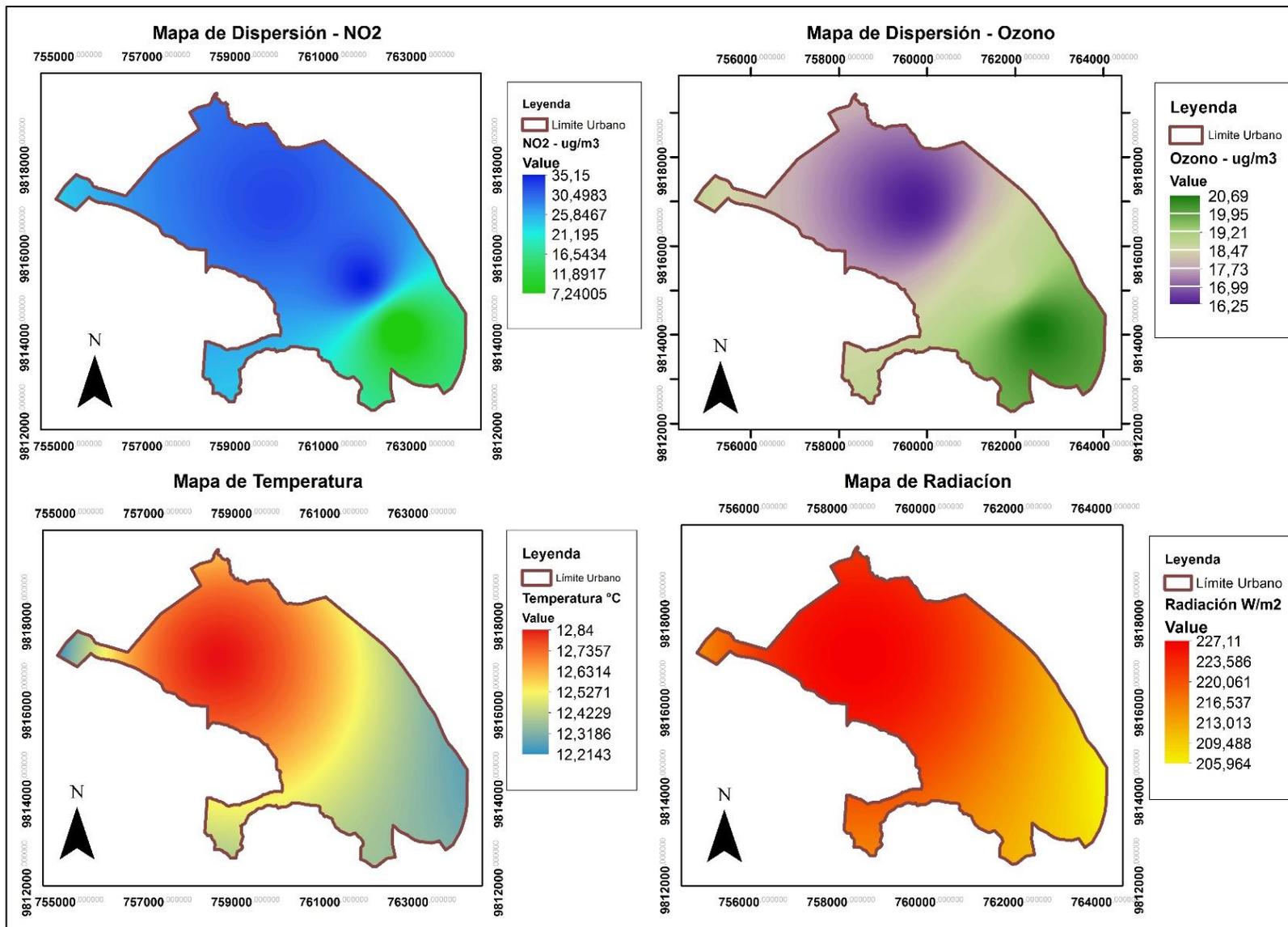


Gráfico 18-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - agosto

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 6-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - agosto
 Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.7. Septiembre

El mes de septiembre fue el segundo en registrar las menores concentraciones de NO₂ y Ozono (Mapa 7-4), así para NO₂ la mayor concentración se registró en la zona norte de la ciudad en la estación Asociación de Municipalidades con 19.7 µg/m³, la concentración más baja fue de 1.28 µg/m³ en la estación EMAPAR en la zona sur de la ciudad, tanto La Merced como EMAPAR presentaron concentraciones bajas en relación a Asociación de Municipalidades; las concentraciones de O₃ en líneas generales en las tres estaciones presentaron una mayor concentración con respecto al NO₂, la mayor concentración se dio en el sector de EMAPAR con 31.55 µg/m³, afirmando lo explicado por Cañada y Moreno (2015) de acuerdo al resultado de los patrones espaciales que revelaron claramente ser opuestos en entornos urbanos, por consiguiente en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades registraron concentraciones de 17.79 µg/m³ y 18.08 µg/m³ respectivamente, la diferencia entre estas estaciones fue mínima, en relación con el valor más alto; tanto temperatura como radiación solar no presentaron una diferencia significativa entre los valores registrados por las estaciones (Gráfico 19-4).

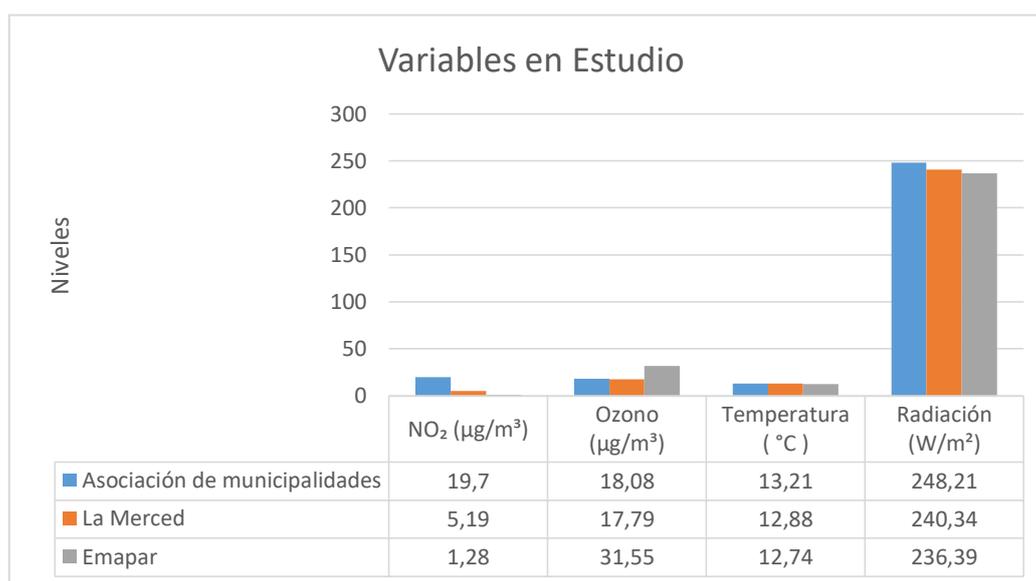


Gráfico 19-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Septiembre del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 20-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 54.9% en conjunto con velocidades dirigidas al este con muy poca reiteración, se divisa un incremento de velocidad en

medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 11.3% entre 2.1 - 3.6; 20.7% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 9.2%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 4.7% y una velocidad promedio mensual de 2.5 m/s (Gráfico 21-4).

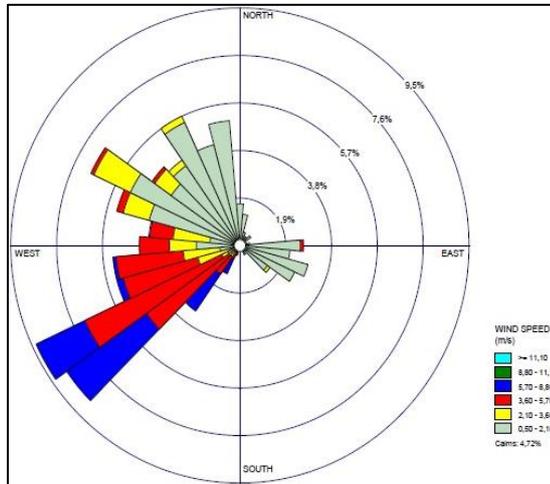


Gráfico 20-4. Rosa de los vientos - septiembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

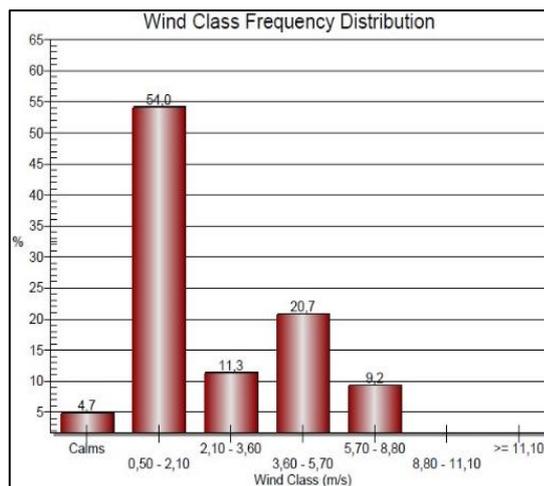
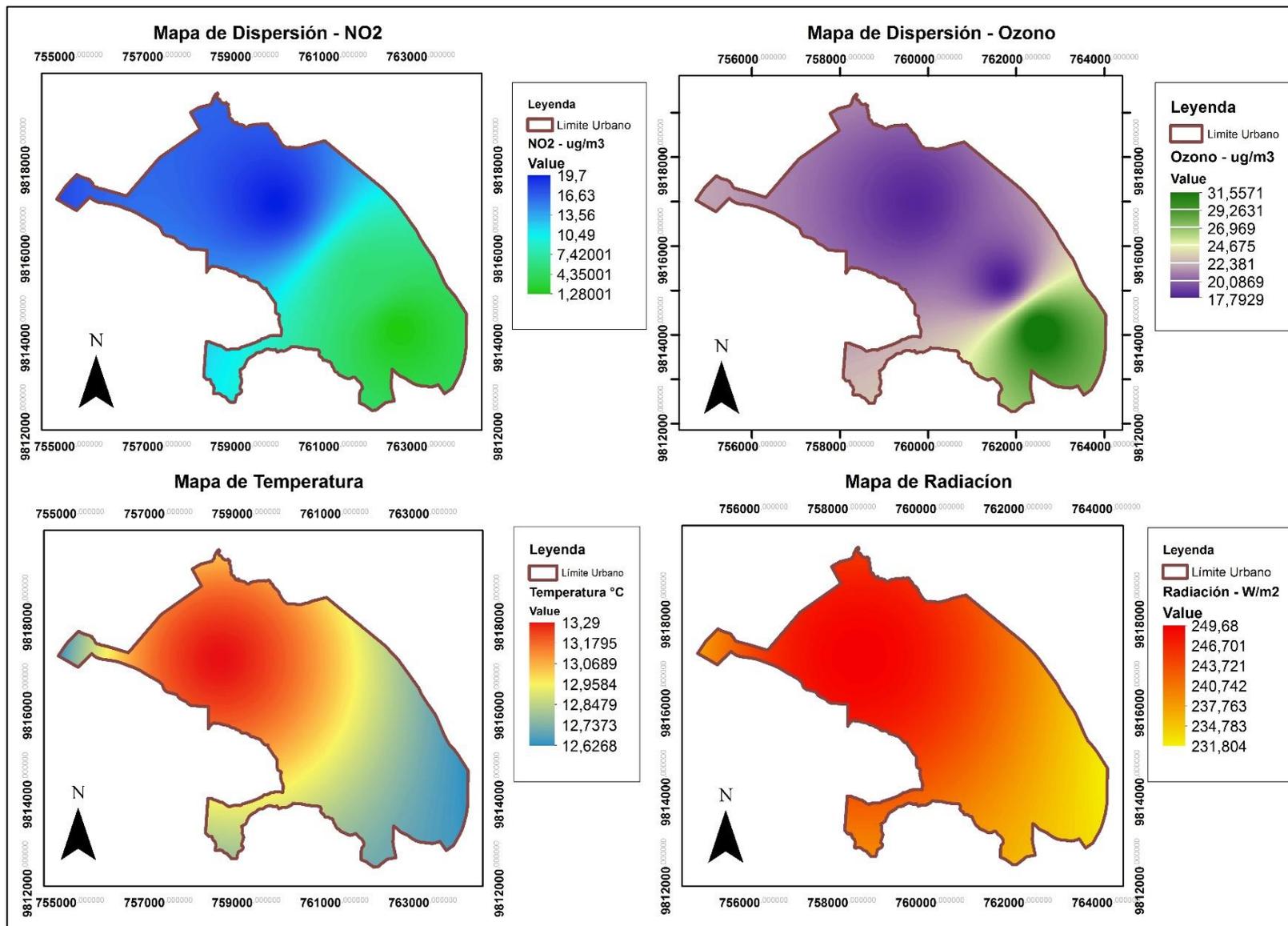


Gráfico 21-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - septiembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 7-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio -septiembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.8. Octubre

En octubre se presentó una variación particular en las concentraciones registradas por las estaciones (Mapa 8-4), ya que la diferencia entre Asociación de Municipalidades y las dos restantes fue significativa para NO₂, así para la mayor concentración se registró en la zona norte de la ciudad en la estación Asociación de municipalidades con 33.03 µg/m³ en donde el producto de los gases de combustión de los autos y el clima soleado, dan como resultado a las derivaciones de reacciones fotoquímicas como lo expresó Rico, y otros (2011); en cuanto a las concentraciones en La Merced y EMAPAR presentó resultados relativamente bajos de 1.26 µg/m³ y 2.67 µg/m³ respectivamente; para las concentraciones de O₃ la mayor se dio en el sector de EMAPAR con 18.75 µg/m³, se presentó una reducción en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades de 11.18 µg/m³ y 18.75 µg/m³ respectivamente; tanto temperatura como radiación solar no presentaron una diferencia significativa entre los valores registrados por las estaciones (Gráfico 22-4).

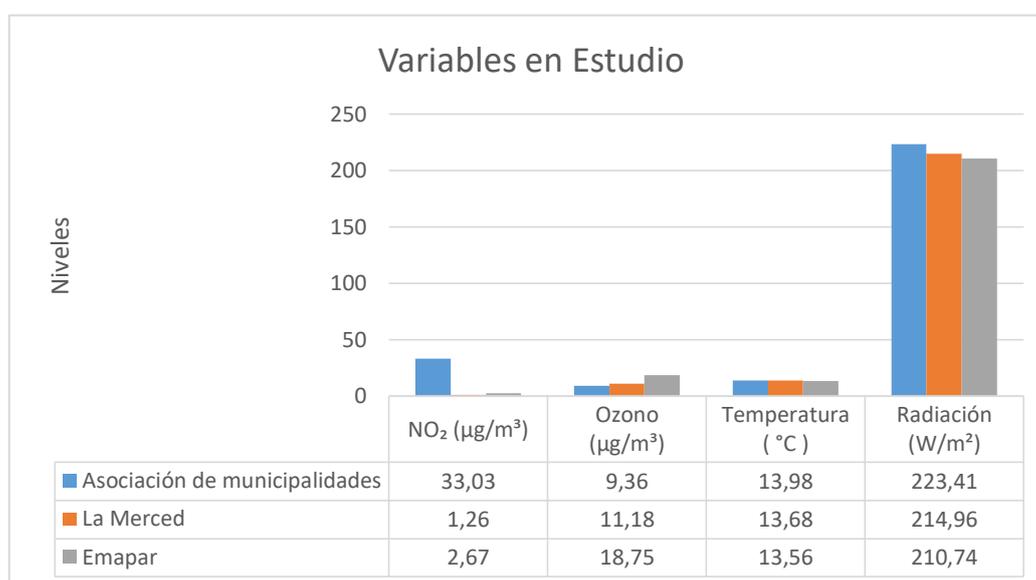


Gráfico 22-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de Octubre del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 23-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 58.9%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 14% entre 2.1 - 3.6; 19.1% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan

un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 2.8%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 5.1% y una velocidad promedio mensual de 2.16 m/s (Gráfico 24-4).

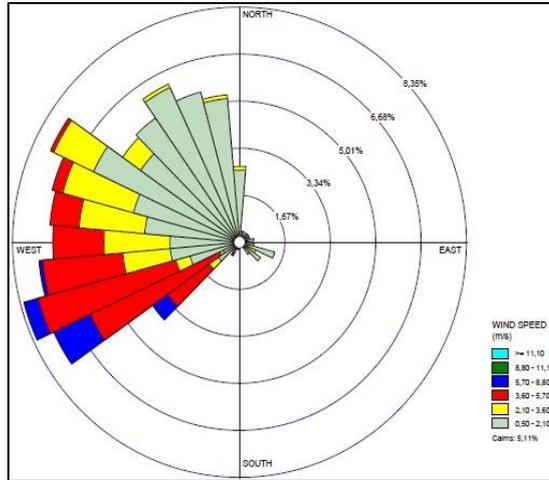


Gráfico 23-4. Rosa de los vientos - octubre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

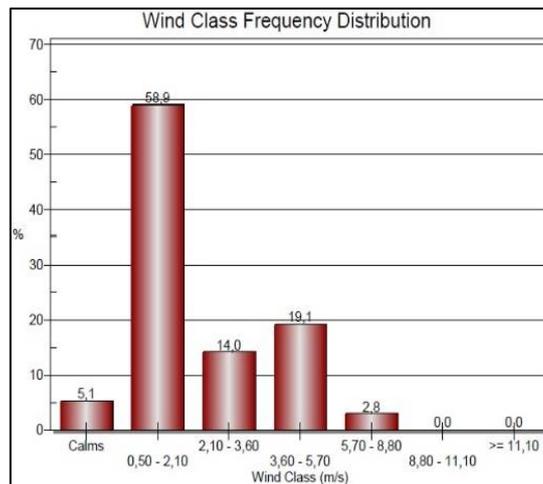
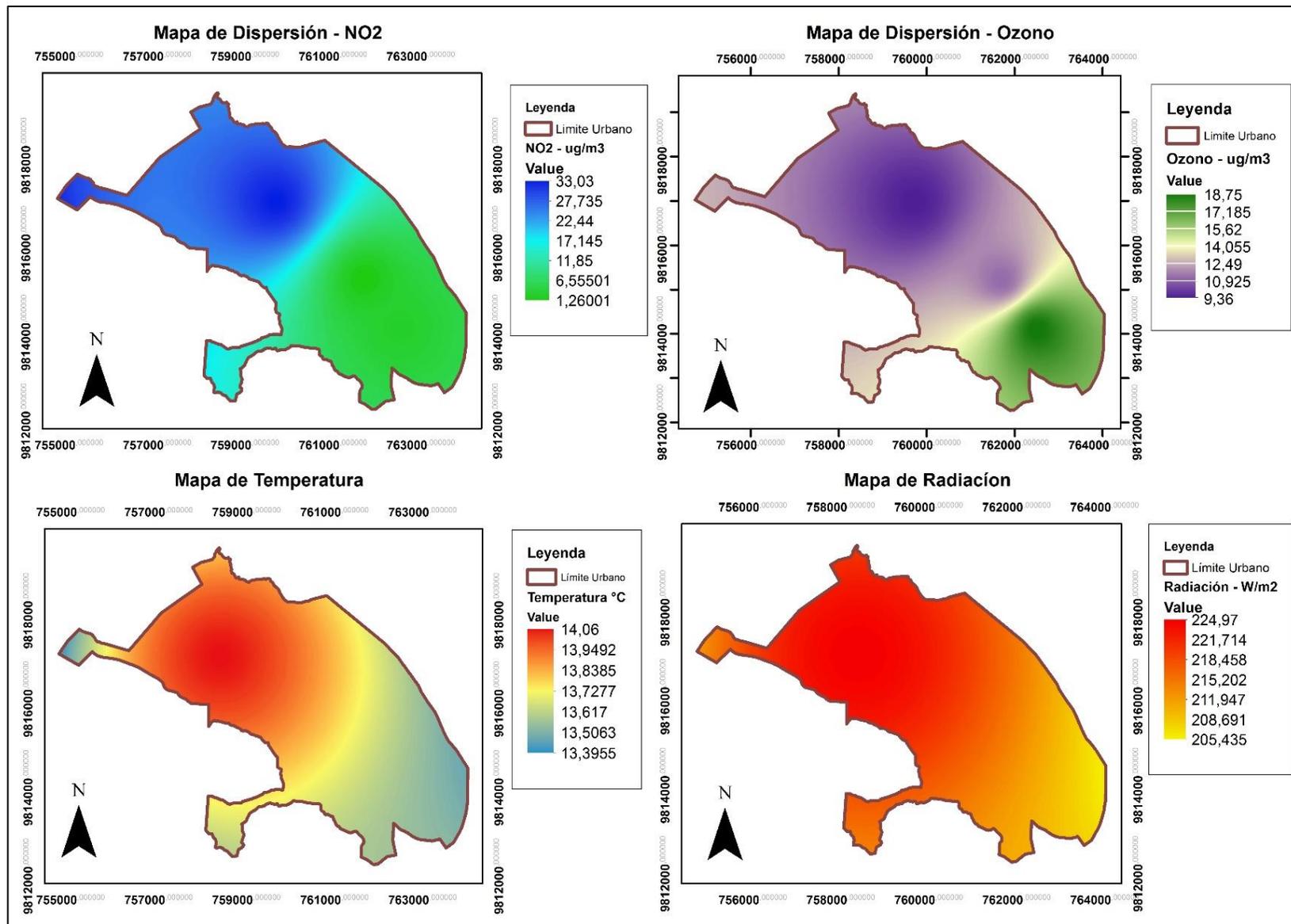


Gráfico 24-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - octubre

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 8-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - octubre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.9. Noviembre

Para noviembre las concentraciones de las variables contaminantes presentaron un comportamiento más homogéneo para ozono, a diferencia del NO₂ donde se observó una mayor diferencia en los resultados de los puntos de inmisión respecto a la estación EMAPAR (Mapa 9-4), así para la mayor concentración se registró en la zonas centro-norte de la ciudad en la estación Asociación de Municipalidades con 27.19 µg/m³ y La Merced con 27.38 µg/m³, la concentraciones más baja se presentó en EMAPAR con 7.45 µg/m³; para las concentraciones de O₃ la mayor se dio en el sector de EMAPAR con 15.66 µg/m³, se presentó una reducción aproximada de 4 µg/m³ en las estaciones de monitoreo La Merced y Asociación de municipalidades llegando a 11.26 µg/m³ y 11.02 µg/m³ respectivamente, se debe mencionar que entre estas dos estaciones las diferencias no son significativas; tanto temperatura como radiación solar no presentaron una diferencia significativa entre los valores registrados por las estaciones ya que al ser el perímetro urbano de la ciudad un dominio sin variaciones considerables de altitud el modelo de interpolación tiene una variación inferior al 10% como lo menciona Febres (2015). (Gráfico 25-4).

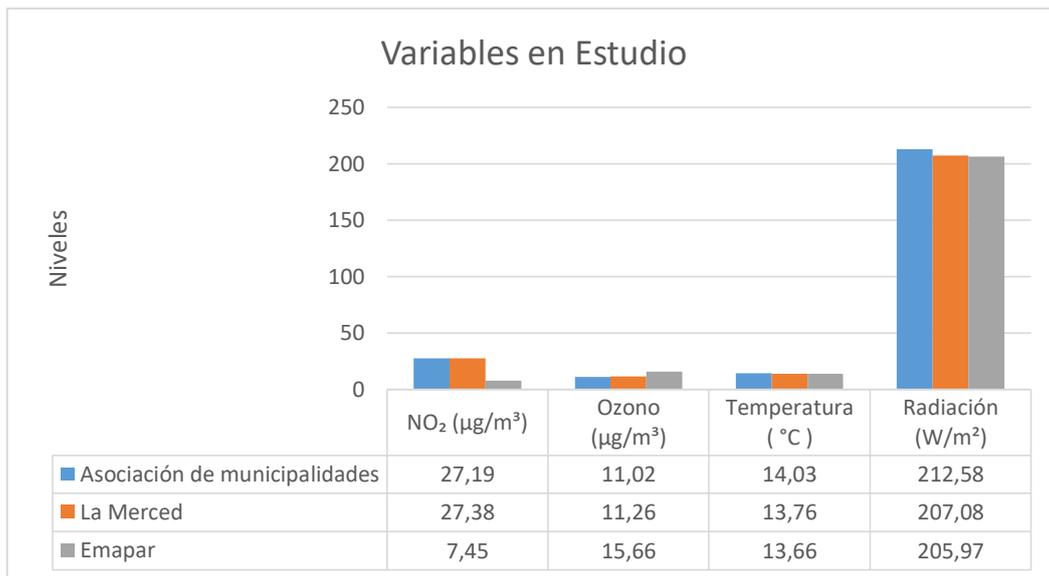


Gráfico 25-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de noviembre del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 26-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 66.9%, se divisa un

incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 13.5% entre 2.1 - 3.6; 9.5% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 2.5%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 7.4% y una velocidad promedio mensual de 1.7 m/s (Gráfico 27-4).

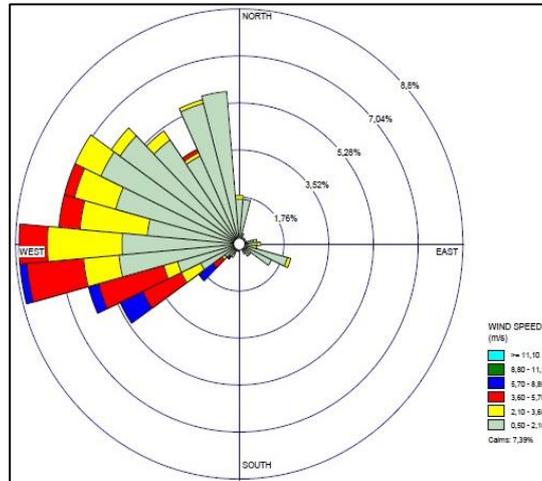


Gráfico 26-4. Rosa de los vientos - noviembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

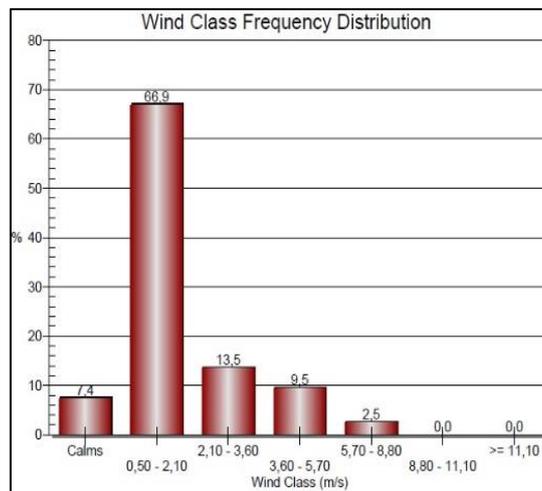
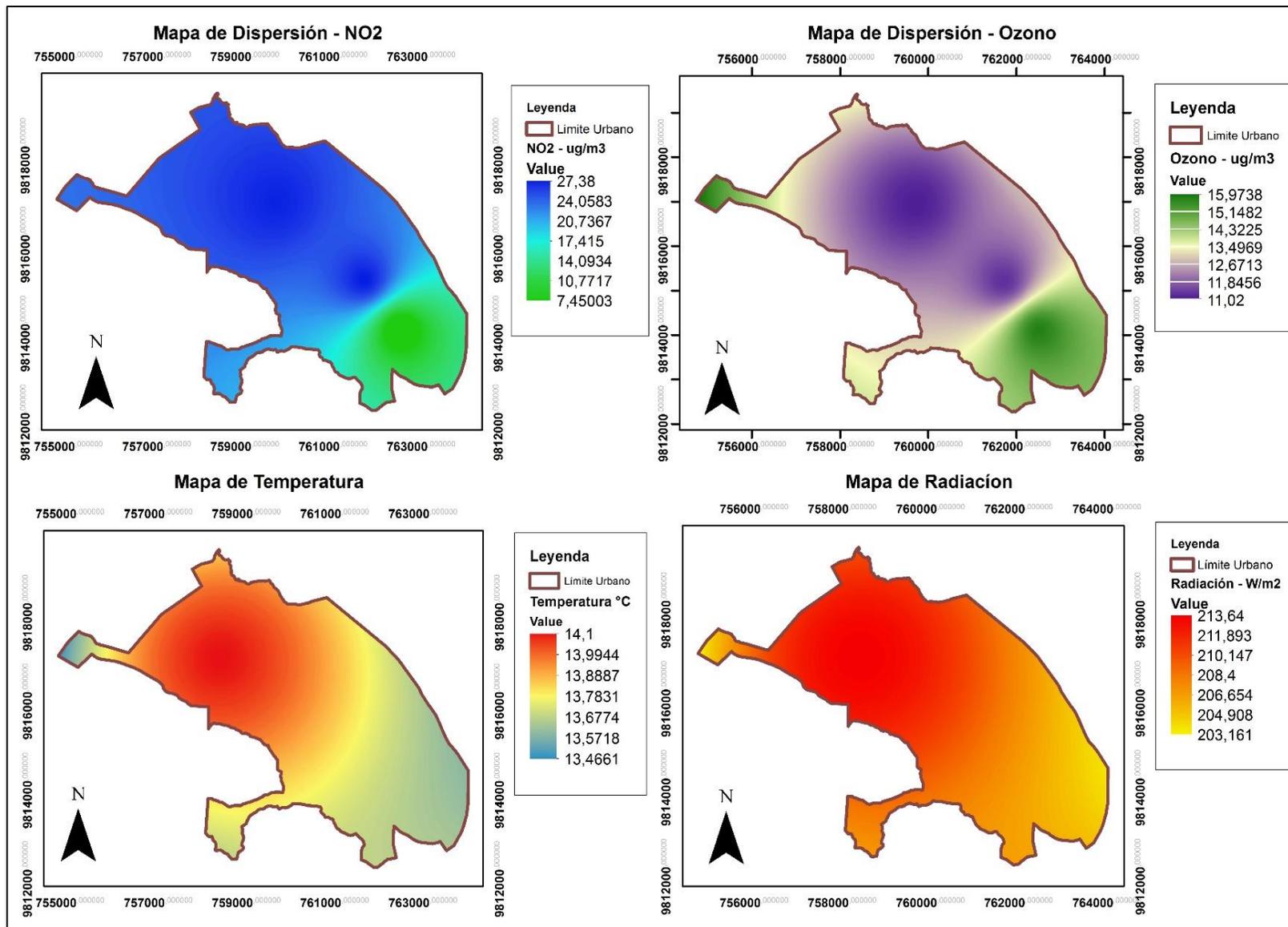


Gráfico 27-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - noviembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 9-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio -noviembre
 Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.2.10. Diciembre

Para diciembre las concentraciones de las variables contaminantes presentaron un comportamiento homogéneo para ozono ya que como lo señala González Kirchner (2012), los valores urbanos siguen siendo moderados en relación a la elevada emisión de óxidos de nitrógeno emitidos por el tráfico y otras fuentes propias de zonas urbanas en donde el ozono formado reacciona con uno de sus precursores, el óxido nítrico; en lo que respecta al NO₂ se observó una diferencia más notoria (Mapa 10-4); la mayor concentración de NO₂ se registró en la zonas norte de la ciudad en la estación Asociación de Municipalidades con 86.25 µg/m³, la concentraciones más baja se presentó en EMAPAR con 4.93 µg/m³; la mayor concentraciones de O₃ se dio en la estación de EMAPAR y La Merced con 18.63 µg/m³, los valores más bajos se registraron en la estación asociación de municipalidades con 11.92 18.63 µg/m³ (Gráfico 28-4).

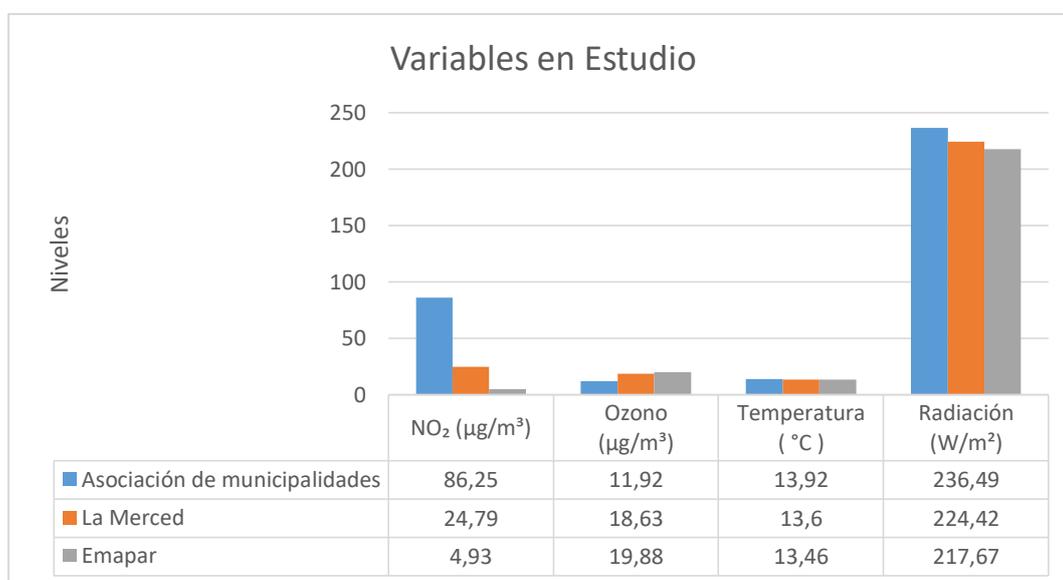


Gráfico 28-4. Concentraciones de las variables en estudio por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En el mes de diciembre del 2015 la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 29-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades bajas comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 56%, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 13.3% entre 2.1 - 3.6; 16.9% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo considerable en dirección Suroeste (SW) de 5.7 a 8.80 m/s con

frecuencia de 11%. En cuanto a vientos calmos para este mes se tiene un 2.6% y una velocidad promedio mensual de 2.55 m/s (Grafico 30-4).

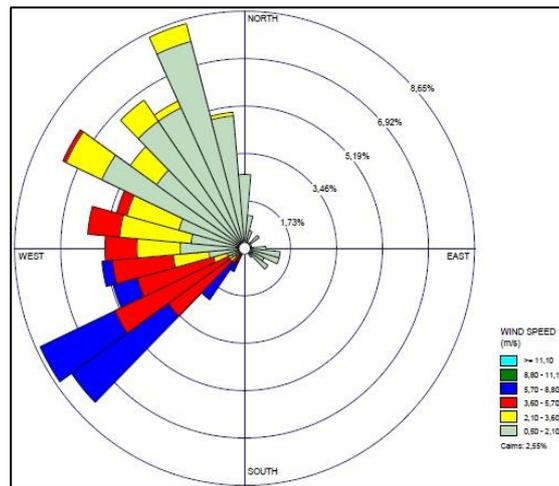


Gráfico 29-4. Rosa de los vientos - diciembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

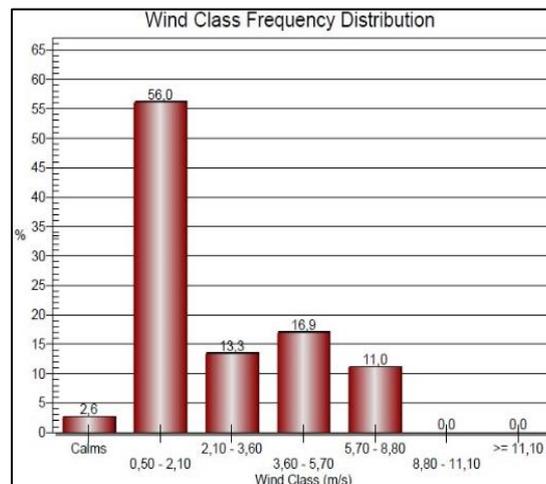
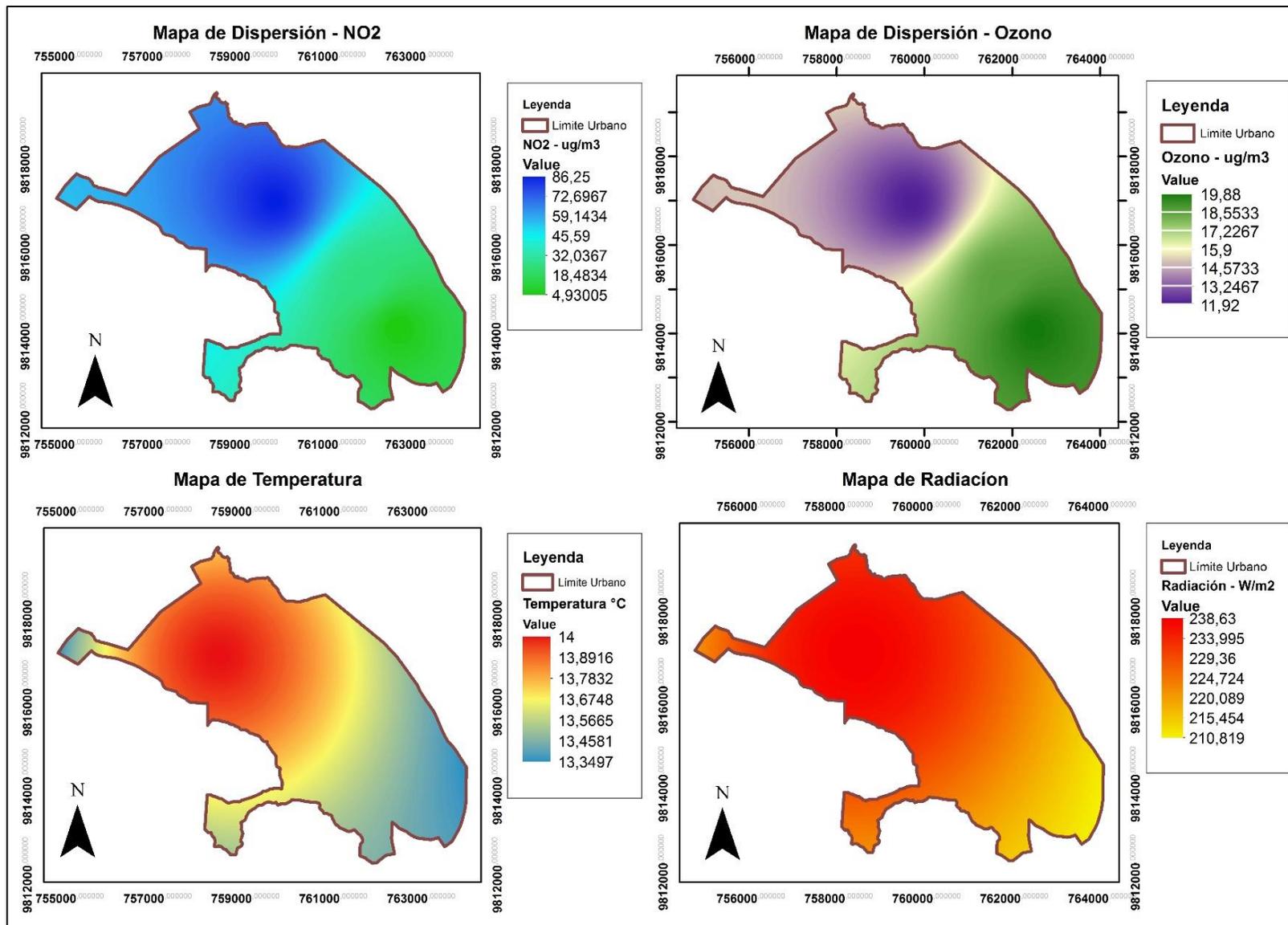


Gráfico 30-4. Frecuencia de la distribución de los vientos - diciembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)



Mapa 10-4. Mapas de dispersión y concentración de las variables en estudio - diciembre

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.3. Análisis estadístico

4.3.1. Promedios Mensuales

Durante los meses en estudio a nivel general en lo que respecta al perímetro urbano el mes que presentó las mayores concentraciones de NO₂ fue diciembre con 38.66 µg/m³, los meses de marzo, abril, mayo y agosto presentaron concentraciones similares que no disminuyeron de los 20 µg/m³ ni sobrepasaron los 30 µg/m³, por su parte los meses de junio, julio, septiembre y octubre registraron las concentraciones más bajas, mención especial al mes de julio que registró una concentración de 3.01 µg/m³, la cual es una disminución considerable si se toma en cuenta el valor más alto que se registró en los meses de estudio, como lo manifiesta De la Morena (2008), la concentración NO₂ va a estar directamente relacionada con el movimiento vehicular y con los niveles de radiación ya que este contaminante es un precursor de la formación de ozono troposférico (Gráfico 31-4).

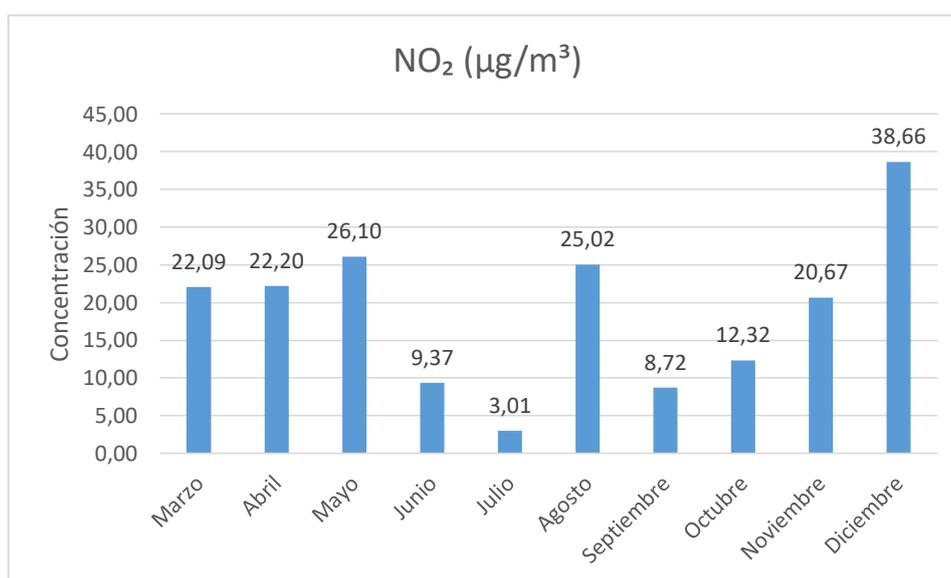


Gráfico 31-4. Concentraciones mensuales de NO₂ dentro del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba

Elaborado por: Latorre, J (2017)

Las concentraciones de ozono en el límite urbano tuvieron un comportamiento opuesto a las de NO₂, en un primer análisis se pudo observar que en los meses donde las concentraciones de ozono aumentaron las de NO₂ disminuyeron y viceversa, por ende, existe una relación inversa entre los niveles de concentración (Gráfico 32-4), estos primeros datos obtenidos concuerdan con los descrito por Mantilla (2015) que indica existencia de relación de ozono troposférico con el NO₂,

aunque esta no sea de tipo lineal, ya que este último es un compuesto precursor del O_3 . Pero depende de otros compuestos y factores externos así como también de la zona en estudio. La mayor concentración de O_3 se registró en el mes de abril con $28.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la menor en el mes de julio con $8.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el resto de meses presentó una variación dispar, siempre por debajo de los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a excepción del mes de septiembre, el cual alcanzó una concentración de $22.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

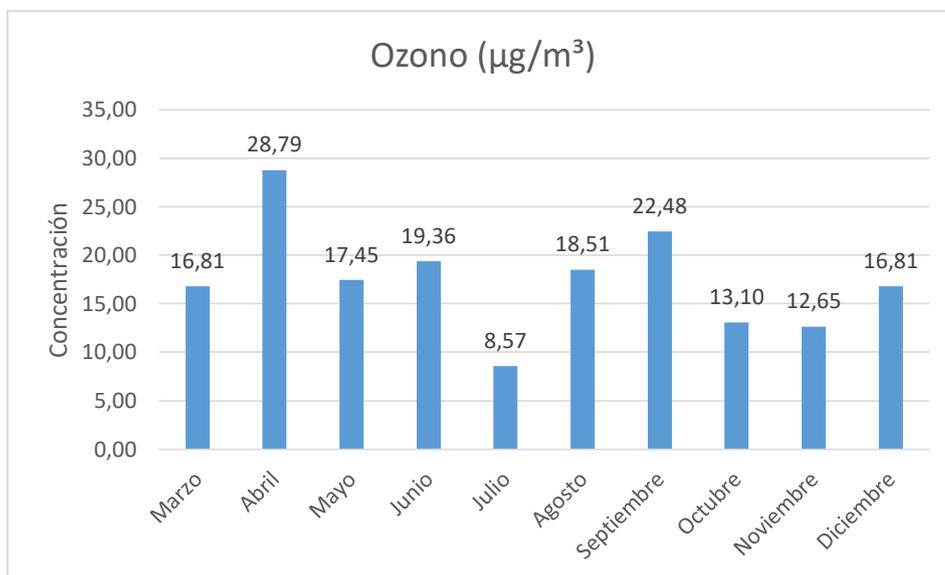


Grafico 32-4. Concentraciones mensuales de ozono dentro del perímetro urbano de la ciudad de Riobamba

Elaborado por: Latorre, J (2017)

Los niveles de temperatura para el perímetro urbano registraron una variación aproximada de 1°C , partiendo de una temperatura mínima de 12.27°C en el mes de junio, hasta alcanzar un máximo de 13.82°C en el mes de noviembre. (Grafico 33-4).

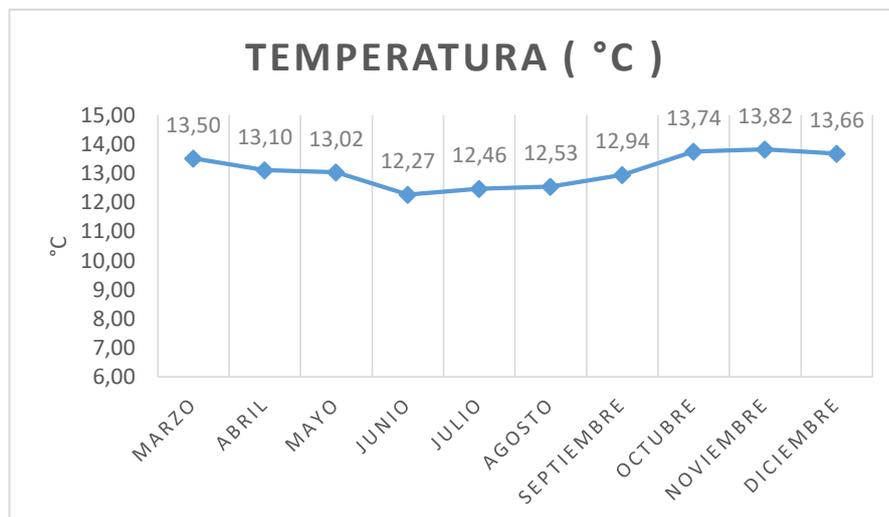


Grafico 33-4. Promedios mensuales de temperatura

Elaborado por: Latorre, J (2017)

La radiación solar durante los meses de estudio, presento un máximo de 241.65 (W/m^2) en el mes de septiembre y un mínimo de 191.62 (W/m^2) registrado en el mes de marzo (Grafico 34-4). A diferencia de la temperatura para la radiación se observó una mayor variación mes a mes, cabe recalcar que los meses de mayor radiación son los que conforman la estación climática de verano en concordancia a lo expuesto por Cazorla (2013), mientras que los de menor correspondieron a los meses de invierno, por esta razón esta variable se usó para el análisis de correlación bivariada.

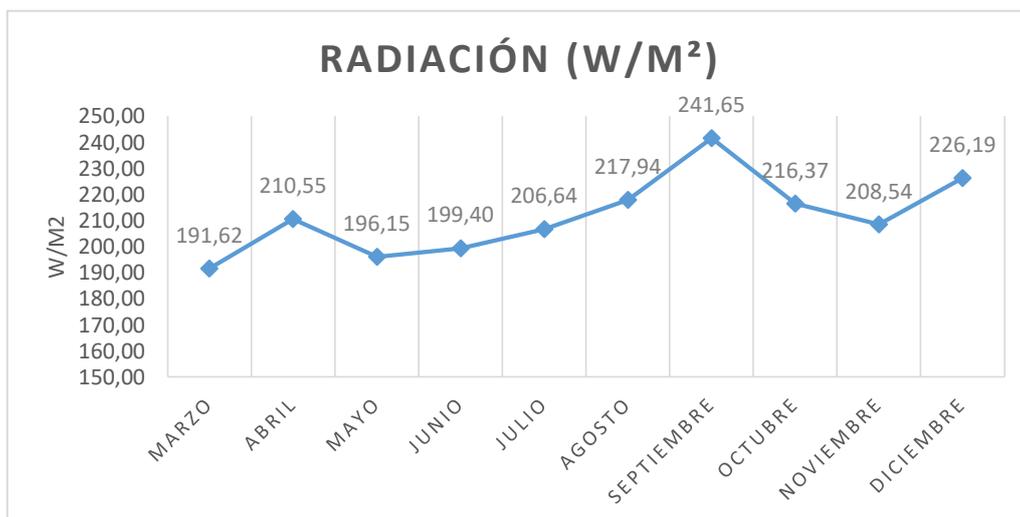


Grafico 34-4. Promedios mensuales de radiación

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.3.2. Promedio anual de NO₂

La estación ubicada en la Asociación de Municipalidades fue la que registro el mayor promedio anual durante el periodo de estudio con 32.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por la estación la Merced con 15.818 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y EMAPAR con 7.766 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estos datos concuerdan con lo mencionado por Ballester (2005), que indica que las áreas con mayor presencia vehicular son aquellas donde se tiene una mayor concentración de NO₂, esto ocurre en la Asociación de Municipalidades, donde durante el día el flujo vehicular es elevado y constante al estar ubicada en la principal vía de acceso a la ciudad donde circulan gran cantidad de vehículos pesados de combustión a diésel, contrastando con el número de carros que circulan diariamente en la zona de influencia de las estaciones restantes, que es menor, sobre todo en la estación EMAPAR que al encontrarse alejada a la zona centro de la ciudad, presenta un movimiento vehicular mínimo; con lo que respecta a la estación La Merced, la presencia vehicular es notoria tanto por el mercado del mismo nombre y al estar ubicado en el centro histórico de la ciudad, esta no llega a ser tan alta ya que la presencia vehicular es evidente solamente en las horas pico además de estar restringido la circulación de vehículos pesados. (Grafico 35-4).

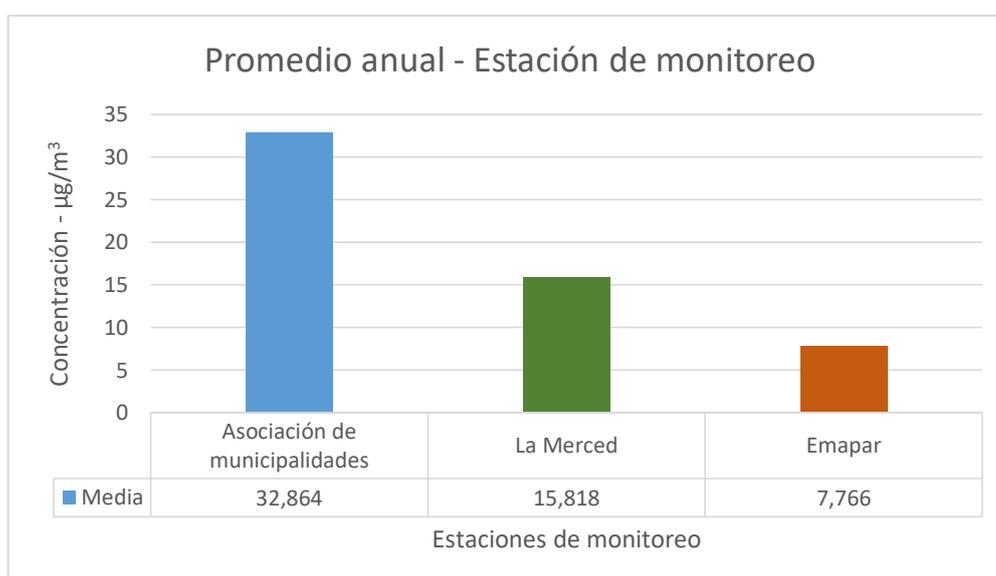


Grafico 35-4. Promedio anual de NO₂ por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

De acuerdo al Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) en el Libro VI De la Calidad Ambiental Anexo 4, las concentraciones promedio registradas en cada una de las estaciones para dióxido de nitrógeno no sobrepasa el límite máximo permisible que es de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.3.2.1. Concentraciones máximas y mínimas para NO₂

En concordancia con los promedios medios por estación la mayor concentración registrada fue de 86.25 µg/m³ en la estación ubicada en la asociación de municipalidades, mientras que la mínima se registró en la estación de la merced con 1.26 µg/m³, con un pequeño matiz que la diferencia en relación a la estación EMAPAR es de apenas 0.02 µg/m³ (Grafico 36-4), estos valores mínimos están asociados con las horas de menor tráfico vehicular, ya que como se mencionó con anterioridad en zonas urbanas las concentraciones de NO₂ está directamente relacionadas con la presencia vehicular.

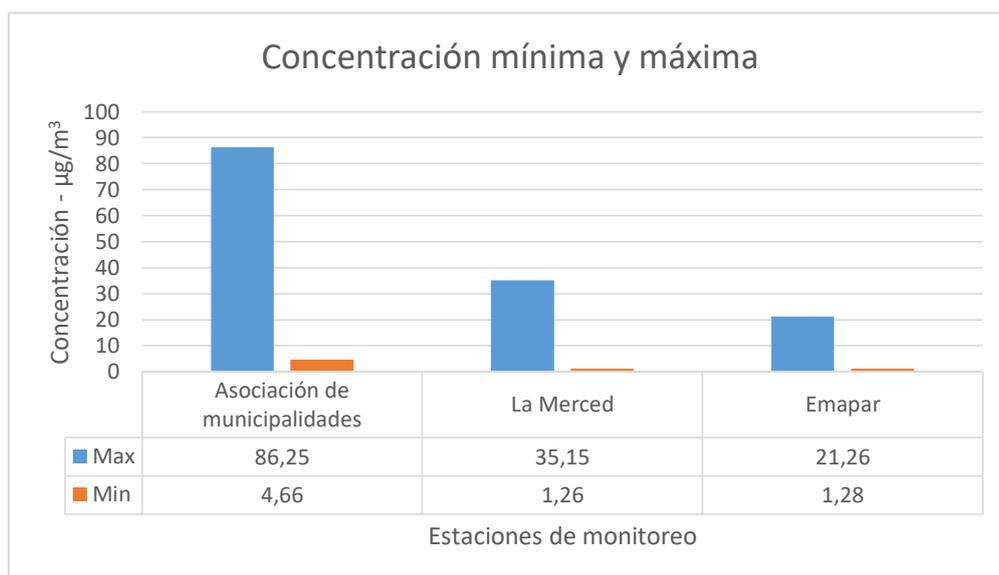


Grafico 36-4. Concentraciones mínimas y máximas de NO₂

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.3.3. Promedio anual de Ozono

El ozono troposférico al ser un contaminante secundario que se forma a partir de reacciones fotoquímicas implica que su presencia en el ambiente estará sujeta a compuestos precursores y otros factores ambientales; esta relación existe entre el NO₂ al ser un agente precursor del O₃, los resultados obtenidos por estaciones así lo demuestran, el sector que abarca la estación asociación de municipalidades presentó la menor concentración promedio para los meses de estudio con 17.58 µg/m³, estas van aumentando a medida que el NO₂ va disminuyendo, registrándose la mayor concentración de O₃ en el sector de la estación EMAPAR (Gráfico 37-4), esto se produce debido a que al no existir saturación en las emisiones de NO₂, por ende la escasez de NO recién emitido por fuentes móviles, da como resultado que las reacciones fotoquímicas favorezcan a la producción de ozono, que en este sector alcanza los 25.14 µg/m³; de acuerdo a la expuesto por

Jiménez et al. (2005) estas reacciones se describen con el siguiente proceso: $\text{NO}_2 + \text{luz} = \text{NO} + \text{O}$, el oxígeno atómico resultante reaccionara inmediatamente con el oxígeno del aire formando el ozono troposférico ($\text{O} + \text{O}_2 = \text{O}_3$); esta relación se tratará más a profundidad en el apartado del análisis estadístico a partir de un análisis de correlación.

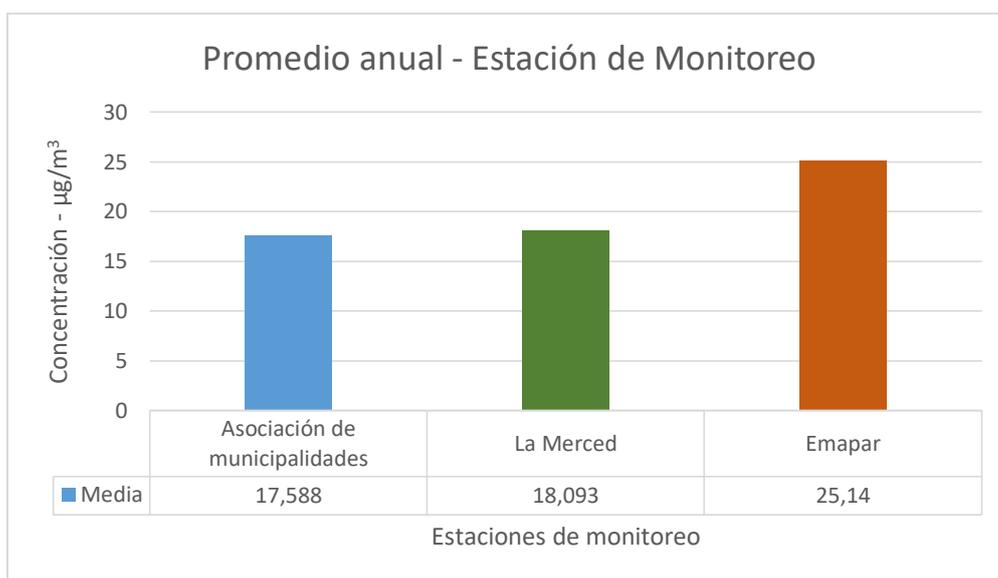


Gráfico 37-4. Promedio anual de ozono por estación de monitoreo

Elaborado por: Latorre, J (2017)

De acuerdo al Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) en el Libro VI De la Calidad Ambiental Anexo 4, las concentraciones promedio registradas en cada una de las estaciones para ozono troposférico no sobrepasa el límite máximo permisible que es de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.3.3.1. Concentraciones máximas y mínimas para O_3

Los valores máximos y mínimos están acorde a lo registrado por el promedio anual de cada estación, así la más alta concentración registrada entre las tres estaciones en estudio fue con $56.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la que se registró en la estación EMAPAR mientras que la menor se registró en la estación de Asociación de Municipalidades con $6.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gráfico 38-4), las diferencias entre las concentraciones máximas y mínimas de O_3 no son tan palpables debido a que estas no solo dependen de las concentraciones de NO_2 que se producen durante el día, esto hizo que la variación no sea tan específica entre estaciones, sin embargo obedecen al patrón mencionado por IDEAM

(2014) que alude mayor existencia de ozono en zonas externas donde se percibe menor emisión de NO_x.

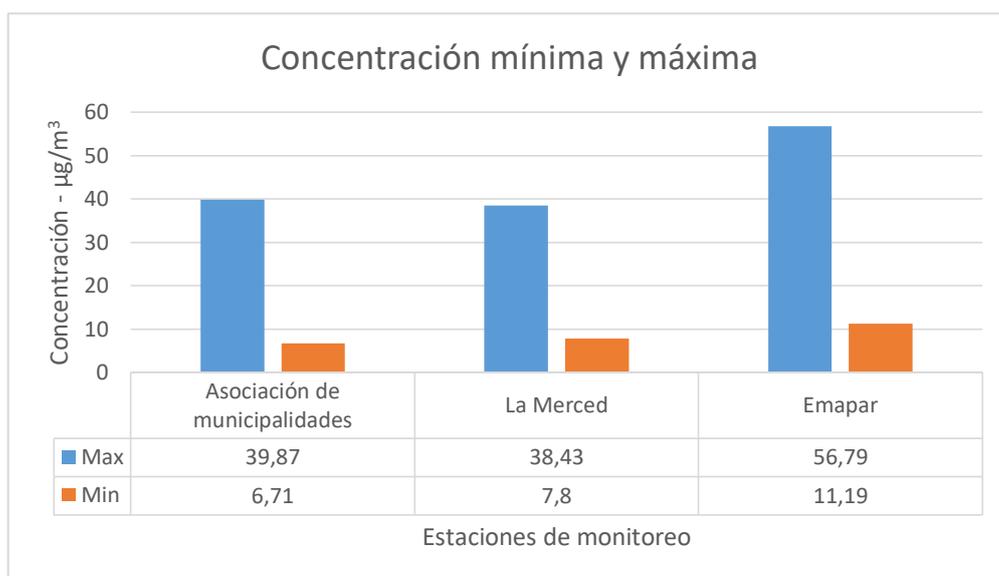


Gráfico 38-4. Concentraciones mínimas y máximas de O₃

Elaborado por: Latorre, J (2017)

4.3.4. Promedio anual de la frecuencia de la distribución de los vientos.

En lo que respecta a los vientos el promedio anual en el periodo marzo-diciembre del año 2015 se determinó que la dirección del viento predominó hacia el Oeste (Gráfico 39-4); en sentido Noroeste (NW) se percibe mayor frecuencia de viento con velocidades comprendidas entre 0.5 a 2.10 m/s que alcanzan una frecuencia total del 60.2% en conjunto con velocidades dirigidas al este con muy poca reiteración, se divisa un incremento de velocidad en medida de la dirección Oeste Suroeste (WSW) con frecuencia de velocidades entendidas en un 12.3% entre 2.1 - 3.6; 16% entre 3.6 - 5.7 y velocidades que alcanzan un rango máximo de 5.7 a 8.80 m/s con frecuencia de 5.4%. En cuanto a vientos calmos para este periodo se tiene un 5.94% y una velocidad promedio anual de 2.11 m/s (Gráfico 40-4).

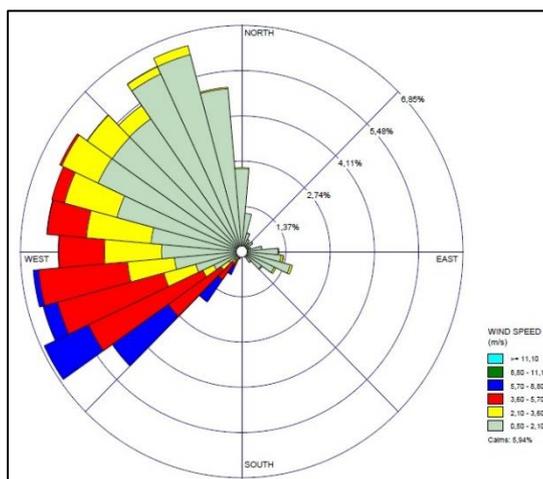


Gráfico 39-4. Rosa de los vientos / periodo marzo - diciembre 2015

Elaborado por: Latorre, J (2017)

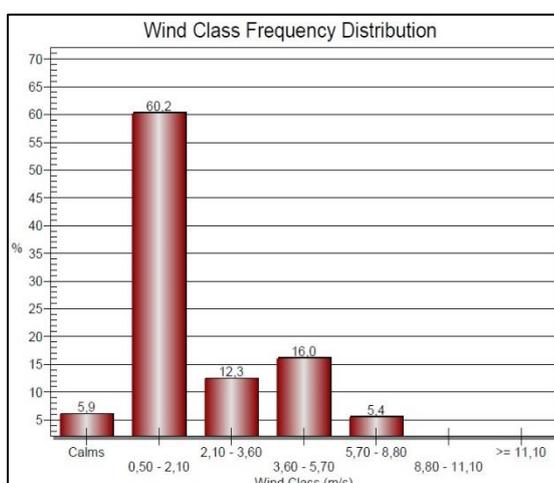


Gráfico 40-4. Frecuencia de distribución de los vientos / periodo marzo - diciembre 2015

Elaborado por: Latorre, J (2017)

La presencia de NO_2 y O_3 en zonas urbanas tiene relación directa a su formación a partir de reacciones fotoquímicas, por lo que el viento no influye directamente en el proceso de generación de los contaminantes, a pesar de esto el viento influye de forma indirecta al estar relacionado con el movimiento de los contaminantes precursores de estas reacciones, al hacer una relación entre la rosa de los vientos y el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes en estudio, se puede inferir que como la ciudad de Riobamba se encuentra extendida geográficamente en sentido noroeste respecto a los ejes cardinales, una de las razones por las que el NO_2 presenta las mayores concentraciones en la zona norte del perímetro urbano es debido a la dirección del viento

que se registró para el periodo de estudio que es Noroeste (NW) lo mencionado concuerda con lo descrito por Aguilar (2017) quien registró que, las corrientes de aire tienen un patrón similar con la distribución de los contaminantes, mostrando como la dirección del viento se encuentra en relación con la secuencia de reacciones fotoquímicas troposféricas que derivan en el aumento de concentración de NO₂ desde menor hacia la mayor registrada como se aprecia en los mapas de dispersión.

4.3.5. Análisis de correlación

Como se observó en los mapas de concentración y al comparar los promedios anuales de las concentraciones de NO₂ y O₃ por estación de monitoreo, se observó un comportamiento repetitivo en los valores registrados, así en la estación de monitoreo asociación de municipalidades donde se registra una mayor presencia vehicular mientras la concentración de Ozono disminuía la de NO₂ aumentaba, todo lo contrario sucedió en la estación EMAPAR donde el tráfico vehicular es menos acusado, en esta zona mientras la concentración Ozono aumentaba la de NO₂ disminuía, este comportamiento se evaluó con el coeficiente de Correlación de Pearson, así al comparar las concentraciones de NO₂ con el O₃, se obtuvo un coeficiente de -0.249 , mismo que valida lo expuesto anteriormente, ya que al ser negativo como lo manifiesta Díaz et al. (2002), las variables presentan una relación inversa, en este caso no de tipo lineal (Gráfico 41-4), es decir una variable disminuirá a medida que la otra aumentará, a pesar de resultar una correlación debil concuerda con los reportado por Cañada y Moreno (2015), que al analizar la relación entre NO₂ y O₃ con el coeficiente de Pearson en el entorno metropolitano de Madrid, afirmaron que esta es inversa (Tabla 5-4).

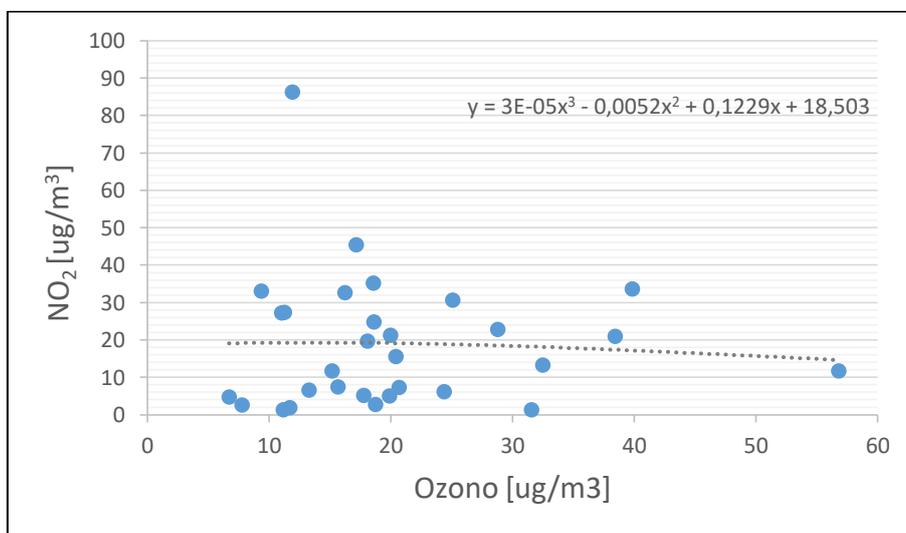


Gráfico 41-4. Diagrama de dispersión O₃ - NO₂.

Elaborado por: Latorre, J (2017)

En lo que respecta a la relación existente entre la radiación y los dos contaminante en estudio ratificaron lo expuesto por lo mapas de dispersión, cabe recalcar que no se realizó la comparación con los valores registrados de temperatura, ya que la variación que se dio mes a mes no fue significativa; de esta forma en lo que respecta a la relación Radiación –NO₂ se obtuvo un valor positivo de 0.228, de acuerdo a Díaz et al. (2002), esta es un relación directa, no de tipo lineal (Gráfico 42-4) que expone que a medida que la Radiación aumenta favorece a la producción de las reacciones fotoquímicas las cuales en entornos urbanos deriva al incremento del NO₂, este fenómeno se produce en los dominios de mayor tráfico vehicular donde NO + O₃ = NO₂ + O₂; por esta razón al determinar la relación entre Radiación – Ozono, se obtiene una relación inversa no de tipo lineal (Gráfico 43-4) con un coeficiente negativo de -0.329, ya que al aumentar la radiación por ende aumenta la formación de O₃, sin embargo característicamente en entornos urbanos existe emisión continua de NO el cual es altamente inestable reaccionará con el O₃ disminuyendo su concentración (Tabla 5-4) (Jiménez et al., 2005).

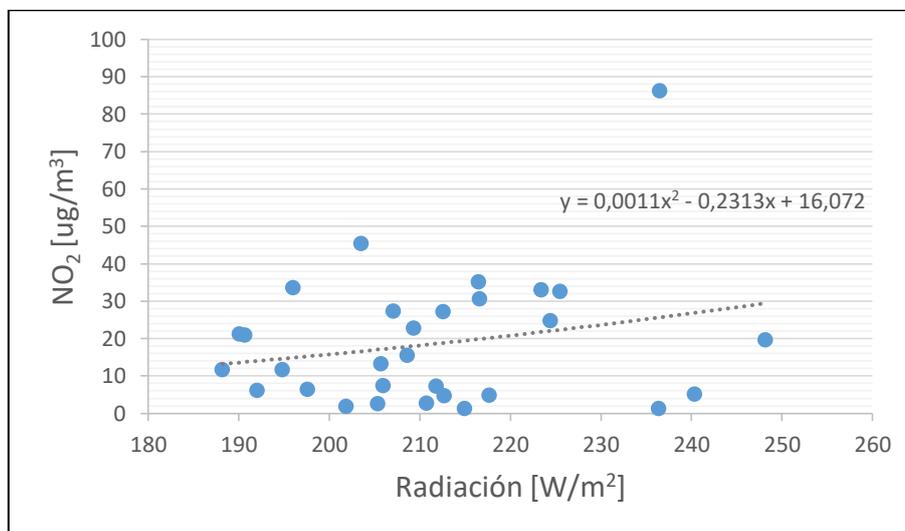


Gráfico 42-4. Diagrama de dispersión NO₂ -Radiación.

Elaborado por: Latorre, J (2017)

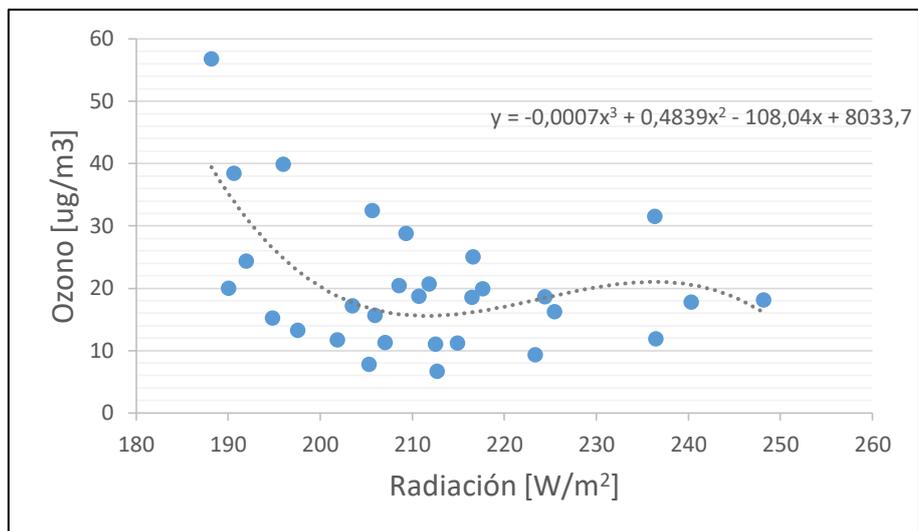


Gráfico 43-4. Diagrama de dispersión Radiación - O₃.

Elaborado por: Latorre, J (2017)

Tabla 5-4. Coeficiente de correlación de Pearson

Contaminantes	Correlación de Pearson
NO ₂ - Ozono	-0.249
Radiación - NO ₂	0.228
Radiación - Ozono	-0.329

Elaborado por: Latorre, J (2017)

CONCLUSIONES

- Se generó la base de datos promedio mensual de las variables en estudio conformando una fuente ejecutable para ser relacionada, así la concentración promedio para dióxido de nitrógeno es de $32.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para ozono troposférico es de $25.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estos valores no sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 4.
- Se implementó el modelo IDW el cual percibió de mejor manera concentraciones del dominio; las mayores en cuanto al dióxido de nitrógeno se registraron en la estación asociación de municipalidades con $86.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor está directamente relacionado con la circulación vehicular de la zona, ya que el tráfico rodado en relevancia con emisiones de motores de combustión al diésel incrementará la concentración del contaminante, esto quedo en evidencia ya que en la estación La Merced y EMAPAR donde la afluencia vehicular es menos acusada, se registraron las menores concentraciones de dióxido de nitrógeno con $1.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de octubre y $1.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de septiembre respectivamente.
- La concentración de ozono troposférico varió en función a las concentraciones registradas por su agente precursor el dióxido de nitrógeno, en los sectores donde más altas fueron las concentraciones de NO_2 se registraron las menores concentraciones de ozono troposférico ya que este reacciona directamente con los NO presente dominios urbanos formando NO_2 , mientras que en los sectores donde los niveles de NO_2 disminuyeron las concentraciones de ozono troposférico aumentaron, ya que al no existir mayor presencia de NO , el oxígeno atómico que se genera al reaccionar el NO_2 con la luz se junta con el oxígeno molecular presente en el aire para formar ozono troposférico.
- El promedio anual de dirección y frecuencia del viento en el periodo marzo-diciembre del año 2015 predominó hacia el Oeste, principalmente en sentido Noroeste (NW), con una frecuencia que alcanzan un 60.2% del periodo de estudio recalando el sentido en el que se va dando estas reacciones fotoquímicas explicando así las mayores concentraciones de NO_2 en la estación Asociación de Municipalidades ya que la ciudad se encuentra extendida en sentido noroeste de los ejes cardinales.

- El coeficiente de correlación de Pearson indicó que entre el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico existe una correlación inversa con un coeficiente de -0.249 , este valor responde a lo visualizado por los mapas de dispersión donde en las estaciones de monitoreo en estudio mientras un contaminante aumenta su concentración el otro disminuye.

RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos de ozono troposférico fuera del perímetro urbano, para determinar el comportamiento de este contaminante en condiciones diferentes, que permitan determinar hasta qué punto existe una correlación con el dióxido de nitrógeno.
- Gestionar la instalación de más estaciones de monitoreo dentro del perímetro urbano que permitan tener un conocimiento más amplio del comportamiento de los contaminantes en estudio, para esto se recomienda tener en cuenta el tráfico vehicular presente en cada sector, áreas verdes y zonas suburbanas donde se ubiquen las nuevas estaciones.
- Implementar nuevos métodos de interpolación, para generar información extra que sirva como base de comparación, en post de determinar el método que mejor se ajuste al perímetro urbano de la ciudad.
- Proponer nuevas investigaciones del comportamiento de los contaminantes en estudio en las zonas rurales próximas de la ciudad, en función a la dirección y frecuencia de los vientos registrados en los meses en que se realicen los estudios.
- Realizar el monitoreo de ozono troposférico de manera horaria considerando la jornada laboral de establecimientos públicos y privados para poder contrastar con la legislación vigente y obtener mayor perspectiva de las concentraciones máximas del contaminante durante el día.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Javier. *Calidad de aire en Bogotá: ausencia de información y captura de dato en el 2015 por medio de análisis en un sistema de información geográfica.* 2017, Revista de geografía, págs. 169-193.

ALONSO, Rocío. et al. *La contaminación atmosférica en la sierra de Gudarrama. Riesgos potenciales para la vegetación.* 2009, Sextas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paurar, págs. 63-85.

ASTUDILLO, Marcelo. Modelación de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.* 2012. [Consulta: 1 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1858>.

BAIRD, C. *Química Ambiental.* Barcelona : Reverté, 2001.

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

BAÑÓN, Luis y BEVIÁ, José. *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento.* [ed.] Contratista de Obras, S.A. Ortiz e Hijos. Alicante : s.n., 2000. págs. 13-18. 3.

BARBERÁN, Daniela. Determinación de las emisiones de partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$) por movimiento eólico mediante simulación matemática en la provincia de Chimborazo del año 2015. *Dspace ESPOCH.* [En línea] 2017. [Consulta: 28 de Junio de 2017]. Disponible: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6678>.

BARÓN, Alacia. *Modelos geoespaciales de la distribución de las variables climatológicas en el territorio colombiano.* 2003, Meteorología colombiana, págs. 81 - 89.

BORREGO, Óscar. et al., *Interpolación espacial de concentraciones de ozono en la zona metropolitana del valle de México, basada en métodos de Kriging y Cokriging*. 2010, Centro de ciencias de la Atmósfera, págs. 281 - 289.

BRACHO, Leonora y BRAVO, Verónica. *Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles:¿ hacen daño a la salud?;¿ podemos hacer algo?*, 69, 2003, Gaceta Ecológica, págs. 29-44.

CAÑADA, M y MORENO, A. *La contraposición en la distribución espacial de dos contaminantes en el aire urbano de Madrid: un análisis basado en geotecnologías*. Madrid, 2015, Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación, págs. 551 - 560

ESTADOS UNIDOS. COMMISSION ENVIRONMENTAL COOPERATION. El mosaico de América del Norte panorama de los problemas ambientales más relevantes. [En línea] (Revista). *Commission for environmental cooperation*. 2008. [Consulta: 4 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2349-north-american-mosaic-overview-key-environmental-issues-es.pdf>.

CHALACÁN, Roberto. Evaluación de PM10 y PM2.5 en la ciudad de Riobamba afectada por el volcán Tungurahua y validación del método de análisis. [En línea] (Tesis) (Titulación). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*. 2009. [Consulta: 1 de Mayo de 2016]. Disponible en: <http://dspace.ESPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/230/1/236T0016.pdf>.

DE LA MORENA, Benito. *Análisis de la concentración de O3 y NOx (NO + NO2) en Andalucía Occidental*. 2008, Conama 8, págs. 8-9.

DELGADO, Juana. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. [En línea] (Tesis). (Doctorado). *Tesis doctorales en red, España*. 2004. [Consulta: 4 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/10539>.

DÍAZ, Pértegas y FERNÁNDEZ, Pita. Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal. [En línea] (Revista). *Fisterra*, 2002. [Consulta: 15 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://test.fisterra.com/gestor/upload/guias/pearson2.pdf>.

DICKSON, T. *Química enfoque ecológico*. Distrito Federal : LIMUSA, 2003.

ESTADOS UNIDOS. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. Extensión de salida (configuración del entorno). *ArcGIS Pro Desktop*. [En línea] 2017. [Consulta: 16 de Junio de 2017]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/environment-settings/output-extent.htm>.(Licencia Estudiantil)

FEBRES, Erick. Caracterización de polos como medios de protección contra la radiación solar UV en una empresa pecuaria. *Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería*. [En línea] 2015. [Consulta: 25 de Mayo de 2017]. Disponible: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2649/1/febres_me.pdf.

FERRERO, Eduardo. et al., *Comparación de los niveles de contaminación por dióxido de nitrógeno entre el ambiente interno de las viviendas familiares y el ambiente exterior*. 2000, Universidad Tecnológica Nacional, págs. 1 - 5

GALÁN, David y FERNÁNDEZ, Rosalía. *Implicación de los NOx en la química atmosférica*. 2006, Revista electrónica de medioambiente, págs. 90-103.

GONZÁLEZ KIRCHNER, Beatriz . 2012. Ciudades para un Futuro más Sostenible. *Temas de sostenibilidad urbana Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*. [En línea] 2012. [Consulta: 29 de 05 de 2017]. Disponible: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-ozono-troposferico.html>.

JIMÉNEZ, Julio y LINARES, Cristina. Salud ambiental y calidad de vida urbana. *Educación para el desarrollo sostenible - Calidad del aire*. [En línea] (Revista). 2005. [Consulta: 15 de Junio de 2017]. Disponible en: http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Educacion_Ambiental/ContenidosBasicos/Publicaciones/SaludAmbientalCalidadVidaUrb/SaludAmbiental_Y_Calidad_de_VidaUrbana.pdf.

LEDESMA, M y LEDESMA, J. *Principios de meteorología y climatología*. Madrid : Parainfo, S.A, 2011. págs. 1-2.

LÓPEZ, Fernanda. Distribución espacial de contaminantes gaseosos NO₂, SO y O₃ mediante el método de interpolación determinista y exacto IDW. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador*. 2014. [Consulta: 4 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4024>.

ECUADOR. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Plan Nacional de la Calidad de Aire. *Ministerio del Ambiente*. [En línea] 2010. [Consulta: 1 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>.

MANAHAN, S. *Química Ambiental*. Distrito Federal : UNAM, 2011.

MANTILLA, Enrique. et al., Ozono Troposférico y calidad del aire. [En línea] (Revista). *Generalitat Valenciana*. 2015. [Consulta: 10 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.agroambient.gva.es/web/calidad-ambiental/ozono-troposférico-y-calidad-del-aire>.

MARCANO, José. La contaminación atmosférica. [En línea] (Revista). *La Educación Ambiental*. 2006. [Consulta: 10 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf3.html>.

MARTÍNEZ, Ernesto y DÍAZ, Yolanda. *Contaminación Atmosférica*. España : Universida de la Castilla, 2004.

MOLINA, Pedro. Simulación numérica de un problema de contaminación atmosférica. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España*. 2013. [Consulta: 4 de Mayo de 2017]. Disponible en: http://oa.upm.es/30472/1/PEDRO_MOLINA_JIMENEZ.pdf.

MONTERO, Cecilia. Pronostico de la calidad del aire en el área metropolitana de la ciudad de México a través del análisis de las series de tiempo de los componentes de

MÉXICO. INDICE METROPOLITANO DE CALIDAD DEL AIRE. *Repositorio Universidad Iberoamericana.* [En línea] 2011. [Consulta: 10 de mayo de 2017]

MORALES, C. et al., *Isla de calor en Toluca, México.* 2007, *Ciencia Ergo Sum*, págs. 307-316.

OSORIO, María. Modelo Batimétrico de la bahía de Petacalco. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Nacional Autónoma de México, México.* 2010. [Consulta: 4 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3254/Tesis.pdf?sequence=1>.

PUJADAS, Manuel. Formación y transporte de dióxido de nitrógeno en la cuenca aérea de madrid en situaciones episódicas de invierno. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Complutense de Madrid. España.* 2002. [Consulta: 1 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://eprints.ucm.es/4403/1/T26209.pdf>.

QUEROL, Xavier. *Calidad de aire, partículas en suspensión y metales.* Barcelona : s.n., 2008, *Rev Esp Salud Pública*, págs. 1-7.

QUEVEDO, Karim y SÁNCHEZ, Kevin. *Comparación de dos métodos de interpolación para la estimación de la temperatura del aire aplicando técnicas geoestadísticas.* 2009, *Revista Peruana Geo-Atmosférica*, págs. 90 - 107.

RAMÍREZ, Evangelina y VIVANCO, Sonia. Análisis de parámetros meteorológicos utilizando el modelo de la rosa de los vientos. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Autónoma de Nuevo León. Mexico.* 2014. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-16.../AM4_res_extenso_E.Ramirez.pdf.

RANGEL, Adriana. et al., *Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental.* 2002, *Ingeniería*, Vol. 7, págs. 31-38.

RODRÍGUEZ, Heyner. *Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá D.C.* 2014, Revista de Geomatica, págs. 7-11.

ROMERO, Elizabeth y REYES, Lázaro. *Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca.* 2009, Contacto Nuclear, págs. 12-17.

ROSALES, José. et al., *Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos.* 2001, Salud pública de México, págs. 544 - 555.

SÁNCHEZ, Hugo. Comportamiento espacial de las partículas suspendidas PM 10 y estrategias de gestión Ambiental del Aire en la Zona Metropolitana de Toluca, México. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Autónoma del Estado de México. Mexico.* 2015. [Consulta: 20 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/49372>.

SOLÍS, Luz y LÓPEZ, Jerónimo. *Principios básicos de contaminación ambiental.* Toluca : Universidad Autónoma del Estado de México, 2003.

UNIVERSIDAD DE JAÉN, ANDALUCIA, ESPAÑA. UJAEN. Análisis de la calidad del aire atmosférico. [En línea] (Tesis). (Maestría). 2009. [Consulta: 27 de Mayo de 2017]. Disponible en: http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema9.pdf.

ANEXOS

ANEXO A. MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO

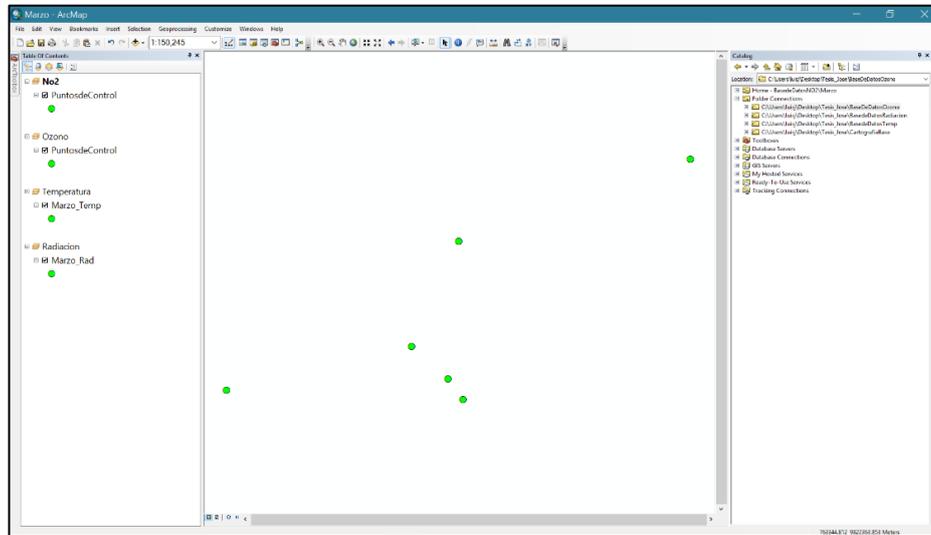


Figura 1. Exportación de la base de datos a formato shapefile

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

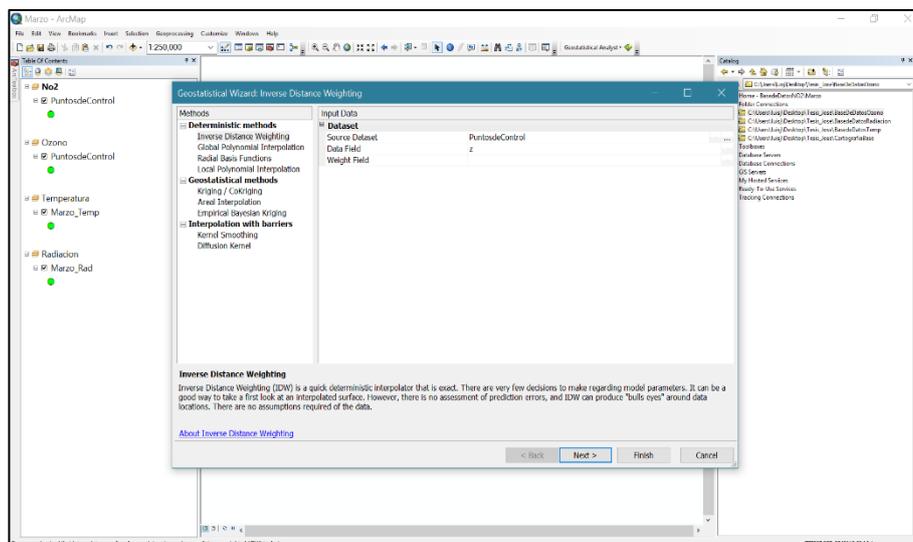


Figura 2. Configuración del modelo IDW

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

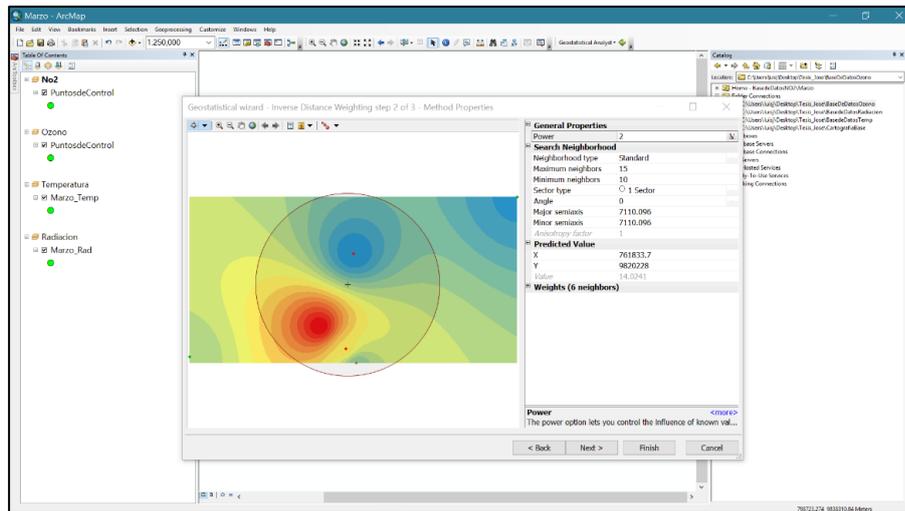


Figura 3. Vista preliminar del modelo de interpolación generado por Geostatistical Wizard

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

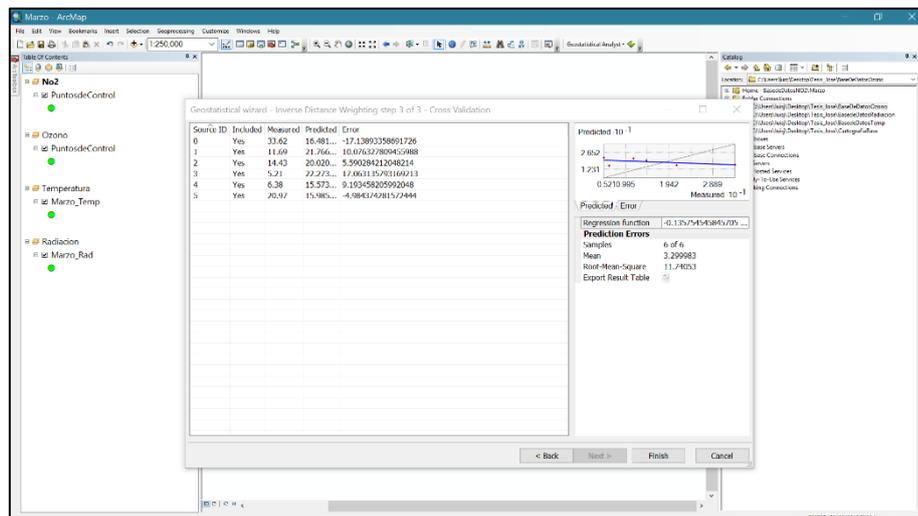


Figura 4. Determinación del error de la predicción

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

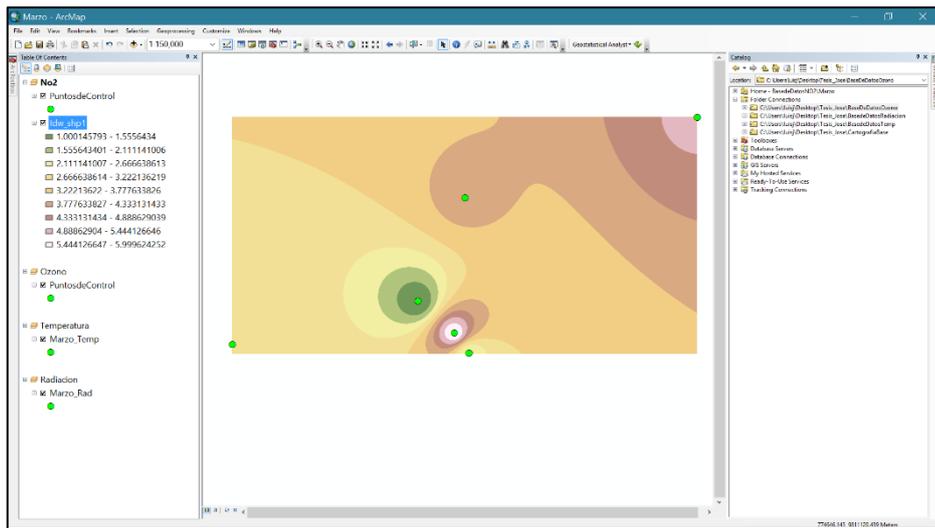


Figura 5. Obtención de la imagen raster de interpolación

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

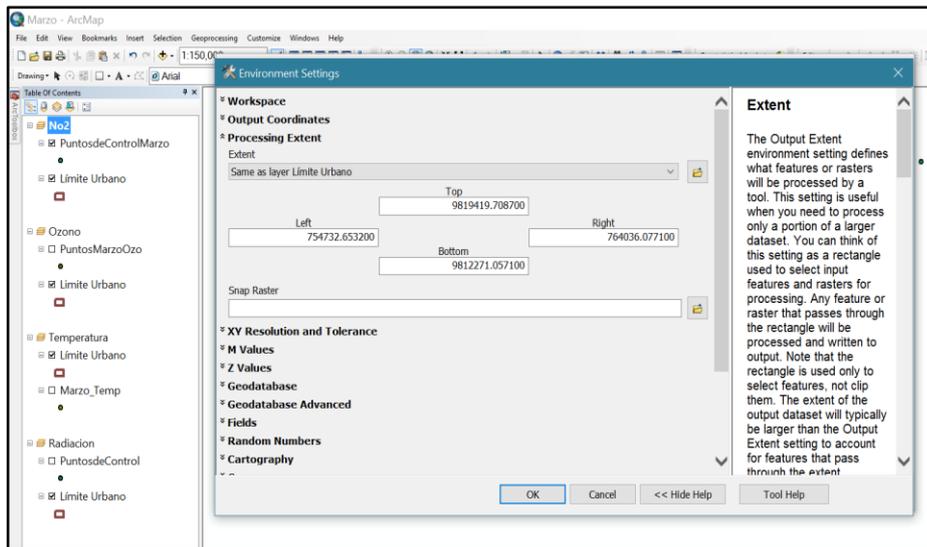


Figura 6. Configuración del proceso de extrapolación de la imagen raster para NO₂ y O₃

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

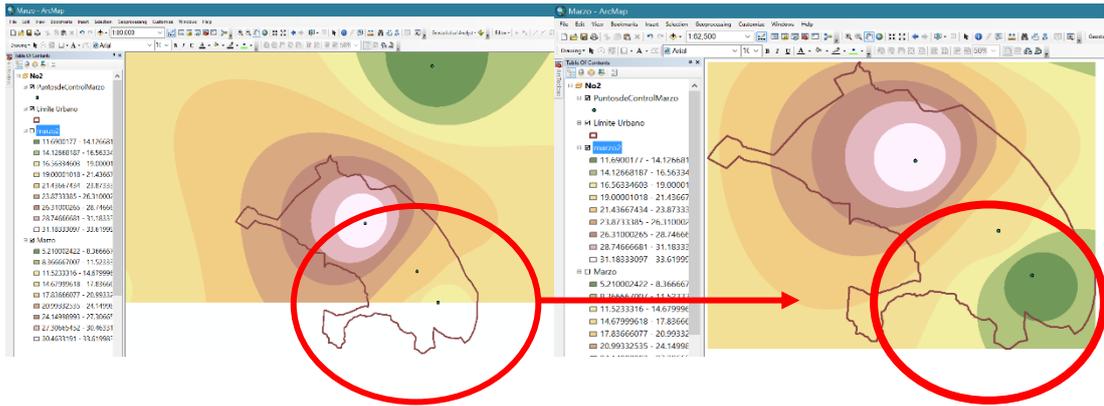


Figura 7. Imágen raster extrapolada

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

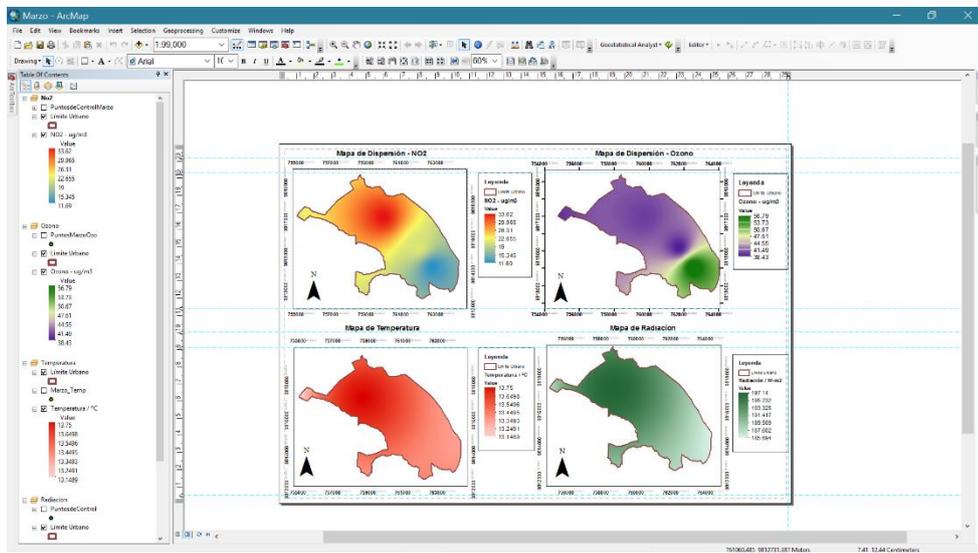


Figura 8. Presentación final de los mapas temáticos

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

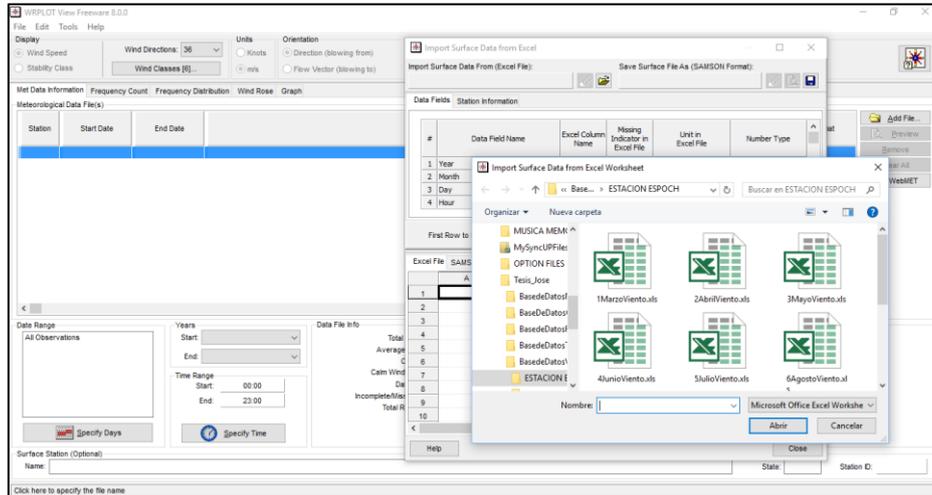


Figura 9. Generación de una base de datos para vientos

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

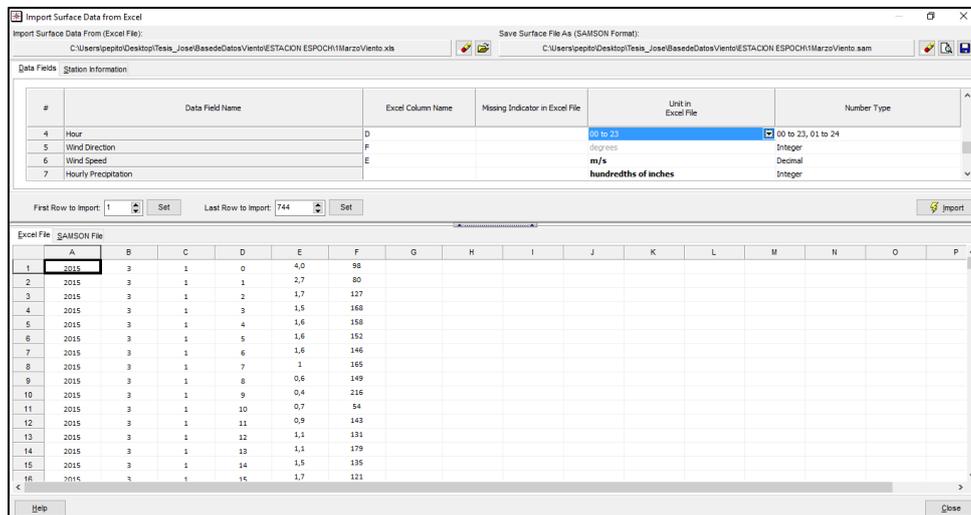


Figura 10. Importación del documento Excel hacia el software WRPLOT VIEW, atribuyendo el nombre de columnas; año (columna A), mes (columna B), día (columna C), hora (columna D), velocidad del viento (columna F) y dirección del viento (columna E).

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

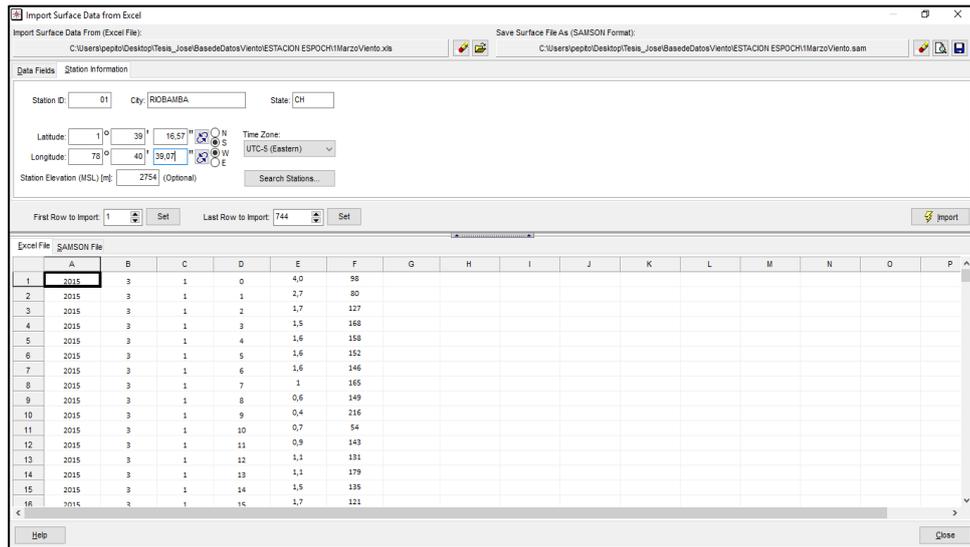


Figura 11. Configuración de la información básica de la estación meteorológica

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

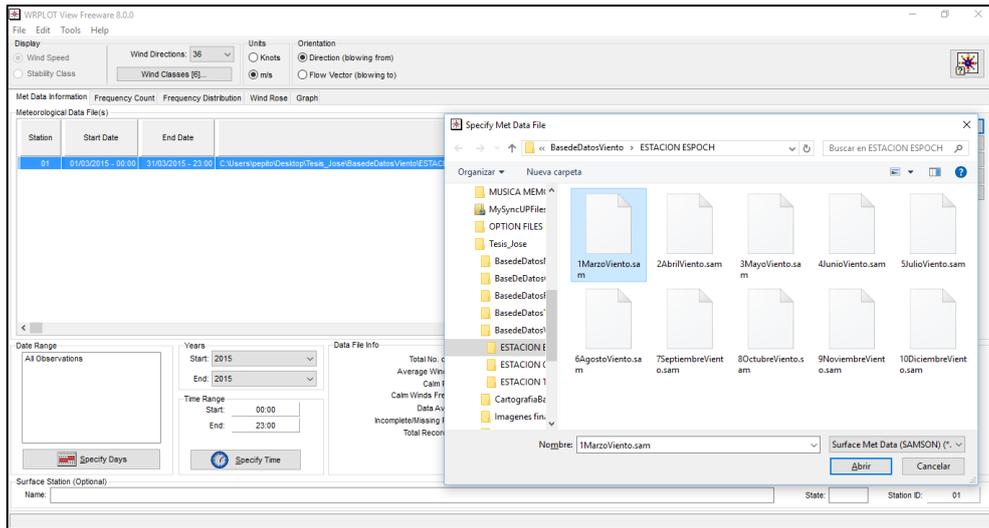


Figura 12. Generación del archivo .Sam en el software WRPLOT VIEW

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

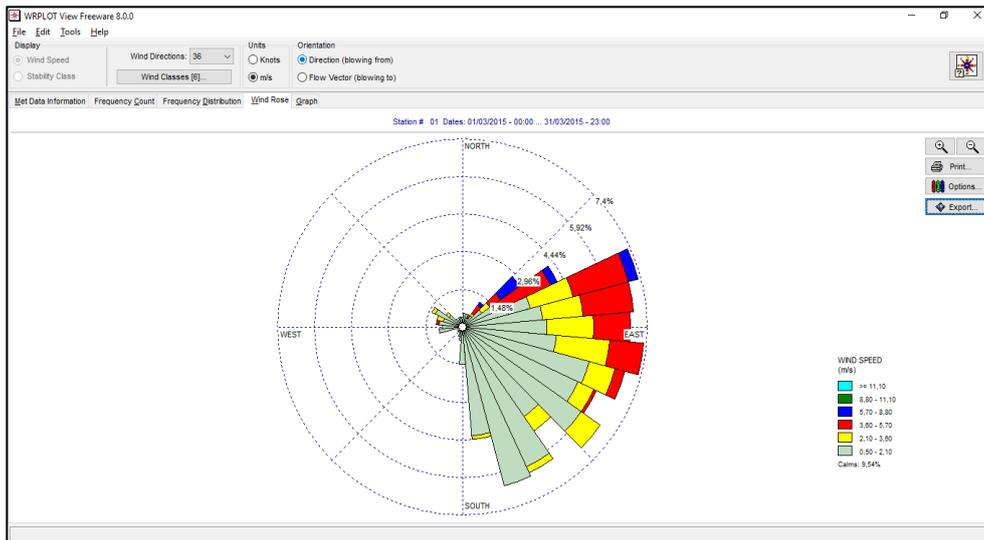


Figura 13. Generación de la Rosa de Vientos en el software WRPLOT VIEW

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

ANEXO B. BASE DE DATOS PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO

1. Base de datos para NO₂

1.1. Marzo

Tabla 1. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) - marzo

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	33.62	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	11.69	EMAPAR
3	749611	9814587	14.43	Gatazo
4	762285	9822634	5.21	Guano
5	774932	9827050	6.38	Penipe
6	761710	9815217	20.97	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.2. Abril

Tabla 2. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) - abril

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	30.58	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	13.25	EMAPAR
3	749611	9814587	12.14	Gatazo
4	762285	9822634	8.26	Guano
5	774932	9827050	5.68	Penipe
6	761710	9815217	22.78	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.3. Mayo

Tabla 3. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) - mayo

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	30.58	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	13.25	EMAPAR
3	749611	9814587	12.14	Gatazo
4	762285	9822634	8.26	Guano
5	774932	9827050	5.68	Penipe
6	761710	9815217	22.78	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.4. Junio

Tabla 4. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) - junio

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	6.49	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	15.55	EMAPAR
3	749611	9814587	8.41	Gatazo
4	762285	9822634	11.21	Guano
5	774932	9827050	14.12	Penipe
6	761710	9815217	6.07	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.5. Julio

Tabla 5. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) - julio

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	1.82	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	4.66	EMAPAR
3	749611	9814587	23.8	Gatazo
4	762285	9822634	3.64	Guano
5	774932	9827050	42.92	Penipe
6	761710	9815217	2.54	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.6. Agosto

Tabla 6. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) – agosto.

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	32.66	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	7.24	EMAPAR
3	749611	9814587	8.49	Gatazo
4	762285	9822634	15.34	Guano
5	774932	9827050	24.67	Penipe
6	761710	9815217	35.15	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.7. Septiembre

Tabla 7. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) – septiembre.

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	19.7	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	1.28	EMAPAR
3	749611	9814587	30.14	Gatazo
4	762285	9822634	20.18	Guano
5	774932	9827050	50.73	Penipe
6	761710	9815217	5.19	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.8. Octubre

Tabla 8. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) – octubre.

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	33.03	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	2.67	EMAPAR
3	749611	9814587	71.14	Gatazo
4	762285	9822634	15.45	Guano
5	774932	9827050	0.31	Penipe
6	761710	9815217	1.26	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.9. Noviembre

Tabla 9. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) – noviembre.

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	27.19	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	7.45	EMAPAR
3	749611	9814587	22.94	Gatazo
4	762285	9822634	24.67	Guano
5	774932	9827050	12.12	Penipe
6	761710	9815217	27.38	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

1.10. Diciembre

Tabla 10. Concentraciones promedio de NO₂ (µg/m³) – diciembre.

Id	x	y	NO₂	Descripción
1	759711	9816958	86.25	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	4.93	EMAPAR
3	749611	9814587	54.52	Gatazo
4	762285	9822634	50.54	Guano
5	774932	9827050	16.22	Penipe
6	761710	9815217	24.79	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2. Base de datos para O₃

2.1. Marzo

Tabla 1. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – marzo.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	39.87	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	56.79	EMAPAR
3	749611	9814587	27.8	Gatazo
4	762285	9822634	44.02	Guano
5	774932	9827050	50.58	Penipe
6	761710	9815217	38.43	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.2. Abril

Tabla 2. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – abril.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	25.07	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	32.5	EMAPAR
3	749611	9814587	39.22	Gatazo
4	762285	9822634	31.08	Guano
5	774932	9827050	34.98	Penipe
6	761710	9815217	28.81	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.3. Mayo

Tabla 3. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – mayo.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	17.17	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	20	EMAPAR
3	749611	9814587	28.57	Gatazo
4	762285	9822634	18.8	Guano
5	774932	9827050	28.88	Penipe
6	761710	9815217	15.18	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.4. Junio

Tabla 4. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – junio

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	20.43	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	24.38	EMAPAR
3	749611	9814587	30.93	Gatazo
4	762285	9822634	24.56	Guano
5	774932	9827050	30.71	Penipe
6	761710	9815217	13.27	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.5. Julio

Tabla 5. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – julio.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	6.71	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	11.19	EMAPAR
3	749611	9814587	13.31	Gatazo
4	762285	9822634	13.75	Guano
5	774932	9827050	11.97	Penipe
6	761710	9815217	7.8	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.6. Agosto

Tabla 6. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – agosto.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	16.25	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	20.69	EMAPAR
3	749611	9814587	20.34	Gatazo
4	762285	9822634	21.21	Guano
5	774932	9827050	21.64	Penipe
6	761710	9815217	18.58	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.7. Septiembre

Tabla 7. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – septiembre.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	18.08	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	31.56	EMAPAR
3	749611	9814587	22.98	Gatazo
4	762285	9822634	28.97	Guano
5	774932	9827050	37.73	Penipe
6	761710	9815217	17.79	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.8. Octubre

Tabla 8. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – octubre.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	18.75	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	11.18	EMAPAR
3	749611	9814587	14.01	Gatazo
4	762285	9822634	16.45	Guano
5	774932	9827050	22.54	Penipe
6	761710	9815217	9.36	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.9. Noviembre

Tabla 9. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – noviembre

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	15.66	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	11.02	EMAPAR
3	749611	9814587	23.64	Gatazo
4	762285	9822634	21.05	Guano
5	774932	9827050	22.04	Penipe
6	761710	9815217	11.26	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

2.10. Diciembre

Tabla 10. Concentraciones promedio de O₃ (µg/m³) – diciembre.

Id	x	y	O₃	Descripción
1	759711	9816958	11.92	Asociación de municipalidades
2	762511	9814100	19.88	EMAPAR
3	749611	9814587	10.9	Gatazo
4	762285	9822634	23.11	Guano
5	774932	9827050	15.2	Penipe
6	761710	9815217	18.63	Merced

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3. Base de datos para Temperatura

3.1. Marzo

Tabla 1. Temperatura promedio (°C) – marzo.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10.93	San Juan
2	758398	9816965	13.75	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	13.36	Quimiag
4	764087	9806678	13.75	Tunshi
5	754533	9835326	7.61	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.2. Abril

Tabla 2. Temperatura promedio (°C) – abril.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10.47	San Juan
2	758398	9816965	13.39	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	12.9	Quimiag
4	764087	9806678	13.18	Tunshi
5	754533	9835326	7.26	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.3. Mayo

Tabla 3. Temperatura promedio (°C) – mayo.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10.5	San Juan
2	758398	9816965	13.32	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	12.73	Quimiag
4	764087	9806678	13.06	Tunshi
5	754533	9835326	7.39	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.4. Junio

Tabla 4. Temperatura promedio (°C) – junio.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10	San Juan
2	758398	9816965	12.56	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	11.94	Quimiag
4	764087	9806678	12.35	Tunshi
5	754533	9835326	6.54	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.5. Julio

Tabla 5. Temperatura promedio (°C) – julio.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	9.93	San Juan
2	758398	9816965	12.75	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	12.18	Quimiag
4	764087	9806678	12.6	Tunshi
5	754533	9835326	6.67	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.6. Agosto

Tabla 6. Temperatura promedio (°C) – agosto.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10.06	San Juan
2	758398	9816965	12.84	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	12.13	Quimiag
4	764087	9806678	12.64	Tunshi
5	754533	9835326	6.47	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.7. Septiembre

Tabla 7. Temperatura promedio (°C) –septiembre.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	10.38	San Juan
2	758398	9816965	13.29	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	12.5	Quimiag
4	764087	9806678	12.87	Tunshi
5	754533	9835326	6.77	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.8. Octubre

Tabla 8. Temperatura promedio (°C) – octubre.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	11.06	San Juan
2	758398	9816965	14.06	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	13.35	Quimiag
4	764087	9806678	13.86	Tunshi
5	754533	9835326	7.44	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.9. Noviembre

Tabla 9. Temperatura promedio (°C) – noviembre.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	11.16	San Juan
2	758398	9816965	14.1	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	13.52	Quimiag
4	764087	9806678	13.99	Tunshi
5	754533	9835326	7.89	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

3.10. Diciembre

Tabla 10. Temperatura promedio (°C) – diciembre.

Id	x	y	Temperatura	Descripción
1	746640	9818849	11.17	San Juan
2	758398	9816965	14	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	13.15	Quimiag
4	764087	9806678	13.69	Tunshi
5	754533	9835326	7.57	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4. Base de datos para Radiación

4.1. Marzo

Tabla 1. Radiación promedio (W/m²) – marzo.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	146.79	San Juan
2	758398	9816965	197.14	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	178.42	Quimiag
4	764087	9806678	190.26	Tunshi
5	754533	9835326	146.29	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.2. Abril

Tabla 2. Radiación promedio (W/m²) – abril.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	154.29	San Juan
2	758398	9816965	218.13	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	192.29	Quimiag
4	764087	9806678	205.41	Tunshi
5	754533	9835326	164.67	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.3. Mayo

Tabla 3. Radiación promedio (W/m²) – mayo.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	145.22	San Juan
2	758398	9816965	205.22	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	169.34	Quimiag
4	764087	9806678	188.69	Tunshi
5	754533	9835326	156.67	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.4. Junio

Tabla 4. Radiación promedio (W/m²) – junio.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	158.82	San Juan
2	758398	9816965	210.61	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	163.87	Quimiag
4	764087	9806678	188.57	Tunshi
5	754533	9835326	132.52	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.5. Julio

Tabla 5. Radiación promedio (W/m²) – julio.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	157.97	San Juan
2	758398	9816965	214.23	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	183.44	Quimiag
4	764087	9806678	204.82	Tunshi
5	754533	9835326	158.99	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.6. Agosto

Tabla 6. Radiación promedio (W/m²) – agosto.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	172.53	San Juan
2	758398	9816965	227.11	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	184.53	Quimiag
4	764087	9806678	215.74	Tunshi
5	754533	9835326	162.82	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.7. Septiembre

Tabla 7. Radiación promedio (W/m²) – septiembre.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	188.5	San Juan
2	758398	9816965	249.68	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	216.16	Quimiag
4	764087	9806678	238.92	Tunshi
5	754533	9835326	197.67	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.8. Octubre

Tabla 8. Radiación promedio (W/m²) – octubre.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	161.57	San Juan
2	758398	9816965	224.97	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	186.06	Quimiag
4	764087	9806678	215.51	Tunshi
5	754533	9835326	172.13	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.9. Noviembre

Tabla 9. Radiación promedio (W/m²) – noviembre.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	156.58	San Juan
2	758398	9816965	213.64	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	195.56	Quimiag
4	764087	9806678	213.3	Tunshi
5	754533	9835326	161.63	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)

4.10. Diciembre

Tabla 10. Radiación promedio (W/m²) – diciembre.

Id	x	y	Radiación	Descripción
1	746640	9818849	147.34	San Juan
2	758398	9816965	238.63	ESPOCH-Riobamba
3	770083	9816392	192.4	Quimiag
4	764087	9806678	210.03	Tunshi
5	754533	9835326	196.55	Urbina

Elaborado por: Latorre, J. (2017)