

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS:

**“ESTUDIOS NUMÉRICOS DE QUÍMICA ATMOSFÉRICA
UTILIZANDO EL MODELO CCATT-BRAMS (Modelo de
dispersión) PARA LA CIUDAD DE LIMA”**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN:
GESTIÓN AMBIENTAL**

ELABORADO POR:

MARIA EUGENIA KING SANTOS

ASESOR:

PHD. ODÓN ROMÁN SÁNCHEZ CCOYLLO

LIMA- PERÚ

AÑO 2017

DEDICATORIA.

A Dios Todopoderoso por darme salud, por brindarme los medios para culminar esta meta que hoy alcanzó., por llevar mi mano en los momentos en que pensé que no podía continuar.

A mis padres Amparo y Exequiel King por enseñarme a luchar por lo que se desea alcanzar, por sus consejos, por su apoyo incondicional en mi vida.

A Warren Reátegui sin tu presencia en mi vida este logro no sería posible, gracias por tu apoyo y consejos en este camino que hemos recorrido juntos.

AGRADECIMIENTOS.

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Ambiental; por haberme permitido estudiar esta carrera y mejorar mis conocimientos.

A mi asesor Dr Odón Román Sánchez Ccoyllo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú., por haberme proporcionado el tema de la presente tesis y además por su valioso apoyo, por su tiempo, por permitirme visitar las estaciones de SENAMHI) y manejo de equipos, por mis asistencias a los cursos Internacionales desarrollados en SENAMHI lo que contribuyó a una excelente asesoría durante el desarrollo de la tesis.

Al Prof. Alejandro Mendoza quién a través del curso de Investigación I y su disponibilidad de tiempo posteriormente me permitió alcanzar este trabajo final

ÍNDICE.

DEDICATORIA.	ii
AGRADECIMIENTO.	iii
ÍNDICE	iv
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.	14
CAPÍTULO I:	
1.1 Antecedentes Bibliográficos.	18
1.2 Planteamiento del problema.	18
1.3 Justificación e importancia de la investigación.	19
1.4 Objetivos.	20
1.4.1 Objetivos general.	20
1.4.2 Objetivos específicos.	20
1.5. Hipótesis.	20
1.6. Variables.	20
1.7 Unidad de análisis.	21
1.7.1 Área de influencia.	22
1.7.2 Superficie y clima.	22
1.7.3 Delimitación geográfica y población.	25
1.7.4 Contaminantes atmosféricos monitoreados.	26
1.7.5 Determinación del tiempo de muestreo.	26
1.7.6 Condiciones meteorológicas en el distrito S.J.L.	27
1.7.7 Concentración de los contaminantes del aire: Junio 2015	27
1.7.8 Concentración de los contaminantes del aire: Diciembre 2015	28
1.7.9 Contaminantes considerados en la investigación	29
1.8 Inventarios de emisiones.	30
1.9 Inventarios de emisiones de contaminantes.	31
1.9.1 Datos globales: Retro y Edgar.	31
1.9.2 Banco global de las emisiones totales.	32
1.10. Mecanismos químicos.	32
1.10.1 Mecanismos químicos.	32
1.10.2 El mecanismo Carbon – Bond.	39

1.10.3 Mecanismo de evaluación.	42
1.11. Metodología	45
1.11.1 Módulo de emisiones de pre tratamiento: Prep- Chem -Src	49
1.11.2 Módulo pre procesamiento de mecanismos Químicos: M-Spack	51
1.11.3 Pre módulo de procesamiento de condiciones iniciales y de Contorno: DPREP	51
1.11.4 Módulo post tratamiento de análisis de CCATT-BRAMS: Ramspost	52
1.12 Parámetros Estadísticos	52
1.13. Fuentes de información e instrumentos utilizados	54
1.13.1 Instrumento utilizados	54
1.13.2 Rango de aplicación	56
1.14. Método de análisis	60
CAPÍTULO II	
2.1 MARCO TEÓRICO	63
2.1.1 La circulación atmosférica.	65
2.1.2 La capa límite.	65
2.1.3 Modelización matemática de dispersión	66
2.1.4 Escalas espaciales y temporales de los procesos atmosféricos.	67
2.2 Marco conceptual	70
CAPÍTULO III	
3.1 DESARROLLO DEL TRABAJO DE LA TESIS	71
CAPÍTULO IV.	
4.1 ANÁLISIS, RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	108
4.2 CONSTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	115
CONCLUSIONES.	116
RECOMENDACIONES.	118
REFERENCIAS.	119
GLOSARIO	123
ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 7.1 Estimación de la población por áreas interdistritales de Lima	23
Tabla 7.2 Relación de estaciones automáticas de monitoreo de la Calidad del aire	24
Tabla 10.1 El mecanismo de Carbono-Bond	38
Tabla 10.2 Comparación del tamaño de los mecanismos CB06 y CB05	40
Tabla 13.1 Características del equipo TEOM 1405	55
Tabla 2.1 Categorización de escalas atmosféricas	69
Tabla 3.1 M.I.1 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM _{2.5} Simulado y desviación estándar	72
Tabla 3.2 M.I.2 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM _{2.5} Observado y Desviación Estándar.	73
Tabla 3.3 M.I.3 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar.	74
Tabla 3.4 M.I.4 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Observado) y desviación estándar.	75
Tabla 3. 5 M.I.5 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO)	76
Tabla 3.6 M.I.6 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO)	77
Tabla 3.7 M.I.7 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	78
Tabla 3.8 M.I.8 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas (PM ₁₀) Modelo y desviación estándar.	79
Tabla 3.9 M.I.9 Promedio horario del mes de Diciembre 2015 de la Concentración de Partículas PM ₁	80
Tabla 3. 10 L.I.1 Promedio horario de la concentración de Partículas PM ₁₀ Simulado y desviación estándar en el mes de Junio del 2015	96
Tabla 3.11 L.I .2 Promedio horario de la concentración de Partículas PM ₁₀ (Observado) y desviación estándar en el mes de	

Junio del 2015.	97
Tabla 3.12 L.I.3 Promedio horario de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.	97
Tabla 3.13 L.I.4 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Simulado y desviación estándar en el mes de Junio del 2015	98
Tabla 3.14 L.I.5 Promedio horario de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) Modelo y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.	98
Tabla 3.15 L.I.6 Promedio horario de la concentración de Partículas PM _{2.5} (Modelo) y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.	99
Tabla 3.16. M.I.1. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM ₁₀ (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de diciembre del 2015.	100
Tabla 3.17. M.I.2. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM _{2.5} (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L en el mes de Diciembre del 2015.	101
Tabla 3.18 M.I.3. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de La concentración de Partículas de Óxido de Nitrógeno (NO) (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de Diciembre del 2015.	102
Tabla 3.19. M.I.4. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de Diciembre del 2015.	103
Tabla 3.20. M.I.5. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio	

horario de la Concentración de Partículas de Ozono (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de Diciembre del 2015.	104
Tabla 3.21. N.I.1. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM10 (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	106
Tabla 3.22. N.I.2. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de La concentración de Partículas PM2.5 (Simulado y Observado) en la estación de S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	107

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 7.1 Mapa de la ciudad de Lima.	21
Figura 7.3 Ubicación del distrito de San Juan de Lurigancho en Lima y Callao.	25
Figura 10.1 COR, NOX y formación fotoquímica de Ozono en la Troposfera.	33
Figura 11.1 Esquema del sistema CCATT-BRAMS .	48
Figura 13.1 TEOM 1405 monitor de partículas ambientales	57
Figura 13.2 Modelo 5014 monitor de partículas	59
Figura 2.1 La estructura vertical de la atmósfera	64
Figura 3.1 Concentración de PM 10 simulada y observada para el mes de Diciembre en la estación de SJL	81
Figura 3.2 Concentración de PM2.5 simulado y observado para el mes de Diciembre	82
Figura 3.3 Concentración simulada y observada de Ozono para el mes de Diciembre en la estación de SJL.	83
Figura 3.4 Concentración simulada y observado de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) para el mes de diciembre en la Estación de SJL.	84
Figura 3.5 Concentraciones de NO simulado y observado para el mes Diciembre	85
Figura 3.6 Concentraciones PM ₁₀ simuladas y observadas para el mes de Junio	86
Figura 3.7 Concentraciones PM _{2,5} simuladas y observadas para el mes de Junio	87
Figura 3. 8 Promedio horario de la concentración de Ozono (Simulado) y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Diciembre del 2015	88
Figura 3.9 Promedio horario de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) (Simulado) y desviación estándar en la estación S.J. L. en el mes de Diciembre del 2015.	89
Figura 3.10 Promedio horario de la concentración de Partículas (PM10) Simulado y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	90

Figura 3.11 Promedio horario de la concentración de Partículas PM (2.5) Simulado y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	91
Figura 3.12 Promedio horario de la concentración de Partículas PM (2.5) Simulado y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	92
Figura 3.13 Promedio horario de la concentración de Partículas PM _{2.5} (Observado) y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	93
Figura 3.14 Promedio horario de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	94
Figura 3.15 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) y desviación estándar en la estación S.J.L. en el mes de Junio del 2015.	95
Figura 4.1 Concentraciones de PM ₁₀ Simulado y Observado para el mes de Diciembre en la estación de S.J.L.	108
Figura 4.2 Concentraciones de PM _{2.5} simulado y Observado para el mes de Diciembre	109
Figura 4.3 Concentraciones Simulado y Observado de Ozono para el mes de Diciembre en la estación de S.J.L.	110
Figura 4.4 Concentraciones Simulado y Observado de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) para el mes de Diciembre en la estación de S.J.L.	111
Figura 4.5 Concentraciones de NO simulado y Observado para el mes de Diciembre.	112
FIGURA 4.6 Concentraciones PM ₁₀ simuladas y observadas para el mes de Junio.	113
Figura 4. 7 Concentraciones PM _{2.5} simuladas y observadas para el mes de Junio.	114

ABREVIATURAS.

CB06: Carbón Bond 06. Mecanismo químico.

COR: Compuestos orgánicos reactivos.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

TEOM: Material particulado de diámetro menor o igual a 10 μm .

CPTEC: Centro de Predicción Meteorológica e Investigación Climática. Brasil.

BRAMS: Sistema de Modelación Regional Atmosférica.

SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

RACM: Modelo Regional Atmosférico del Clima.

EDGAR: Base de datos de emisión para investigación globales atmosférica.

RAML: Región del área Metropolitana de Lima.

RESUMEN.

Este trabajo presentará un estudio de Calidad del aire en la Región del área Metropolitana de Lima (RAML) con el objetivo de Evaluar el Rendimiento del Mecanismo Químico CB06 (Carbón Bond 06) utilizando el modelo CCATT-BRAMS (Modelo de Transporte - Químico Dinámico de calidad del Aire).

El CCATT-BRAMS es un modelo Euleriano, online, diseñado para estudios locales y regionales de la Química Atmosférica de la superficie a la Estratosfera, incluye ecuaciones de estado, este modelo está diseñado para funcionar con resoluciones horizontales que van desde unos pocos metros hasta más de cien kilómetros.

El modelo tiene un acoplamiento en línea con la meteorología y la Química lo cual permite al sistema que utilizará sintonizar el tiempo y la Química de manera simultánea formando una retroalimentación entre los dos.

El rendimiento del mecanismo químico CBO6 será evaluado en este trabajo a través de métodos estadísticos en Escala Regional, realizando una comparación con datos *in situ* en la región, en un estudio correspondientes a los meses de Diciembre y Junio del año 2015., en dichos períodos de tiempo se trabajó con la información de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) del Perú. El inventario de emisiones que se utilizó es el inventario oficial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación permiten concluir que el modelo captura las características básicas de las variaciones de los contaminantes en el mes de Diciembre del 2015 que durante el mes de Junio del mismo año, esto se debe a varias causas, primeramente durante el mes de Diciembre las variables meteorológicas: luz y temperatura son distintas al mes de Junio.

ABSTRACT.

This research will present an Air Quality Study in Lima Metropolitan Area (RAML, acronym in Spanish) The objective is to evaluate the performance of the CB06 chemical mechanism (Bond Carbon 06) using the CCATT-BRAMS model (Chemical-Dynamic transport model of air quality).

The CCATT-BRAMS is an Eulerian online model, designed for local and regional studies of atmospheric chemistry from the surface to the stratosphere, including state equations. This model is designed to work with horizontal resolutions ranging from a few meters to more of a hundred kilometers.

The model has a coupling in line with meteorology and chemistry which allows to synchronize time and chemistry simultaneously to form a feedback between the two.

The performance of CBO6 chemical mechanism will be evaluated in this work through statistical methods on Regional Scale, comparing with data in situ in the region, in a study since December to June, 2015. It was worked with the information of the National Service of Meteorology and Hydrology (Senamhi, acronym in Spanish) database from Peru. The emissions inventory used is about the Ministry of Transportation and Communications official inventory.

The results obtained in this research allow to conclude that the model captures basic characteristics of pollutants variations since December to June, 2015; this is due to several causes, first, in December the meteorological variables (light and temperature) are different to June.

INTRODUCCIÓN.

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es la consecuencia de la manera como se construyen nuestras ciudades. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre, y vapor de agua [1].

Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas, e hidrocarburos no quemados- todos ellos son contaminantes del aire [1].

El aire, principalmente de las grandes ciudades ya no es un espacio limpio, sino que está invadido por gases, compuestos particulados y volátiles, relacionados con una serie de efectos adversos para la salud. La OMS (Organización Mundial de la Salud) estima que si la contaminación por partículas en suspensión (PM), se reduce de 70 a 20 microgramos por metro cúbico, pueden evitarse el 15% de las muertes relacionadas con la calidad del aire y si se reduce el nivel de contaminación atmosférica, puede descender la carga de la morbilidad causada por infecciones respiratorias, cardiopatías y cáncer de pulmón [1].

Las partículas en suspensión o material particulado afectan a más personas que cualquier otro contaminante, consisten en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire y sus principales componentes son el carbón, el polvo de minerales, los sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruros y agua. Las partículas en suspensión se clasifican en función de su diámetro aerodinámico en: PM-10 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 μm) y PM-2,5 (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 μm). Estas últimas suponen mayor

peligro porque al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases [1].

Las partículas presentan un riesgo para los pulmones, incrementan las reacciones químicas en la atmósfera, reducen la visibilidad, aumentan la posibilidad de la precipitación, la niebla y las nubes; reducen la radiación solar, con los cambios en la temperatura ambiental y en las tasas biológicas del crecimiento de las plantas y ensucia las materias del suelo [1].

En realidad, las personas están expuestas a una combinación de contaminantes simultáneamente, y existe incertidumbre acerca de si estos contaminantes actúan de forma independiente o en combinación (sinérgica, antagónica, o de forma interactiva) para afectar a la salud humana [2].

En la actualidad en la Ciudad de Lima, no se ha realizado estudios numéricos de química atmosférica con el mecanismo químico **CB06** (*Carbón Bond 06*) utilizando el modelo **CCATT-BRAMS** (*Modelo acoplado de transporte de Aerosol y trazadores acoplado al BRAMS (Sistema de Modelación Regional Atmosférica)*), el presente trabajo de investigación proporcionará la información requerida para evaluar las estrategias para el control de emisiones y su impacto en la calidad del aire para apoyar la toma de decisiones, se generará información científica valiosa para comprender mejor la dinámica de la atmósfera y la contaminación del aire en la ciudad de Lima.

La aplicación de un modelo más actual y apropiado para estudios de la química atmosférica en Lima para las escalas regionales y locales proporcionará una mejor comprensión de los procesos físicos y químicos que controlan el transporte de contaminantes en la región y contribuirá a la estimación, evaluación y rendimiento del mecanismo químico **CB06** que simulan la calidad del aire a través de la aplicación del modelo **CCATT-BRAMS**.

Los modelos de calidad del aire usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan los contaminantes en su

dispersión y transformación en la atmósfera. La aplicación de un modelo es una tarea compleja [3].

Por lo tanto, el transporte de gases y los aerosoles son coherentes con el modelo atmosférico, minimizando errores obtenidos a partir de la interpolación numérica debido a los cambios en la composición química en cada paso de tiempo del modelo [3].

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el rendimiento del mecanismo CBO6 de control de la calidad del aire en la ciudad de Lima a través de la aplicación del modelo de transporte químico atmosférico CCATT- BRAMS. Para ello se realizará una compilación de bases de datos de las mediciones de la química atmosférica de la Estación de SENAMHI: San Juan de Lurigancho, con los resultados obtenidos se podrá evaluar la calidad del aire considerando los resultados que indica el modelo CCATT-BRAMS.

Es un modelo de transporte químico regional diseñado para los estudios locales y regionales de la atmósfera, la química de la superficie de la estratosfera inferior, adecuado a la investigación. Incluye química acuosa, gases, fotoquímica, recolección de residuos secos y deposición [4].

Todo el sistema está hecho de tres herramientas de software para mecanismos químicos definidos por el usuario, campos de emisiones de aerosoles y gases traza, la interpolación de condiciones iniciales y de frontera para la meteorología y la química [4].

El modelo utiliza la técnica de parametrizaciones físicas y formulaciones dinámicas para simular circulaciones atmosféricas. Este acoplamiento en línea de la meteorología y la química permite al sistema que se utilizará sintonizar el tiempo y la química de manera simultánea se forma un potencial de retroalimentación entre los dos [5].

BRAMS (*Sistema de Modelación Regional Atmosférica*), con numerosas funcionalidades nuevas y parametrizaciones especializadas para los trópicos y sub-trópicos. BRAMS es un modelo de predicción numérica multipropósito

diseñado para simular circulaciones atmosféricas que varían en resolución desde escalas hemisféricas hasta simulaciones de remolinos grandes de la capa límite planetaria [5].

La descripción del modelo se proporciona junto con las evaluaciones realizadas por el uso de datos de observación obtenidos de las estaciones terrestres de SENAMHI. Este modelo está concebido para funcionar con resoluciones horizontales que van desde unos pocos metros hasta más de cien kilómetros, dependiendo del objetivo científico [5].

También posee un sistema de parametrizaciones físicas de intercambio tierra-aire, turbulencia, convección, radiación y en la nube microfísica [5].

El modelo está equipado con un esquema múltiple de rejillas anidadas, el cual permite que las ecuaciones del modelo sean resueltas simultáneamente para cualquier número de mallas computacionales de diferente resolución espacial en interacción. Posee un conjunto complejo de paquetes para la simulación de procesos tales como: transferencia radiactiva, intercambios de agua superficie-aire, de calor y de momento; transporte turbulento en la capa límite planetaria y microfísica de las nubes [5].

CAPÍTULO I:

1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.

En principio, CCATT-BRAMS puede utilizar cualquier mecanismo químico por el usuario proporcionado. En la práctica, los recursos informáticos disponibles limitan el número de especies y reacciones. Hasta aquí tres mecanismos ampliamente utilizados de química de la troposfera se han probado: RACM – Modelo Regional Atmosférico del Clima, con 77 especies, Carbón Bond con 36 especies, y RELACS – *Regional Lumped Atmospheric Chemical Scheme*, con 37 especies [5].

RELACS es una reducción de RACM, siguiendo la ponderación por la reactividad de condensación, pero modificado de modo que RACM y las especies orgánicas son agrupados en nuevas especies. Según su naturaleza química y reactividad relativa no sólo a grupos OH, sino también a otros oxidantes [5].

El resultado es una reducción de 37 especies y 128 reacciones. Actualmente RELACS se utiliza para la predicción de la calidad del aire en funcionamiento en el CPTEC (Centro de Predicción Meteorológica e Investigación Climática. Brasil) debido a su reducido mecanismo que conduce a tiempos de computación asequibles [5].

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La contaminación del aire es fundamentalmente una consecuencia de las actividades humanas. Los problemas de salud causados por la contaminación del aire pueden verse influenciados por factores tales como: magnitud, alcance y duración de la exposición, edad, susceptibilidad de cada persona, entre otros [1].

Actualmente la principal causa de contaminación del aire en la ciudad de Lima es debida a las emisiones vehiculares y en menor escala debida a las

industrias. Es importante entonces, el estudio y análisis de los mecanismos químicos para formular los modelos que permitan predecir las concentraciones en la contaminación del aire. La contaminación atmosférica en centros urbanos es perjudicial a la salud de la población expuesta, lo que lleva a la preocupación mundial de este tema [9].

Por ello se estudiará el mecanismo CB06 para comprender el comportamiento, formación de los contaminantes en la atmósfera.

¿Cuál es el rendimiento del mecanismo químico CB06 que simulan la calidad del aire usando el modelo CCATT- BRAMS?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

La contaminación del aire es una amenaza aguda, crónica para la salud humana y el ambiente. Las personas están expuestas a contaminantes del aire en exteriores e interiores., estos contaminantes pueden ser mezclas que constan de múltiples contaminantes que pueden tener independiente o combinados efectos sobre la salud humana [1].

El crecimiento de la población en las grandes ciudades conduce a la degradación de la calidad del aire a escala local y regional, entre otros problemas. En los países en desarrollo, este problema se agrava generalmente por la flota de vehículos [10].

Las emisiones del tráfico en general, constituyen la principal fuente contaminación del aire en las zonas urbanas. El material particulado (PM) es uno de los componentes importantes de las emisiones del tráfico., Como resultado del proceso de combustión de los combustibles fósiles en los vehículos. Situaciones críticas surgen generalmente en áreas urbanas densamente urbanizadas [11].

La aplicación de un modelo actual para el estudio de la química atmosférica para la ciudad de Lima proporcionara una mejor comprensión de los

procesos físicos y químicos que controlan el transporte de contaminantes en la región.

En la actualidad en la Ciudad de Lima, no se ha realizado estudios comparativos con el mecanismo químico CB06 utilizando el modelo CCATT-BRAMS, esta acotación es importante, sobre todo teniendo en cuenta que se produce la formación de ozono, y de otras especies químicas que reaccionan en la troposfera, así mismo se podrá conocer las concentraciones de especies químicas del mecanismo a lo largo de la trayectoria estudiada.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el rendimiento del mecanismo químico Carbón Bond (CBO6) que simulan la calidad del aire en la ciudad de Lima a través de la aplicación del modelo CCATT- BRAMS.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Realizar simulaciones numéricas con el mecanismo químico CB06 usando el modelo CCATT- BRAMS para la ciudad de Lima.

1.5. HIPÓTESIS.

Usando el modelo CCATT-BRAMS se podrá conocer cuál es el rendimiento del mecanismo químico CBO6.

1.6. VARIABLES.

Las variables meteorológicas relacionadas en la investigación son: la Dirección y Velocidad de viento, la Temperatura, la Humedad.

En los meses de Junio y Diciembre año 2015 se realiza la investigación.

1.7. UNIDAD DE ANÁLISIS.

Unidad de Análisis.

La Provincia de Lima está conformada por 43 distritos en un área de 2812 km².

Se observa en la figura 7.1 se observan los nombres de cada distrito. Por su parte, la Provincia Constitucional del Callao cuenta con seis distritos (INEI, 2000). Juntos forman el área denominada Lima Metropolitana en la que se concentra la población, las actividades económicas y los flujos comerciales [13].

Como capital del Perú es la ciudad más grande del país y según el último censo realizado en 2007 la población asciende a 8.482.619 habitantes y la población estimada al 2012 es de 9.437.493 habitantes [13].

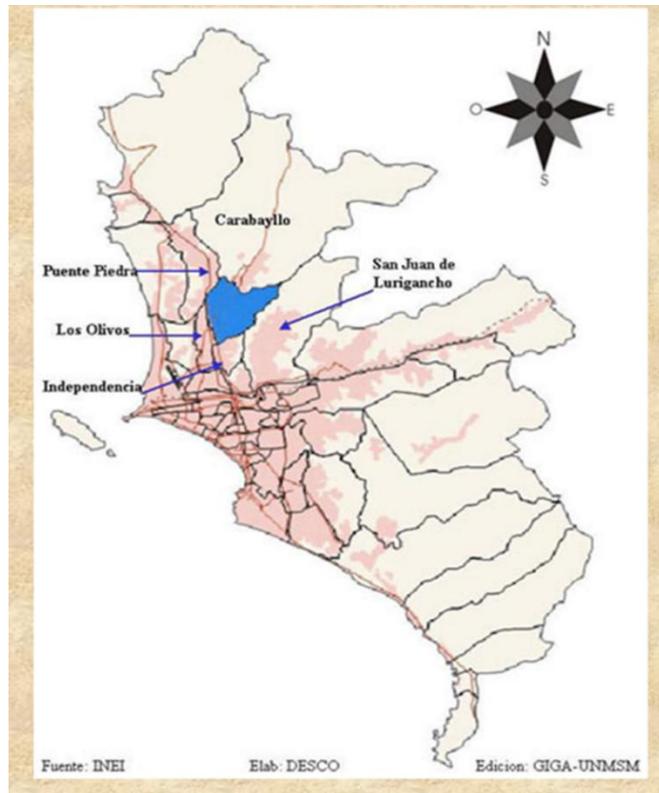


Figura 7.1 Mapa de la ciudad de Lima.

Fuente: [13]

1.7.1 ÁREA DE INFLUENCIA.

El distrito de San Juan de Lurigancho está ubicado al noreste de la Provincia de Lima, se desarrolla desde la margen derecha del río Rímac hacia las elevaciones del Cerro Colorado Norte, flanqueado hacia el este por divisoria de Cerro Mirador, Ladrón, Pirámide y Cantería; por el oeste la divisoria la definen los Cerros Balcón, Negro, y Babilonia.

La altura del territorio del distrito de San Juan de Lurigancho varía entre los 2240 m.s.n.m., en las cumbres del Cerro Colorado Norte y de 200 m.s.n.m que alcanza la ribera del río Rímac [13].

Sus límites son: Por el Norte con el distrito de San Antonio (provincia de Huarochirí), por el Este continúa limitando con el distrito mencionado y el distrito de Lurigancho - Chosica, por el Sur con los distritos de El Agustino y Lima (teniendo como línea divisoria al río Rímac), por el Oeste con los distritos de Rímac, Independencia, Comas y Carabayllo de la misma provincia de Lima [13].

Actualmente San Juan de Lurigancho supera el millón de habitantes [13].

1.7.2 SUPERFÍCIE Y CLIMA.

Su clima es de tipo desértico, con muy escasas precipitaciones en invierno y la temperatura media oscila entre los 17°C a 19°C. Sin embargo, el clima varía de acuerdo al lugar.

Por la parte baja del distrito, en los pueblos de San José, San Cristóbal, Vista Alegre y Santa Rosita de tres compuertas, así como la Urb. Zárate, el clima en invierno es frío, penetrante con constantes lloviznas originada por las brisas del río Rímac y por las filtraciones que es un factor que determina la humedad de esa zona [13].

En la parte media del distrito, por los pueblos de 15 de enero, La Providencia, Canto Chico, San Hilarión, Nuevo Perú, Sagrado Madero y

las urbanizaciones Inca Manco Cápac, Las Flores, San Carlos, etc. El clima es suave, menos frío y con ligeras lloviznas. Sin embargo, en la parte alta, en la zona denominada Canto Grande el clima es seco, de escasas lluvias, agradable, de poca humedad, cielo despejado y con sol casi todo el año. El sol en tiempo de verano es fuerte, los médicos recomiendan el lugar para las personas que sufren de bronquios, reumatismo y asma.

En la actualidad San Juan de Lurigancho es considerado como uno de los distritos con mayor población del continente sudamericano, su crecimiento se debió básicamente a la política centralista de los gobiernos actuales, que repercutió en una desatención del campo, otro factor es el fracaso de la reforma agraria y los múltiples problemas de violencia social que se vivieron desde los años 80 [13].

El Instituto Metropolitano de Planificación clasifica los distritos de Lima Metropolitana de la siguiente manera: Tabla 7.1.

Tabla N° 7.1 Estimación de la población por áreas interdistritales de Lima-Metropolitana [13].

Orden.	Áreas.	Distritos.	Población total.
1	Norte.	Ancón, Carabaylo, Comas, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra, San Martín de Porras.	2' 427.936.
2	Este.	Ate, el Agustino, San Juan del Lurigancho, Santa Anita, La Molina.	2' 502.668.
3	Centro.	Breña, Cercado, La Victoria, Rímac, Pueblo Libre, San Miguel, Barranco.	2' 105.023
4	Sur.	San Juan de Miraflores, Villa el Salvador, Villa María del Triunfo.	1' 504. 944

Fuente: [13].

La red de monitoreo de la calidad del aire del SENAMHI en Lima Metropolitana consta de diez estaciones con equipos automáticos que monitorean horariamente los contaminantes: Material particulado menor de 10 μm (PM10), Material particulado PM2.5, Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de nitrógeno (NO_2) y Ozono superficial (O_3), Monóxido de Carbono (CO).

Las estaciones de calidad del aire se encuentran ubicadas en los distritos de San Borja, Ate, Jesús María, Santa Anita y Villa María del Triunfo, Puente de Piedra, Carabayllo, San Martín de Porras y Huachipa tal como se muestra en la Tabla 7.2 Las estaciones de Villa María del Triunfo y Santa Anita cuentan con una estación meteorológica que mide presión atmosférica humedad relativa y temperatura del aire [13].

Tabla 7.2. Relación de estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire [13].

N°	Estación.	Coordenada UTM(X).	Coordenada UTM (Y)	Parámetros de medición.
1	Ate	291097	8669823	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ CO, PM _{2.5} y O ₃ .
2	San Borja.	283200	8661900	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ CO, PM _{2.5} y O ₃
3	Jesús María.	276601	8664893	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ CO, PM _{2.5} y O ₃
4	Santa Anita.	285325	8667937	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ CO, PM _{2.5} y O ₃
5	Villa María del Triunfo.	291077	8654306	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ CO, PM _{2.5} y O ₃
6	San Juan de Lurigancho.	282299	8674693	PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO, NO ₂ , Ozono.
7	Huachipa.	287829	8670827	PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO, NO ₂ , Ozono.
8	San Martín de Porras	273046	8671605	PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO, NO ₂ , Ozono.
9	Carabayllo.	278516	8683492	PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO, NO ₂ , Ozono.
10	Puente Piedra.	274053	8687727	PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO, NO ₂ , Ozono.

Fuente [13]

1.7.3 Delimitación Geográfica y Población.

San Juan de Lurigancho es uno de los 43 distritos de la Provincia de Lima, en el Departamento de Lima, Perú. Se ubica al Noreste de Lima Metropolitana. Los límites del distrito son los siguientes:

- **Norte:** Distrito de Carabaylo.
- **Sur:** Distrito de El Agustino y el Distrito de Lima.
- **Este:** Provincia de Huarochirí y el Distrito de Lurigancho.
- **Oeste:** Distrito del Rímac, el Distrito de Independencia y el Distrito de Comas [13].

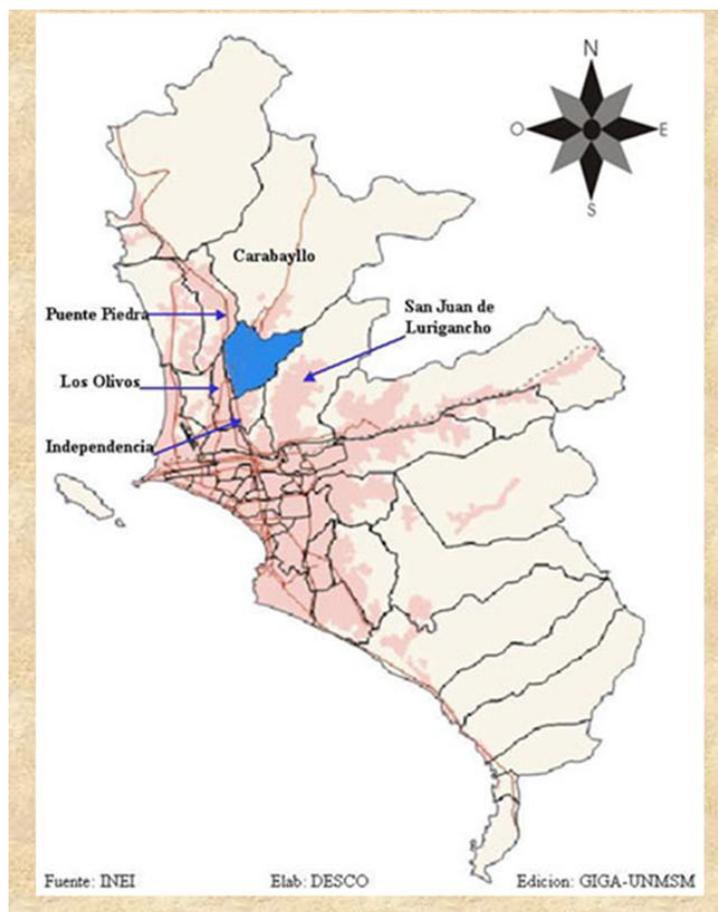


Figura 7.3 Ubicación del distrito de San Juan de Lurigancho en Lima y Callao.

Fuente: [13]

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) informó, que la población actual de la Ciudad de Lima, quien es la capital de sus 43 distritos, alcanzaría los 8 millones 693 mil 387 habitantes [13].

San Juan de Lurigancho, el más poblado de acuerdo con las estimaciones y proyecciones del INEI, al 30 de junio de 2014, el distrito más poblado seguirá siendo San Juan de Lurigancho con 1'069,566 pobladores (INEI) [13].

1.7.4. Contaminantes atmosféricos monitoreados.

La red observacional y la información generada contribuyen a verificar permanentemente que se cumplan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, establecidos por los decretos supremos 074-2001-PCM y 003-2008-MINAM. Asimismo, se emiten avisos cuando se sobrepasan los Niveles de Estado de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire, señalados en los decretos supremos 009-2003-SA y 012-2005-SA.

1.7.5 Determinación del tiempo de muestreo

Definición de Parámetros Ambientales.

La red de vigilancia de la calidad del aire del SENAMHI monitorea permanentemente los siguientes contaminantes: Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de nitrógeno (NO_2), Monóxido de Nitrógeno (NO), Óxido de Nitrógeno (NO_x), Ozono troposférico (O_3) y partículas PM_{10} menores de 10 micrómetros ($\text{PM}_{2,5}$), y el monóxido de Carbono (CO) [15].

Las especies químicas que son consideradas para el análisis de los resultados de la investigación son: $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , Ozono, NO , NO_2 .

Duración de la toma de datos:

Para cuantificar y evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos a nivel espacial y temporal, mediante la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales el SENAMHI se realizó la investigación considerando los datos obtenidos en la estación ubicada en el distrito San Juan de Lurigancho., en el siguiente período de tiempo: Mes de Junio y Diciembre de 2015.

1.7.6 Condiciones meteorológicas climáticas en el distrito San Juan de Lurigancho.

Calidad del aire en Lima Metropolitana.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), mediante la Dirección de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente, realiza la evaluación de las condiciones sinópticas y meteorológicas locales que influyen en el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos particulado y gaseosos, medidos mediante métodos de muestreo pasivo y monitoreo automático en la cuenca atmosférica de Lima-Callao [15].

Concentraciones de Contaminantes Gaseosos El SENAMHI monitorea las concentraciones de contaminantes gaseosos del aire en diez (10) estaciones, ubicadas en los distritos de Ate, San Borja, Jesús María (Campo de Marte), Santa Anita, Villa María del Triunfo, Santa Anita, Huachipa, San Juan de Lurigancho (Univ. Cesar Vallejo), San Martín de Porres, Carabaylo y Puente Piedra [15].

Partículas PM_{2,5}.

La fracción respirable más pequeña es conocida como material particulado menor a 2,5 microgramos (PM_{2,5}), que está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior o igual a las 2,5 micras, conformado por partículas sólidas o líquidas que se encuentran en el aire, generadas principalmente, por el parque automotor. Su tamaño hace que sean 100% respirables, penetrando así en el aparato respiratorio y depositándose en los alveolos pulmonares, produciendo enfermedades respiratorias y problemas cardiovasculares [1].

1.7.7 Concentración de los contaminantes del aire: Junio 2015.

Las partículas PM₁₀ son el material particulado de diámetro menor o igual a 10 micrómetros. Son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el

aire, las cuales tienen diferente composición química. Se produce por la quema de combustibles o la quema de carbón o madera.

Afecta al sistema respiratorio y cardiovascular. El material particulado (PM) que flota en el aire contiene amoníaco, sulfatos, carbón y polvo, es el que más afecta a las personas. Estas partículas son producidas principalmente por la construcción y las actividades industriales [1].

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), informó que en el mes de Junio de 2015, el valor promedio del material particulado menor a 2,5 microgramos (PM_{2.5}) en el distrito de San Juan de Lurigancho fue de 31,4 ug/m³ [13].

Presencia de Material Particulado (PM₁₀).

En el mes de Junio de 2015, el máximo valor obtenido de PM₁₀ se registró en el distrito de San Juan de Lurigancho con un valor de 147,7 ug/m³ de PM₁₀, cifra mayor en 45,5% respecto al mes anterior [13].

Las partículas PM₁₀ son el material particulado de diámetro menor o igual a 10 micrómetros. Son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, las cuales tienen diferente composición química. Se produce por la quema de combustibles o la quema de carbón o madera.

Afecta al sistema respiratorio y cardiovascular. El material particulado (PM) que flota en el aire contiene amoníaco, sulfatos, carbón y polvo, es el que más afecta a las personas. Estas partículas son producidas principalmente por la construcción y las actividades industriales [1].

1.7.8 Concentración de los contaminantes del aire: Diciembre 2015.

Presencia de Material Particulado (PM_{2.5}).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), informó que, en el mes de diciembre de 2015, el valor promedio del material

particulado menor a 2,5 microgramos ($PM_{2,5}$) en el distrito San Juan de Lurigancho es de 26,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [16].

Presencia de Material Particulado (PM_{10}).

El distrito de San Juan de Lurigancho registró 78,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , cifra menor en 1,1% respecto al mes anterior (noviembre del mismo año) [16].

1.7.9 CONTAMINANTES CONSIDERADOS EN LA INVESTIGACIÓN:

Material particulado menor de 10 micrómetros (PM_{10}).

Afecta al sistema respiratorio y cardiovascular. El material particulado (PM) que flota en el aire contiene amoníaco, sulfatos, carbón y polvo, es el que más afecta a las personas. Estas partículas son producidas principalmente por la construcción y las actividades industriales [16].

Las partículas son eliminadas de la atmósfera mediante dos mecanismos: la deposición en la superficie de la Tierra (deposición seca) y la incorporación a gotas de las nubes durante la formación de la lluvia (deposición húmeda) [1].

Partículas suspendidas menores de 2.5 micrómetros o $PM_{2.5}$.

Son contaminantes del aire constituidos por material sólido o líquido con diámetro menor de 2.5 milésimas de milímetro. Las $PM_{2.5}$ son tan pequeñas que resultan invisibles a simple vista, sin embargo, son capaces de dispersar la luz y disminuyen la visibilidad a distancia; permanecen en la atmósfera por largo tiempo y recorren grandes distancias antes de ser removidas. A las $PM_{2.5}$ se les conoce también como partículas finas en suspensión. Algunas $PM_{2.5}$ se emiten directamente a la atmósfera, como son las provenientes de la combustión de vehículos diesel y de gasolina. Las $PM_{2.5}$ se forman también a partir de reacciones químicas de gases emitidos a la atmósfera formando aerosoles de nitratos y sulfatos y de compuestos orgánicos. En menor proporción contribuyen las fuentes geológicas (suelo) y biológicas (polen) [1].

El ECA vigente establece un valor de 24 h para PM_{2.5} de 65 ug/m³ y un valor promedio anual de 15 ug/m³.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Es un gas tóxico, no inflamable, de color pardo rojizo y de olor sofocante y ácido. Es extremadamente tóxico por inhalación. Es producido por fenómenos naturales: relámpagos, erupciones volcánicas y la acción bacteriana en el suelo, y por fuentes antropogénicas como los combustibles de motores de combustión lenta. Los vehículos son los principales responsables de las emisiones en un 43% [1].

El ECA vigente establece un valor promedio horario de NO₂ de 200 ug/m³ y un valor promedio anual de 100 ug/m³.

NO (Monóxido de Nitrógeno):

El monóxido de nitrógeno (NO) es un gas incoloro y su concentración ambiental es por lo general menor que 0.5 ppm. A estas concentraciones su toxicidad biológica en términos de la salud humana es insignificante, sin embargo, el monóxido de nitrógeno es un precursor de la formación del dióxido de Nitrógeno, y es también un compuesto activo en la formación de neblumo fotoquímico. Por tanto, inicia reacciones que producen contaminantes del aire. Por consiguiente, el control del NO es un factor importante en la reducción de la contaminación del aire [1].

Ozono (O₃): Es un gas incoloro, formado por 3 átomos de oxígeno, que puede encontrarse en la capa exterior de la atmósfera (estratosfera), o en la capa inferior (troposfera), formado en este último caso como resultado de la reacción entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los NO_x en presencia de luz solar y elevadas temperaturas. Es uno de los componentes de smog en zonas urbanas. Los vehículos son la principal fuente antropogénicas de emisiones de COV y NO_x [1].

El ECA vigente establece un valor promedio de 8 horas para 120 ug/m³.

1.8. Inventarios de emisiones.

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores

hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales [15]:

- 1.- Fuentes puntuales o fijas.
- 2.- Fuentes de área.
- 3.- Fuentes de vehículos automotores
- 4.- Fuentes naturales

1.9. INVENTARIOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES.

Inventario de emisiones.

Un inventario de emisiones es una descripción cuantitativa de sustancias emitidas a la atmósfera, generada por fuentes antropogénico y biogénico [15].

Un inventario de emisiones debe:

- ✓ Considerar todas las fuentes.
- ✓ Para ser homogénea en el período de estudio.
- ✓ Llevar a cabo con una metodología documentada [15].

1.9.1 Datos globales: RETRO y EDGAR.

La configuración por defecto que posee el modelo CCATT-BRAMS para realizar la modelación de la calidad de aire en cualquier dominio espacial del planeta es la de utilizar datos globales de emisión. Los inventarios de emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero de la base EDGAR (Base de datos de emisión para investigación globales atmosférica) incluyen datos para Perú con una resolución aproximada de 100 km x 100 km (1° x 1°) [17].

1.9.2 Banco global de las emisiones totales.

Se consideraron los datos de los inventarios globales RETRO, con 0,5 ° de resolución y EDGAR (versión 3.0, la vía rápida de 2000), con 1 ° resolución.

Ambos inventarios son incluidos en la herramienta de PRE-CHEM-FUENTE [17].

1.10. MECANISMOS QUÍMICOS.

1.10.1 Mecanismos Químicos.

Se denomina mecanismo de la reacción a la secuencia de pasos intermedios simples que corresponden al avance de la reacción química a escala molecular, mientras que la ecuación química sólo indica los estados inicial y final.

Si comparamos una reacción química con una vuelta ciclista por etapas, el mecanismo de la reacción nos daría información detallada de cada una de las etapas mientras que la ecuación química sólo nos indicaría desde dónde se parte en la primera etapa y a dónde se llega en la última [18].

Cada paso intermedio del mecanismo de la reacción se denomina etapa o reacción elemental, por el hecho de que cada etapa debe ser tan simple que no se puede simplificar más, es decir, cada etapa está indicando exactamente que especies están interaccionando entre sí a escala molecular [18].

El Smog fotoquímico es el resultado de la emisión de óxidos de nitrógeno:

$(\text{NO}_x \longrightarrow \text{NO} + \text{NO}_2)$ y compuestos orgánicos reactivos (COR), que reaccionan en presencia de la radiación solar, con una mezcla de aerosoles y gases traza, destacando la presencia de la capa de ozono (O_3), contaminante reconocido que causa efectos adversos en la salud humana [18].

El ciclo de la degradación se observan los colores, puede verse esquemáticamente en la figura 10.1 es iniciada por la reacción (marcado en rosado) con el radical libre hidroxilo (OH) con un COR (Compuesto orgánico reactivo) representado como RH (un radical orgánico R más un hidrógeno), produciendo los radicales libres peroxi (RO₂) (reacciones [R 3.1] y [R 3.2]).

La importancia del OH en la eliminación de un gran número de gases traza puede ser utilizada como un indicador de la eficacia de oxidación de la atmósfera y la variabilidad al mismo tiempo [18].

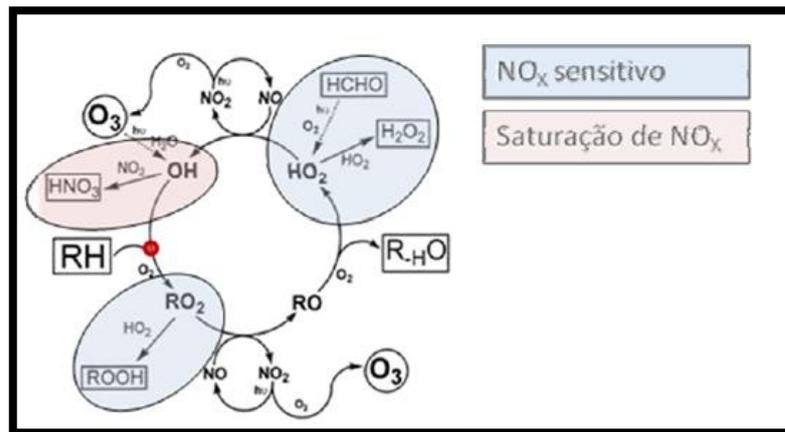
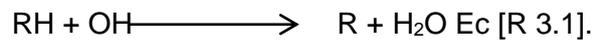


Figura 10.1 COR, NO_x y formación fotoquímica de ozono en la troposfera.

Fuente [18].

Los radicales peroxi libres (RO₂) e hidroperoxil (HO₂) reaccionan predominantemente con:



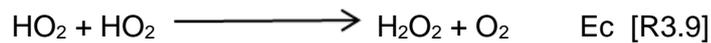
Donde la forma HO-R depende de la RO₂, generalmente, es un aldehído o cetona, En general, este ciclo se repite hasta que finaliza la producción de CO₂ [30].

NO₂ se convierte en NO rápidamente por fotólisis:



Por lo tanto, en este ciclo se forman dos moléculas de ozono.

A su vez, los radicales libres que contienen hidrógeno (HO₂, RO₂) también pueden ser eliminados por reacciones que producen peróxidos:



Y OH también puede reaccionar con el ácido nítrico produciendo NO₂:



Para NO_x con proporciones de mezcla relativamente bajas, el mecanismo fundamental de la eliminación de HO₂ es de las reacciones [R 3.8] y [R 3.9] siendo esto relativamente insensible a los cambios en las relaciones de mezcla. Por lo que la tasa de formación de O₃, se incrementa con los niveles de NO_x, las reacciones [R 3.3] y [R 3.5] son fundamentalmente dependientes. Esto se conoce como sistema sensorial de NO_x (en azul en la Figura 10.1), que por lo general puede ser observado en las zonas rurales. Si la relación entre el NO_x y el color es alta (es decir, cuando hay un predominio de NO_x), es el mecanismo predominante y se produce eliminación de ambos OH como NO_x. En este caso, los niveles disminuyen con OH aumento de NO_x y los niveles de color significativamente dependientes [18].

En estas condiciones, los niveles de ozono caen debido a la disminución de OH disponible para reacciones [R 3.1] y [R 3.2], Estas se llaman condiciones de saturación NO_x (que se muestran en color rosa en la

Figura 10.1), y son característicos de entornos urbanos o contaminados [18].

Los mecanismos se clasifican en:

Mecanismos explícitos, que tratan prácticamente todas las especies químicas y reacciones por separado, son valiosos en estudios de investigación, los Mecanismos de cámara de smog [18].

Mecanismos generalizados, el tratamiento de grupos de especies son similares, son útiles en los modelos de calidad del aire [18].

Existen varios enfoques para la inclusión de los procesos químicos que ocurren en la troposfera inferior en los mecanismos químicos en una forma más simplificada, sin embargo, siendo preciso a menudo se utiliza un proceso de condensación para limitar las especies y el número de reacciones orgánicas contenida en el mecanismo para un número razonable según algunos criterios [18].

Los mecanismos condensados, y por lo tanto más apropiado para estudios en escalas regional y mundial se obtienen creando especies agrupadas (formación de grupos) de especies orgánicas, utilizando para ello esencialmente dos enfoques [17]:

La recolección de la especie de acuerdo a sus características de estructura y reactividad química (agrupación por la estructura), agrupándolas en clases según su naturaleza química (agrupación por naturaleza molecular, en una agrupación más molecular, molécula agrupado) [18].

Un ejemplo del enfoque de agrupación para la estructura son los mecanismos Carbón Bond., Los compuestos en los que los grupos orgánicos se agrupan de acuerdo con el tipo de enlace de carbono, independientemente de las moléculas que contienen ellos [18].

El resultado general son menos especies químicas de los mecanismos en comparación con el enfoque de la agrupación molecular, los resultados de la búsqueda en general, es un menor número de Especies Químicas dentro dos mecanismos en comparación con un enfoque de agrupación molecular [18].

Esta es una de las razones por las que son en gran parte utilizados en los modelos de predicción meteorológica química, hay varias versiones ampliamente utilizadas, incluyendo CB-04 y CB-05, CB07 [18].

En el enfoque de agrupación molecular, se distingue tres aspectos [19]:

- 1.- La condensación por agrupación molecular:** en la que un grupo de COR (Compuestos orgánicos reactivos) está representado "Molécula a molécula" por un mecanismo de este tipo. Este enfoque se considera apropiado y preciso para grupos de compuestos que reaccionan de una manera muy similar o no son lo suficientemente importantes como para justificar los enfoques más complejos [19].
- 2.- La condensación de la variación de agrupación molecular:** en la que un grupo de COR, que reacciona con velocidades de reacción similares, se representa por una especie de mecanismo cuyos parámetros son los promedios del grupo para representar su ponderada reactividad (en general se utiliza la reactividad con OH) o masa molar. La desventaja de este enfoque es que los parámetros de las especies modelo dependerá de las emisiones, por consiguiente, se requiere un procesamiento de los mismos [19].
- 3.- La condensación fijada por agrupación molecular:** es una variante de condensación o agrupación molecular variable en la que parámetros se obtienen a partir de mezclas o entornos de emisiones típicos o representativos [19].

La simulación de smog fotoquímico a través del ordenador, modelado con mecanismos cinéticos es importante tanto en la investigación y sus aplicaciones [19].

Los mecanismos proporcionan un marco para la investigación de conceptos químicos; la simulación es la más fácil y a veces la única manera de analizar y probar hipótesis, el modelo predice las concentraciones de contaminación atmosférica simulando el transporte, la dispersión, la química y el proceso de eliminación de los mismos [19].

Se requieren distintos tipos de mecanismos para la cinética: Mecanismos explícitos, que tratan prácticamente todas las especies químicas y reacciones por separado, son valiosos en estudios de investigación en la cámara de smog; mecanismos generalizados, para el tratamiento de grupos de especies similares juntos, son útil en los modelos de calidad del aire [19].

El mecanismo Carbon bond (CB) es un mecanismo que indica una cinética generalizada, en el que la unión en la mayoría de los átomos de carbono son similares, independientemente de las moléculas en las que se producen reacciones "Rápida" por los dobles enlaces relativamente reactivos (OLE), dobles enlaces lentos (ARO), y los grupos carbonilo (CAR) [19].

El mecanismo Carbon – Bond (véase la Tabla 10.1), trata a las reacciones de los cuatro tipos de átomos de carbono: Átomos de carbono unidos en un solo enlace (PAR), "Rápida" átomos de carbono unidos por dobles enlaces relativamente reactivos, (OLE) dobles enlaces menos reactivos, y grupos carbonilos (CAR). Un anillo aromático activado se considera equivalente a tres enlaces lentos dobles (o ARO), el Etileno en la formulación del mecanismo se agrupa con ARO [19].

Un mecanismo explícito, como se señaló anteriormente, representa las reacciones de casi todas las especies en un experimento de cámara de smog. Por ejemplo, un mecanismo explícito para propileno contiene más de 70 reacciones que representan a 35 especies [19].

El mecanismo de enlace del carbono se denomina un " Mecanismo Condensado" porque es una condensación de mecanismos explícitos desarrollado para simular en una cámara de niebla experimentos que se iniciaron con sólo una o dos especies de hidrocarburos presentes [19].

La oxidación de los hidrocarburos en el smog es esencialmente una reacción fotoquímicamente impulsada por el proceso de combustión que culminó en CO₂ y H₂O [19].

Tabla 10.1 El Mecanismo de carbono-Bond

<i>N°(Re acción).</i>	<i>N° Re acciones.</i>
1. $NO_2 + hv \rightarrow NO + O$	18. $OLE + O \rightarrow HC(O)O_2 + CH_2O_2$
2. $O + O_2(+M) \rightarrow O_3(+M)$	19. $OLE + O_3 \rightarrow (HC(O)O_2 + HCHO + OH^-$
3. $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$	20. $PAR + OH \rightarrow CH_3O_2 + H_2O$
4. $O + NO_2 \rightarrow NO + O_2$	21. $PAR + O \rightarrow CH_3O_2 + OH^-$
5. $O_3 + NO_2 \rightarrow NO_3 + O_2$	22. $CAR + OH^- \rightarrow HC(O)O_2 + H_2O$
6. $NO_3 + NO \rightarrow NO_2 + NO_2$	23. $CAR + hv \rightarrow \alpha HC(O)O_2 + \alpha HO_2 + (1 - \alpha)CO$
7. $NO_3 + NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$	24. $ARO + OH^- \rightarrow CAR + CH_3O_2$
8. $HO_2 + NO_2 \rightarrow HNO_2$	25. $ARO + O \rightarrow HC(O)O_2 + CH_3O_2$
9. $NO_2 + OH^- \rightarrow HNO_3$	26. $ARO + O_3 \rightarrow HC(O)O_2 + CAR + OH^-$
10. $HNO_2 + hv \rightarrow NO + OH^-$	27. $ARO + NO_3 \rightarrow products(aerosols)$
11. $NO + OH^- \rightarrow HNO_2$	28. $CH_3O_2 + NO \rightarrow NO_2 + CAR + HO_2$
12. $CO + OH^- \rightarrow CO_2 + HO_2$	29. $HC(O)O_2 + NO \rightarrow NO_2 + CO_2 + HO_2$
13. $HO_2 + NO \rightarrow OH^- + NO_2$	30. $HC(O)O_2 + NO_2 \rightarrow PAN$
14. $HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$	31. $CH_3O_2 + HO_2 \rightarrow CH_3OOH + O_2$
15. $PAN \rightarrow HC(O)O_2 + NO_2$	32. $HC(O)O_2 + HO_2 \rightarrow HC(O)OOH + O_2$
16. $H_2O_2 + hv \rightarrow OH^- + OH^-$	
17. $OLE + OH^- \rightarrow CAR + CH_3O_2$	

Fuente [19].

1.10.2 El mecanismo Carbón- Bond.

Es un conjunto de reacciones generalizadas, utiliza constantes de velocidad para su uso en el modelado fotoquímico, formación de oxidantes. Se basa en el concepto de átomos de carbono unidos que reaccionan de forma independiente de las moléculas en el que ocurren [18].

El mecanismo Carbón Bond (CB) describe al oxidante troposférico, la química de una manera concisa adecuado para su uso en complejos modelos atmosféricos 3-dimensionales [19].

Las versiones existentes (CB4 y CB05) se utilizan en modelos de rejilla fotoquímicos de ozono y material particulado (PM) como CMAQ, CAMx y WRF-Chem [19].

La química atmosférica ofrece continuamente nueva información que debe ser evaluado y potencialmente incorporado a mecanismos químicos para mantener su exactitud y con ello proporcionar las mejores estrategias posibles para mejorar el aire de ozono calidad [19].

Como se adopten normas más estrictas para la medición de ozono, el modelado de ozono tendrá que centrarse en la parte inferior para las concentraciones de ozono y de los períodos de tiempo más largos [19].

Dos aspectos considerados en el diseño de los CB06:

- 1.- Varios compuestos orgánicos que son de larga duración y relativamente abundante, es decir, propano, acetona, benceno y etino (acetileno), se añaden de forma explícita en CB06 de manera que se pueda mejorar la formación de oxidantes a partir de estos compuestos ya que se oxidan lentamente [19].

- 2.- Estudia la formación de los nitratos orgánicos y la medida en que su degradación produce NO_x que pueden a continuación, participar activamente en la formación de oxidantes [19].

En resumen, los principales cambios de CB05 a CB6 son:

- 1.- La incorporación de nueva información científica desde la actualización del mecanismo anterior 2005 (CB05) especialmente en lo evaluado por la IUPAC y la NASA paneles de revisión [19].
- 2.- La revisión y actualización de las reacciones de los Alcanos, Alquenos y compuestos aromáticos con el mayor número de cambios resultante para Isopreno y compuestos aromáticos [19].
- 3.- La adición explícitamente de varios compuestos orgánicos volátiles de larga duración que forma ozono a escala regional, en concreto Propano, Benceno, Acetona y otras Cetonas [19].
- 4.- Adición de forma explícita los productos de degradación de COV (compuestos orgánicos volátiles) que puede producir a través de SOA (Aerosoles Orgánicos secundarios) en fase acuosa, reacciones, específicamente glioxal, y glicol aldehído metilglioxal [19].

Tabla N° 10.2 Comparación del tamaño de los Mecanismos CB06 y CB05.

	CB6.	CB05.
Reacciones en fase gaseosa.	218	156
Reacciones de fotólisis.	28	23
Especies en fase gaseosa.	77	51
Especies de emisiones de ozono.	21	16

Fuente [19]

La Tabla 10.2 compara el tamaño de los Mecanismos CB06 y CB05. El número de reacciones es aproximadamente un 40% mayor y el número de especies aproximadamente un 50% mayor en CB6 de CB05

En la Tabla 10.2. Se observa un resumen de la comparación del tamaño de los Mecanismos químicos CB06 y una nueva versión del mecanismo químico Carbón Bond (CB) ha sido desarrollado, CB06, como una actualización de la versión anterior (CB05) [19].

CB06 es compatible con CB05 y CB04, se puede utilizar con los inventarios de emisiones (otros insumos del modelo, tales como condiciones de contorno) que se prepararon para CB05 o CB04 [19].

El rendimiento de CB06 y CB05 en la simulación en los estudios de cámara fue comparable para los Alcanos, Alquenos, Alcoholes y Aldehídos. Para aromáticos, CB06 debe mejorarse mediante la reducción, para el CB05 la predicción de sesgo en los máximos de ozono a alrededor de 10% para Benceno, Tolueno y Xileno [19].

Para Isopreno, tanto CB05 y CB06 muestran poco sesgo para el máximo de ozono (menos de 5%), pero CB6 tendía a formar ozono demasiado despacio. Para las especies que se han añadido explícitamente en CB06 (etino, benceno y cetonas) CB06 realiza mucho mejor que CB05 [19].

El estudio detallado de la formación de oxidantes en la tropósfera incluye la consideración de cientos de especies que participan en miles de reacciones químicas, sin embargo, es evidente que las especies, y un gran número de reacciones se incluyen en un mecanismo explícito, que limita su uso en funcionamiento de modelos químicos de pronóstico meteorológicos [19].

Es importante tener presente que la química en fase gaseosa influye la formación y la producción de precursores de aerosoles incluyendo sulfúrico ácido sulfúrico, ácido nítrico y compuestos orgánicos semi -volátiles [19].

El dióxido de azufre (pasa a ser oxidado a ácido sulfúrico por el peróxido de hidrógeno, las actualizaciones de las reacciones de nitrógeno y pentóxidos afectarán el vapor de agua durante la noche [19].

La formación de ácido nítrico en las reacciones con los aerosoles y otras especies puede dominar en la noche, Aerosoles orgánicos secundarios (SOA) producen reacciones complejas, existen una gran variedad de métodos de modelización para ellos [19].

En general, la formación de precursores SOA son excluidos de CB6 y sus modeladores, se pueden agregar los SOA a la formación del mecanismo de acuerdo a su metodología preferida [19].

Una excepción es la formación de compuestos alfa-dicarbonilo (glioxal análogos) que pueden formar a través de SOA acuoso, con reacciones de fase. Compuestos como el Glicolaldehído se añaden en CB6 (además a metilglioxal) para apoyar el modelado de fase acuosa [19].

Los precursores de los compuestos alfadicarbonilos incluidos en CB6 son compuestos aromáticos, alquenos y etino son incluidos, es importante reconocer que el CB6 se utiliza con las emisiones desarrolladas para el mecanismo CB05 (e incluso el mecanismo CB4) [19].

1.10.3 Mecanismo de Evaluación.

El mecanismo CB6 fue evaluada por la simulación de experimentos de cámara en la que las mezclas de COV y NOx fueron irradiados para formar ozono. La base de datos de experimentos compilado por la Universidad de California en Riverside (UCR) fue la base para la evaluación. Al evaluar CB6, en luz negra, se prefieren los experimentos de cámara con el fin de utilizar las condiciones de luz más relevantes para el ambiente y por lo tanto minimizar las consecuencias del fotolisis [19].

Sin embargo, en algunos casos sólo la luz de fondo en las simulaciones estaba disponible y por lo tanto tenía que ser utilizado para evaluar MeOH

(metanol), EtOH (etanol), ETHA (etano) y PRPA (propano). La incertidumbre introducida por la luz negra sugiere los resultados para eteno (ETH), los ETH en la química de CB6 mostró significativamente rendimiento diferente en la simulación de Max (O₃) contra los experimentos no de luz negra y luz negra experimentos:

El sesgo promedio del modelo para 11 experimentos en luz no negra y 22 experimentos de luz negra fueron -13% (\pm 17%) y + 28% (\pm 17%), respectivamente. La estadística se utilizó para estudiar el rendimiento y graficar las comparaciones se utilizaron para evaluar CB6. Para las especies que eran añadidos explícitamente en CB6 (etino, benceno y Cetona) el mecanismo CB6 realiza mucho mejor rendimiento que CB05.

Para aromáticos el mecanismo CB6 mejora el rendimiento por CB05 demostró la reducción bajo el sesgo de predicción en máximos de ozono aproximadamente el 10% para el benceno, tolueno y xileno para isopreno, tanto CB05 y CB6 muestran poco sesgo para el máximo de ozono (menos de 5%), pero tendió al mecanismo CB6 para formar ozono con demasiada lentitud [19].

Por lo tanto, hay varios enfoques para la inclusión de los procesos químicos que ocurren en la troposfera inferior en los mecanismos químicos, de una manera más simplificada, pero precisa, a menudo se utiliza un proceso de condensación para limitar el número de especies orgánicas y las reacciones contenidas en el mecanismo para un número razonable según algunos criterios [19].

Los más utilizados se describen a continuación:

Este es el caso de MCM (Mecanismo Químico). Este mecanismo semi explícito a menudo se utiliza como punto de partida para mecanismos condensados [19].

Son mecanismos condensados, por lo tanto, más apropiado para estudios en escalas regional y mundial se obtienen creando especies agrupadas

(formación de grupos) de especies orgánicas, utilizando para ello esencialmente dos enfoques:

Recopilación de las especies de acuerdo a sus características de estructura y reactividad química (agrupación por la estructura), y agrupándolos en clases según su naturaleza química (agrupación por naturaleza molecular) [19].

Un ejemplo del enfoque de agrupación para la estructura del carbono son los mecanismos Bond, esto se traduce generalmente en la agrupación de especies químicas en mecanismos que utilizan el enfoque tradicional basados en la agrupación molecular [19].

Esta es una de las razones por las que son en gran parte utilizados en los modelos de predicción de química meteorológica, hay varias versiones ampliamente utilizadas, incluyendo los mecanismos CB-04 y CB-05. Incluso el mecanismo utilizado para la predicción del aire, CB-07 [19].

El mecanismo RACM (Modelo de química atmosférica regional) fue desarrollado para simular la química de la tropósfera, desde la superficie hasta la tropósfera superior adecuado a las regiones urbanas contaminadas, al inicio sólo incluye 77 especies para 237 reacciones que en el sistema se habían completado, era muy caro para funcionar en las tres simulaciones tridimensionales de forma regular especialmente cuando se considera el futuro acoplamiento de un módulo para partículas de aerosol [20].

Por eso era necesario el mecanismo químico con menos especies con el objetivo de conseguir el resultado más correcto posible, no sólo para el ozono y los compuestos NOX, sino también para los compuestos orgánicos más volátiles y con una aproximación molecular. Por lo tanto, un nuevo procedimiento de reducción matemática basada en la reactividad agrupado se ha desarrollado y aplicado a RACM para crear un nuevo esquema de química atmosférica regional agrupado (RELACS) [20].

1.11. METODOLOGÍA.

El modelo CCATT-BRAMS (Modelo Aerosol de la química y trazador, transporte a la evolución de Brasil en el sistema Regional de modelización atmosférica) aprovecha la especificación BRAMS (desarrollos brasileños en el modelado de sistemas de modelos regionales atmosféricos), para el desarrollo de las zonas tropicales / subtropicales, así como la reciente disponibilidad de herramientas de preprocesamiento de mecanismos químicos y códigos rápidos para las tasas de fotólisis [7].

BRAMS incluye ecuaciones de estado, la técnica de parametrizaciones físicas y formulaciones dinámicas para simular circulaciones atmosféricas. Este acoplamiento en línea de la meteorología y la química permite al sistema que se utilizará para el tiempo previsiones de química simultánea de composición, así como el potencial de retroalimentación entre los dos [5].

El modelo tiene un esquema de la red de anillamiento múltiple para resolver simultáneamente ecuaciones en dos vías, interactuar de forma computacional con mallas de diferentes resoluciones espaciales. Para los estudios de casos reales, a nivel mundial en el área de meteorología se analiza, se toman previsiones para definir el modelo de estado inicial y para forzar los límites durante simulación [7].

CCATT es un modelo de transporte Euleriano acoplado a BRAMS y diseñado para estudiar los procesos de transporte asociados con la emisión de trazadores y aerosoles. El Transporte trazador se ejecutará constantemente en línea con la evolución del estado atmosférico usando el BRAMS con parametrizaciones dinámicas y físicas [5].

La ecuación de continuidad general para trazadores que resuelve el modelo CATT-BRAMS es el siguiente [5]:

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} = \underbrace{\left(\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \right)_{adv}}_{(1)} + \underbrace{\left(\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \right)_{PBLdiff}}_{(2)} + \underbrace{\left(\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \right)_{deepconv}}_{(3)} + \underbrace{\left(\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \right)_{chem}}_{(4)} + \underbrace{W}_{(5)} + \underbrace{R}_{(6)} + \underbrace{Q_{plume}}_{(7)} + \underbrace{Q_{rise}}_{(8)} + \underbrace{\left(\frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \right)_{chem react}}_{(9)}$$

Ecuación (1).

Fuente: [5]

- 1.- Representa: Contaminación del aire en la grilla.
- 2.- Transporte por el viento medio.
- 3.- Transporte turbulento sub-grilla dentro de la capa límite Planetario (CLP).
- 4.- Convección profunda.
- 5.- Convección superficial.
- 6.- La deposición húmeda de partículas.
- 7.- La deposición seca de partículas de aerosol y gases.
- 8.- Emisiones.

Donde S es la celda de la malla significa trazadora proporción de mezcla; el término adv representa el 3-D resuelve transporte (advección por el viento media); y los términos PBL diff, conv profunda y superficial representa la turbulencia de escala inferior a la grilla en el planetario capa límite (PBL), la convección profunda y superficial, respectivamente [5].

Las reacciones químicas en la atmósfera varían entre sí en varios órdenes de magnitud, que hace que el sistema sea numéricamente inestable para ser resuelto por ciertos métodos numéricos comunes para la solución de Ecuaciones diferenciales [8].

Un archivo de entrada en CCATT-BRAMS (CHEM- CB06), permite al usuario configurar las barras de configuración, seleccione las parametrizaciones y los esquemas numéricos se utilizarán, entre otras opciones [8].

Los datos de entrada y post-procesamiento son realizados por otros programas que componen el sistema CCATT-BRAMS. Estos son descritos a continuación en la figura 11.1 [8].

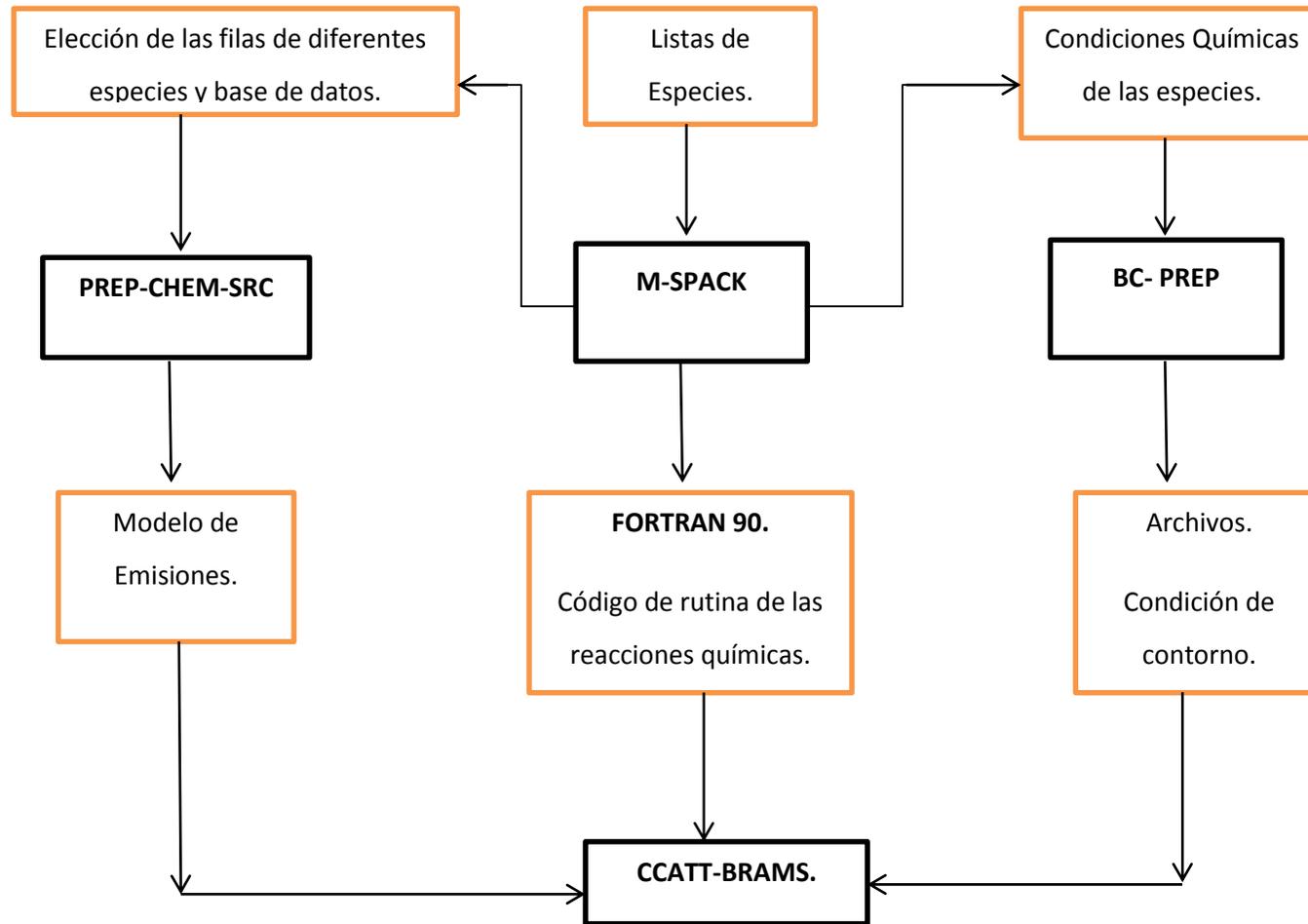


Figura 11.1 Esquema del sistema CCATT-BRAMS.
Fuente: [12].

1.11.1 MÓDULO DE EMISIONES DE PRE TRATAMIENTO: PREP-CHEM-SRC.

Las emisiones se introdujeron en el modelo CCATT-BRAMS con el preprocesador emisiones-CHEM-SRC- PREP [21].

PREP-CHEM-SRC contiene un banco de datos de emisiones regionales de emisiones antrópicas, sobre América del Sur, específicamente emisiones vehiculares urbanas [21].

Convierte las especies de las bases de datos en las especies del modelo. Esta herramienta permite la organización de gases traza y aerosoles en un formato de cuadrícula, destinados a utilizar en los modelos químicos de predicción meteorológica. El uso de esta herramienta se ha ampliado y, actualmente, también es utilizado por otros modelos como el WRF-CHEM [21].

La resolución espacial de las rejillas es flexible y puede ser de alcance regional o global, y hay varias proyecciones geográficas disponibles [21].

Las emisiones se consideran urbano-industrial, biogénicos, de origen volcánico. También incluye el modelo de elevación de la pluma para estimar la altura de las emisiones de humo de la quema de biomasa [21].

Un archivo (PREP-CHEM-SRC) permite que el usuario elija los ajustes tales como las bases de datos que se utilizará, el mecanismo químico para el que se elaborarán las emisiones y los detalles de las cajas, entre otros [21].

Como insumos para las emisiones industriales y urbanas en el PREP-CHEM-SRC se pueden utilizar los inventarios globales RETRO (el reanálisis de la troposfera composición química) y EDGAR (base de datos de emisiones de Investigación Global de la Atmósfera. Las emisiones a partir de estos inventarios se interpolan a las rejillas modelo utilizando el esquema vecino más cercano [21].

Además, el PREP-CHEM-SRC contiene unas emisiones de bases de datos regionales antropogénicos en América del Sur, específicamente, las emisiones de vehículos urbanos. Este inventario se generó en el marco del proyecto SAEMC la incorporación de información socioeconómica, extrapolación de los inventarios locales de emisiones de los datos disponibles para ciudades de América del Sur y de información geográfica [17].

Este inventario se interpola a las redes que utilizan un modelo esquema de interpolación, llamada "zona delimitada." A diferencia de la EDGAR y RETRO, permite una distribución más exacta de las emisiones urbanas, utilizando como datos satelitales de cobertura terrestre de datos de entrada, específicamente las zonas urbano [21].

Esta metodología, fue implementada en este inventario se interpola a las redes que utilizan un modelo esquema de interpolación, llamada "zona delimitada." A diferencia de la EDGAR y RETRO, permite una distribución más exacta de las emisiones urbanas, utilizando como datos satelitales de cobertura terrestre datos de entrada, específicamente las zonas urbanas [21].

PREP-SRC-CHEM por subrutinas que también permiten la distribución de emisiones en áreas definidas por otros procedimientos de georeferenciación aplicables en diferentes resoluciones espaciales [21].

Las diversas fuentes de datos de emisiones reportan especies químicas que, en general, no coinciden con las especies del mecanismo. Por lo tanto, existe el archivo para el cumplimiento de ello, para cada combinación de inventario y el mecanismo de emisiones químico que indica para cada tipo de inventario, el mecanismo de las especies en el cual pertenece, y el coeficiente de agregación en el que el inventario de las emisiones debe entrar en el valor de emisión de las especies del mecanismo químico [21].

1.11.2 MÓDULO PRE PROCESAMIENTO DE MECANISMOS QUÍMICOS: M-SPACK.

El código de salida M-SPACK también alimenta el preprocesador con emisiones de herramienta (PREP-CHEM-SRC) para garantizar la coherencia entre la base de datos de emisiones para ser utilizado en CCATT-BRAMS y la lista de las especies tratadas por el mecanismo químico [21].

Sobre la base de los archivos de entrada, que definen el mecanismo químico elegido, la M-SPACK genera como salida el conjunto de subrutinas correspondiente a CCATT-BRAMS, a lo cual debe haber compilado el modelo el uso de dicho mecanismo [21].

Los archivos de descripción del mecanismo químico que son la entrada a la M SPACK incluyen reacciones químicas, las velocidades de reacción (generalmente Ecuaciones diferenciales ordinarias, donde los factores que pueden intervenir tales como la temperatura, la presión, la concentración de vapor de agua, etc. las tasas de fotólisis que pueden hacer referencia a tablas , cálculos en línea y algunos datos asociados con las especies químicas que son necesarios para el modelado de la deposición seca y también húmedos se introducen en el modelo de esta manera . Hasta el presente se incluyeron en CCATT- BRAMS a través del empleo de los mecanismos-M SPACK como CB-07, RACM y RADM [21].

Algunos datos asociados a las especies químicas que son necesarios para el modelado en la deposición seca y húmeda también han sido introducidos en este módulo [21].

1.11.3 PRE MÓDULO DE PROCESAMIENTO DE CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO: DPREP.

El CCAT-BRAMS define las condiciones iniciales y de contorno, el tiempo y la química, que por lo general se obtienen de la salida de los modelos

globales y, posteriormente el procesado para ser utilizado por el modelo, usando una herramienta llamada DPREP [21].

1.11.4 MÓDULO POST TRATAMIENTO DE ANÁLISIS DE CCATTBRAMS: RAMSPOST.

RAMSPOST es una herramienta que procesa la salida binaria de CCATT-BRAMS y produce archivos para su visualización en formato GRADS u otros. Permite la extracción de las variables incluidas en los archivos de salida CCATTBRAMS (análisis), el tiempo correspondiente a la concentración y cargas de deposición seca y especies químicas húmedas. También se incluye conversiones de unidades [21].

1.12. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS:

Los parámetros fueron evaluados mediante cálculos estadísticos para conocer el comportamiento del modelo CCATT-BRAMS, la amplitud de los datos observados, se utilizó la Media, la Media + Desviación estándar, Media Desviación estándar [22].

Media:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Ecuación (2)

Varianza:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ecuación (3)

Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación (4)

Los parámetros fueron evaluados mediante cálculos estadísticos para conocer el rendimiento del modelo CCATT-BRAMS.

Error absoluto medio (MFE):

$$MFE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i|$$

Ecuación (5)

Error cuadrático medio (MSE):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i|^2$$

Ecuación (6)

Raíz del error cuadrático medio (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

Ecuación (7)

Coefficiente de correlación de Pearson (r):

$$r = \frac{N \left(\sum_{i=1}^N (O_i * P_i) \right) - \left(\sum_{i=1}^N O_i \right) * \left(\sum_{i=1}^N P_i \right)}{\sqrt{\left[N \left(\sum_{i=1}^N O_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N O_i \right)^2 \right] * \left[N \left(\sum_{i=1}^N P_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^N P_i \right)^2 \right]}}$$

Ecuación (8)

1.13. FUENTES DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

1.13.1 Instrumentos utilizados.

TEOM-1405F: MONITOR DE PARTÍCULAS DE AMBIENTE. PARTÍCULAS PM10.

Toma mediciones de masa directa y continua de partículas usando una micro balanza con un elemento cónico oscilante (TEOM: Monitor de partículas de ambiente partículas PM10).

Este monitoreo mide partículas aerotransportadas PM10 (Material particulado de diámetro menor o igual a 10 μm) y otras como PM2.5 (Material particulado de diámetro menor o igual a 2.5 μm) y PM1 (Material particulado de diámetro menor o igual a 1 μm). El TEOM 1405-F, es un verdadero instrumento "gravimétrico", que aspira aire del ambiente a través de un filtro muestra a una velocidad de flujo constante, el filtro continuamente es pesado calcula la concentración de la masa casi real de la materia particulada colectada. Además, el equipo calcula la concentración de masa promedio a 1-h, 8-8 y 24-h (TEOM 1405-F. Monitor de partículas Ambientales). Algunas características de este equipo se indican en la tabla 13.1.

El usuario introduce los parámetros del sistema en el TEOM 1405-F mediante una pantalla táctil a color que se encuentra en la parte frontal de la unidad. Contiene una memoria interna donde almacena una gran cantidad de datos para ver o descargar a través de una conexión de red posteriormente. El sistema está equipado con software para ordenadores personales para permitir al usuario descargar datos y actualizar [23].

Tabla 13.1. Características del Equipo TEOM 1405.

TEOM 1405 (Monitor de partículas del aire).	
Rango de medida	0 a 1,000,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 g/m^3)
Resolución	0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Precisión	+2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-hour promedio), +1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24-hour promedio)
Exactitud	Medición de masa : +0.75%
Concentración promedio de masa en tiempo real	10 min por defecto, 10 a 3600 segundos
Velocidad de entrada de datos	Cada 2 segundos
Rango de operación	La temperatura del aire muestreado -40°C a 60°C
	El sensor TEOM y unidades de control deben estar protegidos de la intemperie en el rango de 8 a 25 ° C.
	Un recinto al aire libre completo opcional proporciona protección contra la intemperie completa.
Configuración estándar	Software guiado por menú para la interacción del usuario a través de un cuarto de una pantalla táctil
	Conexión y cables de interfaz, y la bomba de vacío
	Temperatura y presión para mantener constantes la velocidad de volumétricos.
	Velocidad de flujo principal : 3L/min
	Velocidad de flujo de derivación 13.67L/min
	Velocidad de flujo a través de entrada de la muestra 16.7 L/min
Almacenamiento de datos	Registro de datos interno de las variables especificadas por el usuario; capacidad de 500.000 registros.
Medio filtrante	Pallflex TX40, 13 mm diámetro efectivo
Requerimiento de potencia	Instrumento: 100-240 VAC, 440 VA, 47-63 Hz
	Bomba: 120 VAC/60 Hz: 4.25 A; 240 VAC/50 Hz: 2.25 A
Dimensiones física	W: (43.2 cm) x D: (48.3 cm) x H:(75 cm), peso 18Kg
Aprobación y certificación.	U.S. EPA PM-10 Equivalent Monitor EQPM-1090-079

Fuente : [23]

1.13.2 Rango de Aplicación.

El TEOM 1405 Monitor es un dispositivo de tiempo real utilizado para medir la concentración de materia particulada. Los instrumentos TEOM son los únicos monitores de masas basados en filtros que miden la masa de las partículas en suspensión en corrientes de gas en tiempo real [23].

Esto es posible mediante el uso de un transductor de masa de inercia patentado en los EE.UU. e internacionalmente por Thermo Fisher Scientific [23].

El monitor es ideal para aplicaciones exigentes de aire en tiempo real, se puede realizar monitoreo de material particulado en ambientes al aire libre, de interior o industriales [23].

En la Figura 13.1 se puede observar las siguientes partes que constituyen al equipo TEOM:

- A) Elemento cónico oscilante microbalanza (TEOM) es una técnica utilizada para medir las concentraciones de las partículas de aire
- B) TSP ($PM_{2.5}$): Se compone de un instrumento equipado con un cabezal de tamaño selectivo para probar uno de los siguientes intervalos de tamaño de partícula.
- C) Partículas suspendidas totales (PST).
- D) Partículas menores a 10 micras de diámetro (PM_{10}).
- E) Partículas de menos de 2,5 micrómetros de diámetro ($PM_{2.5}$).
- F) Controladores de la masa.

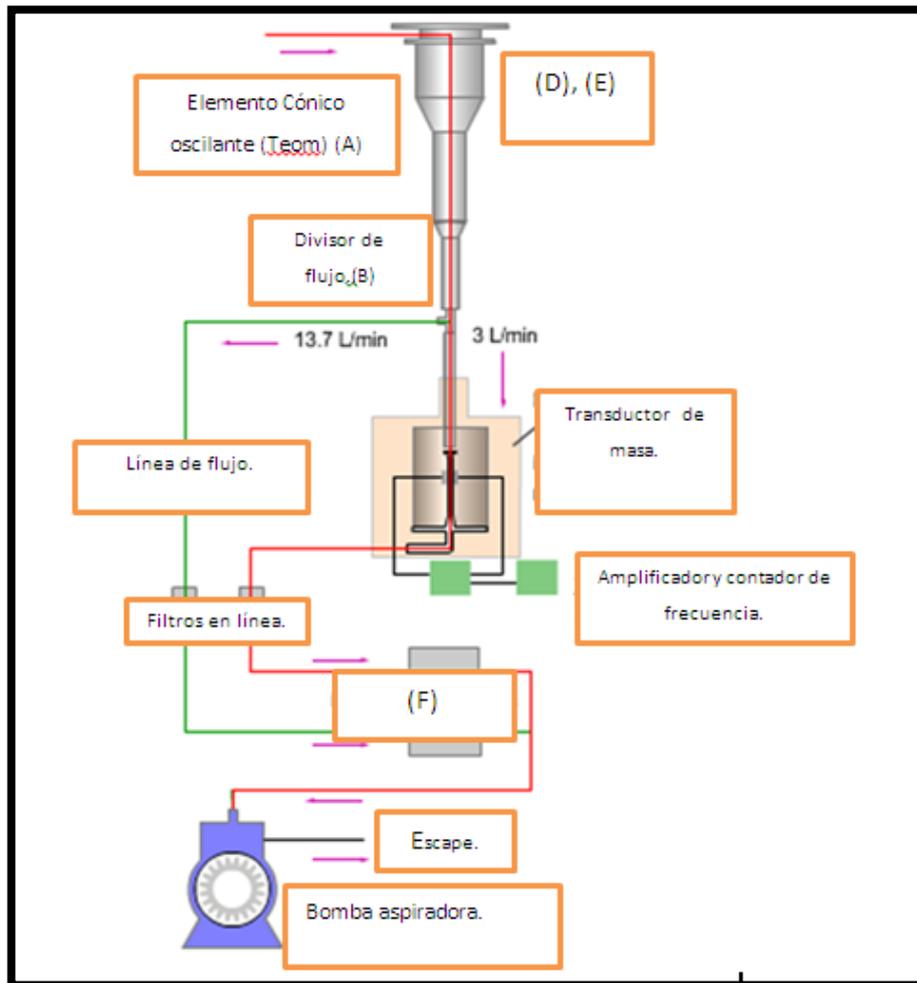


Figura 13.1 TEOM 1405. Monitor de partículas Ambientales
Fuente [23].

MODELO 5014 i. PARTÍCULAS PM2.5

El Modelo 5014i continuo es un monitor de partículas de forma continua, mide la concentración en masa de las partículas en suspensión.

El Modelo 5014i utiliza el principio radiométrico de la atenuación beta a través de un área conocida en una cinta de filtro fibroso para detectar continuamente la masa de las partículas depositadas [24].

El área de recogida de muestras de partículas Modelo 5014i está situada entre los monitores con carbono-14 (C-14) y una fuente de rayos beta [24].

Se pueden presentar interferencias generalmente:

- 1.- Cuando la actividad del monitor C-14 es muy baja.
- 2.- Los períodos de rápida evolución de los niveles de gas radón en el ambiente [24].

Para determinar las posibles interferencias del gas Radón el equipo cuenta con un detector proporcional que permite medir las partículas β y las partículas alfa. La tasa de flujo de la muestra es controlada por medio de un solenoide y una válvula [24].

La apertura de la válvula varía en función de la velocidad de flujo medida a través un orificio de precisión [24].

Principio de Operación.

El principio radiométrico mide la atenuación de rayos gamma entre la fuente y el monitor. En la medición del flujo a granel existen obstáculos constantes en el haz que generan una permanente atenuación del mismo. El Modelo 5014i considera las emisiones de partículas alfa medidas directamente desde el ambiente [24].

Simultáneamente se realizan mediciones de la masa de partículas muestreada almacenadas en la cinta del filtro y la medición de la concentración en volumen de la muestra de partículas del aire [24].

La figura 11.2 señala un esquema de los componentes utilizados en el Modelo 5014. Los componentes principales son:

- 1.- El detector proporcional.
- 2.- La recogida de partículas en una cinta de filtro de fibra de vidrio.
- 3.- Placa de cámara de vacío en movimiento vertical.
- 4.- La fuente de rayos beta ^{14}C <100 Ci (<3,7 Mbq) [24].

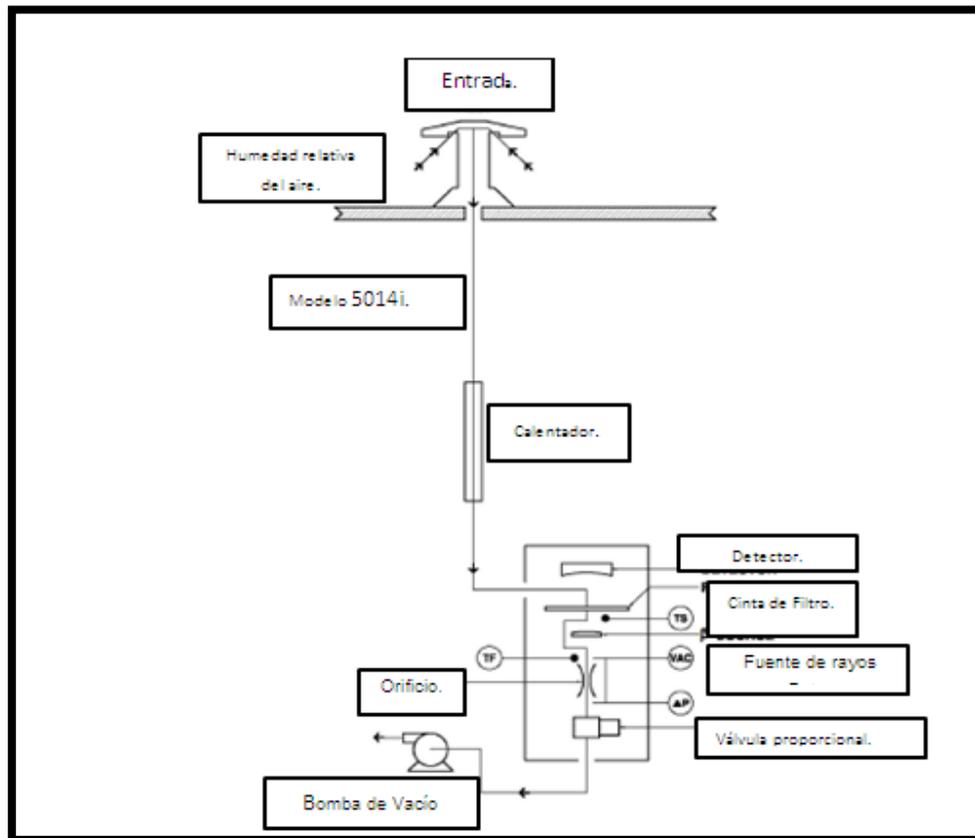


Figura 13.2 Modelo 5014. Monitor de partículas [24].

Fuente: [24]

El detector proporcional Modelo 5014i es sensible a los desastres naturales debido a la actividad alfa del aerosol que pasa por el sistema de muestreo. El modelo 5014i también incluye tres sensores de presión para medir la presión diferencial a través de un orificio subsónico, Presión al vacío, y presión Barométrica [24].

La bomba de vacío se utiliza para la masa de aire como un indicador de cualquier obstrucción del sistema y se incluye en el control de flujo volumétrico. El sensor barométrico se utiliza para la masa de aire y para la regulación del caudal volumétrico [24].

Los sensores de masa, sensor de humedad relativa, Sensor de la temperatura interna de muestra, sensor de temperatura ambiente exterior,

presión barométrica, y la tasa de flujo volumétrico se han calibrado para las normas de trazabilidad [24].

1.14. Método de Análisis.

El TEOM 1405 Monitor es un instrumento "gravimétrico" que pasa el aire a través de un filtro a una velocidad de flujo constante, continuamente se realiza el peso del filtro y calcula la concentración de masa en tiempo casi real de la materia particulada recogida [23].

El instrumento calcula los promedios de la concentración en masa en el transcurso de: 1 horas, 8 horas, 12 horas y 24 horas promedios de la concentración en masa.

El sistema FDMS (Filtro - Dinámico de Sistemas de Medición) se compone de los siguientes componentes: Filtro -Enfriador de aire, y una válvula de conmutación que se usa para dirigir la muestra fluye a través del sistema [23].

El FMDS permite al TEOM 1405 proporcionar una medición representativa de la materia en partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) de concentración de masa. La unidad FDMS automáticamente genera mediciones de concentración másica en unidades de (mg / m^3), para lograr esto la unidad FDMS constantemente toma muestras del ambiente [23].

Cada seis minutos, fluye la muestra por los suplentes de conmutación de la válvula entre los periodos programados la muestra se recoge normalmente y se determina la concentración en masa durante el período de referencia, el flujo se desvía a través de un filtro donde es enfriado para eliminar y retener el material no volátil e inestable [23].

Los controladores de flujo másico (MFC) en el monitor TEOM 1405 son internamente calibrados para una temperatura y presión estándar de 25 ° C

y 1 Atmósfera. El sistema puede funcionar en modo "activo" o "pasivo" para mantener el flujo volumétrico constante en la muestra entrada [23].

Para el control de flujo pasivo, el usuario debe introducir la (temperatura promedio y la presión barométrica promedio) de la estación [23].

El microprocesador calcula el correcto punto de ajuste del flujo de masa (Flow_RateSTP) con esta información utilizando la siguiente fórmula:

$$flujopasivo : Flujopasivovolumetrico \times \frac{PAvg}{Pstd} \times \frac{TemperturaSTD + 273.15}{TempaeraturaAVG + 273.15}$$

Ecuación (9)

Flujo Pasivo: Punto de ajuste del controlador de flujo másico (equivalente fluir a 25 ° C y 1 atmósfera).

Flujo pasivo volumétrico: Tasa de flujo volumétrico del punto de ajuste (l / min).

Temperatura AVG: Media de la temperatura introducida por el usuario (° C).

Temperatura STD: Temperatura Standard (25°C).

PAVG: Presión barométrica promedio introducida por el usuario (Atmósferas).

P std: Presión estándar (1 atm).

El control de flujo activo puede ser configurado para medir automáticamente la temperatura ambiente y presión usando los suministros de hardware [23].

Para las partículas PM₁₀ los datos de concentración de masas reportados a la EPA EE.UU. deben estar referenciados en metros cúbicos de aire en base a una temperatura estándar y la presión de 25 ° C y 1 atmósfera (atm) [23].

El monitor TEOM 1405 utiliza controladores de flujo másico para asegurar un constante y preciso del caudal a través del instrumento:

Los controladores de flujo másico utilizan el ajuste de control del flujo volumétrico activo o (volumétrico pasivo promedio para realizar el ajuste de control de flujo) [23].

CAPÍTULO II.

2.1. MARCO TEÓRICO.

Todos los contaminantes del aire emitidos por fuentes puntuales y distribuidas son transportados, dispersos o concentrados por condiciones meteorológicas y topográficas. La dispersión de un contaminante en la atmósfera es el resultado de tres mecanismos dominantes:

- 1.- El movimiento medio general del aire que transporta el contaminante en la dirección del viento.
- 2.- Las fluctuaciones turbulentas de la velocidad que dispersan el contaminante en todas direcciones.
- 3.- La difusión de masa debido a los gradientes de concentración [25].

La Figura 2.1 muestra la estratosfera, troposfera y la capa límite (que más cerca de la tierra de superficie). La diferencia entre las capas se caracteriza por los cambios en temperatura con la altura, con cambios en la estructura de las capas de tales como la nubosidad y la turbulencia [25].

La profundidad de la troposfera es 8-15 km, los valores más bajos se producen en los polos y el más alto en el ecuador con algunas variaciones estacionales. Dentro de esta capa se produce la mayor parte de la variabilidad de las condiciones que lleva el tiempo [25].

La estratosfera es relativamente libre de nubes y considerablemente menos turbulento, por ello se pueden volar aviones a larga distancia en la estratosfera a grandes altitudes [25].

Dentro de la troposfera la temperatura disminuye con la altura debido a la disminución de la influencia de la radiación de la superficie de la tierra, pero a medida que nos adentramos en la estratosfera la temperatura comienza a aumentar de nuevo. El punto de inflexión se llama tropopausa. En consecuencia, el aire se mezcla a través de la tropopausa muy lentamente ocurriendo eventos especiales como el plegado troposférico [25].

Normalmente pensamos en " La contaminación del aire" en términos de la troposfera, dentro de los cuales la mayoría de los contaminantes tienen una vida bastante limitada antes de que retornen por la lluvia, eliminados por reacción, o depositado en el suelo.

Sin embargo, si los contaminantes se inyectan directamente en la estratosfera pueden permanecer allí durante largos períodos debido a la mezcla lenta de los mismos, resultando efectos notables sobre todo el globo terrestre. Por lo tanto, las grandes erupciones volcánicas inyectan polvo fino en la estratosfera pueden conducir a una reducción en la cantidad de energía solar que llega a la planta durante más de un año después del evento. Otros problemas globales relacionados con eventos en la estratosfera tales como la posibilidad de daño a la capa de ozono [25].

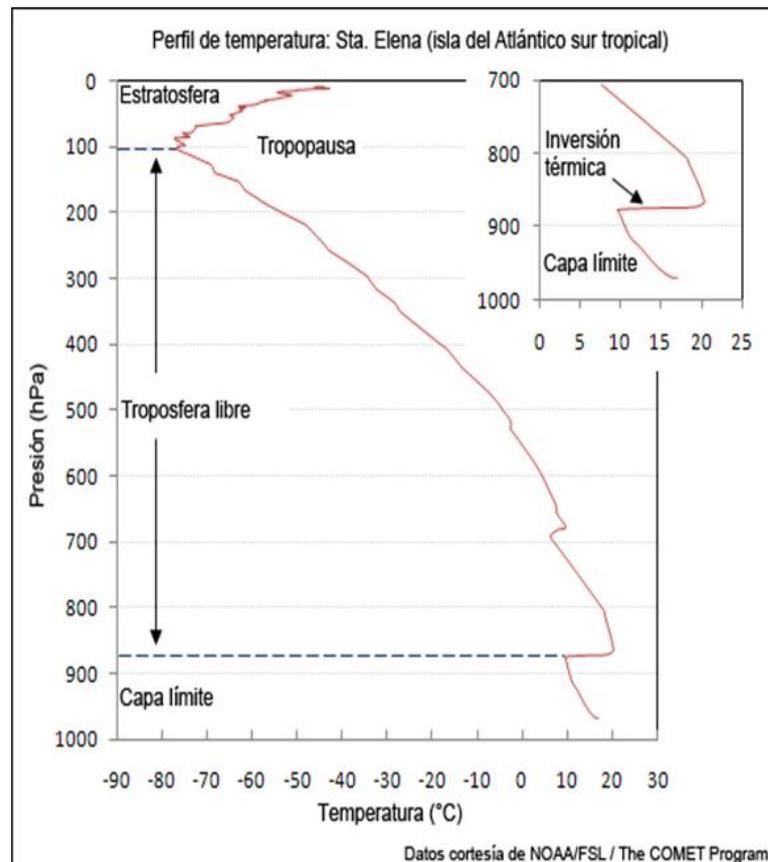


Figura N°2. 1. La estructura vertical de la atmósfera
Fuente [25].

2.1.1 La circulación atmosférica.

Para entender los problemas ambientales: globales y locales debemos entender primero ¿Cómo los contaminantes circulan a través de la atmósfera? (Espectro radiómetro de moderada resolución) [25].

Los principales motores para la circulación de los contaminantes en la atmósfera son: La radiación solar incidente y la Rotación de la tierra. Debido al ángulo del sol, la cantidad de energía solar que cae en un área dada varía con la latitud de modo que los polos son fríos y las regiones ecuatoriales caliente [25].

El aire caliente se eleva en el Ecuador y el aire frío fluye hacia el interior del norte y del sur. Una situación similar se produce en los polos, donde los flujos de aire caliente hacia ellos caen en las regiones frías [25].

2.1.2 La capa límite.

Cerca al suelo la situación es más complicada debido a los efectos de las fuerzas de fricción y de flotabilidad. La turbulencia se genera por fuerzas mecánicas como el aire el cual fluye sobre desigual en las colinas, edificios o árboles, Las plantas también pueden calentar o enfriar el aire lo que da como resultados corrientes ascendentes y descendentes [25].

En el lenguaje de la mecánica de fluidos tenemos un transporte turbulento que genera un impulso, adquiere energía con la velocidad y la temperatura correspondiente formando gradientes en la dirección vertical, se debe tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura más unos cientos de metros de la atmósfera, esta variación es mayor sobre superficies ásperas (por ejemplo, una ciudad) donde el efecto podría ser de una reducción de 40% de la velocidad del viento (el viento geostrófico) [25].

Sobre superficies lisas (por ejemplo: el mar, las capas de hielo) el efecto es menor y la reducción puede ser sólo 20%. El efecto cambiante de fricción con la altura también provoca una variación de la dirección del viento a medida que nos alejamos desde la superficie de la tierra, es decir, (La cizalladura del viento). Un penacho de una chimenea alta, por lo tanto, puede parecer que estar viajando en un ángulo a nivel del suelo viento.

Dentro de la troposfera, por lo tanto, definimos una capa límite en cuya superficie ocurren efectos importantes, esto es del orden de 1 km de profundidad pero varía significativamente con las condiciones meteorológicas (Figura 2.1), de forma vertical la mezcla de contaminantes dentro de la capa límite se determina en gran parte por la estabilidad atmosférica la cual hace referencia a la intensidad de los efectos mencionados anteriormente [25].

La mayor parte de los residuos industriales se descargan verticalmente al aire libre, mediante una chimenea. Una vez que el gas contaminado sale del punto de descarga, la columna de humo tiende a expandirse y mezclarse con el aire ambiental donde se diluyen los residuos gaseosos, para finalmente dispersarse y bajar al suelo. Los contaminantes afectan tanto la salud humana, como la de los vegetales [25].

2.1.3 Modelización Matemática de Dispersión.

Hay una serie de técnicas para el modelado de la dispersión y reacción de los contaminantes atmosféricos. La elección de un tipo particular de modelo depende de muchos factores tales como la escala de distancia en la que estamos interesados, por ejemplo, carretera urbana, dispersión de la pluma, el smog escala regional modelado, modelado global de circulación, etc. [6].

Los modelos de calidad del aire usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan los contaminantes en su dispersión y transformación en la atmósfera. La aplicación de un modelo es una tarea compleja [6].

Los modelos de calidad del aire son una potente herramienta de análisis, que tiene un amplio espectro de aplicación que va desde la evaluación de estrategias de control de emisiones y su impacto en la calidad del aire para apoyar la toma de decisiones, hasta la generación de información científica valiosa para comprender mejor la dinámica de la atmósfera y la contaminación en un lugar o región determinada [6].

2.1.4 Escalas espaciales y temporales de los procesos atmosféricos .

El clima es considerado como un complejo sistema de interrelaciones entre variables y procesos, que tienen lugar en ámbitos tan diferentes como la atmósfera, la hidrosfera (océanos, mares y cuerpos de agua), la litosfera (superficie terrestre), la criosfera (capas de hielo y nieve) y la biosfera (los ecosistemas) [3].

Sus elementos son los componentes que lo definen (temperatura, precipitación, presión, etc), y las variables a través de las cuales se manifiesta su influencia sobre los demás elementos del medio natural [3].

La importancia del clima para la sociedad radica en que el valor de su estado medio o condición, su variación en el tiempo (en escala diaria, estacional, anual, decenal y secular), su carácter y extensión geográfica, la frecuencia y persistencia de sus valores extremos, determinan la disponibilidad de recursos de los cuales depende la humanidad [3].

Sin embargo, este hecho no supone ni significa que el clima sea invariable en el tiempo y en el espacio, porque los valores medios sólo

tienen un valor relativo, ya que las principales características que definen a los elementos climáticos es su **variabilidad natural**, que se manifiesta a través de:

La Variabilidad espacial, que explica las diferencias regionales de los climas sobre la superficie terrestre. Esta variabilidad está determinada por la influencia de los elementos y factores astronómicos y geográficos (la latitud, altitud, efecto marítimo o continental, corrientes marinas). Los primeros condicionan los rasgos climáticos dominantes en grandes áreas geográficas, los segundos los modifican [3].

La variabilidad temporal, que puede ser de orden diario, mensual, estacional, anual, o en intervalos temporales más largos (décadas, centurias, milenios). La variabilidad temporal se relaciona con los factores cósmicos: movimientos de rotación y traslación de la Tierra, su posición con respecto del sol, desplazamiento estacional de los grandes sistemas de presión y flujos de aires, entre otros [3].

Durante el transporte de contaminantes a través de la atmósfera, todos excepto las sustancias más inertes son propensos a participar en alguna forma de las reacciones químicas. Este proceso puede transformar un producto químico desde su estado original, físico (gas, líquido o sólido) y químico a partir de su estado original y forma química en la que entra primero la atmósfera, a otro estado que pueden tener características similares o muy diferentes [3].

El ambiente puede ser comparado con un enorme reactor químico en el que continuamente se están introduciendo un gran número de especies y se retiran a través de una amplia gama de escala espacial y temporal [3].

El ambiente en sí presenta una gama de escalas espaciales abarca ocho órdenes de magnitud . Las escalas de movimiento en la atmósfera varían desde pequeños remolinos de un centímetro o

menos en tamaño a grandes movimientos de masas de aire de grandes dimensiones [3].

En la tabla 2.1 se observan las cuatro categorías que se han establecido para clasificar las escalas atmosféricas de movimiento:

Tabla 2.1 Categorías de Escalas Atmosféricas [26].

Categoría de Escala.	Definición.
Microescala.	Define las concentraciones en volúmenes de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 metros.
Escala Media.	Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100 metros hasta 0.5 kilómetros.
Escala sinóptica .	El movimiento de los sistemas meteorológicos enteros, en escalas de cientos a miles de kilómetros.
Escala Global.	Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación o del mundo como un todo. Fenómenos que ocurren en escalas superiores a 5×10^3 km.

Fuente: [26]

2.2 MARCO CONCEPTUAL.

Las emisiones del tráfico en general, constituyen la principal fuente de contaminación del aire en las zonas urbanas. El mayor nivel de contaminación del aire por la emisión de gases y material particulado, y la incidencia nociva de este tipo de emisiones en la salud humana, es quizá el mayor y más preocupante costo, a modo de externalidad negativa, generado por la creciente movilidad realizada por medio de vehículos automotores [10].

Se estudiará el mecanismo CB06 para comprender el comportamiento, formación y dinámica de los contaminantes en la atmósfera.

Al realizar los estudios comparativos con el mecanismo químico CB06 en el mes de Diciembre y Junio del año 2015 esta tesis propone contribuir con resultados que proporcionara una mejor comprensión del comportamiento de los contaminantes en la atmósfera.

Los resultados de este estudio permitirán al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú considerar las medidas preventivas necesarias ante las concentraciones de especies químicas del mecanismo a lo largo de la trayectoria estudiada.

CAPITULO III.

3.1 DESARROLLO DEL TRABAJO DE LA TESIS.

Ecuaciones estadísticas.

Los parámetros fueron evaluados mediante cálculos estadísticos para conocer el comportamiento del modelo CCATT-BRAMS, la amplitud de los datos observados, se utilizó la Media, la (Media + Desviación estándar), (Media – Desviación estándar).

Los parámetros fueron evaluados mediante cálculos estadísticos para conocer el rendimiento del modelo CCATT-BRAMS.

Pruebas no Paramétricas.

Estadística no paramétrica.

La estadística no paramétrica es una rama de la estadística que estudia las pruebas y modelos estadísticos cuya distribución subyacente no se ajusta a los llamados criterios paramétricos.

El parámetro estadístico para evaluar la discrepancia entre el modelo y observado para cada contaminante estudiado es el Coeficiente de correlación de Pearson, los resultados señalan que los valores se acercan a cero, la regresión lineal no se ajusta bien a los datos, esto significa que no hay una correlación entre el modelo y observado.

La prueba de X Pearson se considera una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis.

También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia.

Los valores estadísticos en cada estación evaluados se presentan en las siguientes tablas.

Promedio horario de la concentración de Partículas PM10, Partículas PM2.5 (Observados y simulados), Ozono (Simulado), Óxido de Nitrógeno (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO2) Observado y Simulado, Desviación estándar, Media – Desviación Estándar. Media + Desviación Estándar.

Mes: Diciembre. Año 2015.

San Juan de Lurigancho.

Tabla N° 3.1 M.I.1 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM2.5 Simulado y desviación estándar

Horas.	Media 1h.	Max.	Min.	Desv. Estand.	Media +Desv. Estand.	Media- Desv. Estand.
1	5.98	9.2	2.92	1.78	7.76	4.2
4	6.35	11.84	3.89	2.07	8.42	4.28
7	4.11	10.77	0.18	2.28	6.39	1.83
10	6.5	18.56	1.89	3.85	10.35	2.65
13	3.63	9.58	2.26	1.68	5.31	1.95
16	3.14	4.57	2.2	0.62	3.76	2.52
19						
22	5.51	8.64	2.19	1.82	7.33	3.69

Fuente : Propia.

Tabla N° 3.2 M.I.2 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM2.5 Observado y Desviación Estándar.

PM 2.5						
HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estand	Media+Desv. Estand.	Media-Desv Estand.
0	24.20	54.80	8.79	9.15	33.34	15.05
1	27.49	120.50	2.25	20.04	47.53	7.44
2	34.82	265.90	4.75	44.54	79.36	-9.73
3	30.52	241.80	2.45	40.85	71.36	-10.33
4	27.47	145.60	4.93	24.73	52.20	2.73
5	26.33	66.44	6.03	13.73	40.07	12.60
6	27.52	68.66	8.10	14.83	42.36	12.69
7	27.48	71.21	4.40	16.82	44.30	10.66
8	29.60	90.30	5.82	18.35	47.95	11.25
9	33.38	129.80	7.54	22.52	55.89	10.86
10	33.95	103.40	9.74	18.32	52.27	15.63
11	31.56	65.47	12.57	12.83	44.40	18.73
12	29.91	55.59	12.52	10.67	40.58	19.25
13	26.11	63.21	9.20	11.25	37.36	14.86
14	23.98	53.02	10.19	10.84	34.82	13.15
15	23.02	48.27	6.95	9.41	32.44	13.61
16	24.01	49.75	6.92	9.62	33.63	14.38
17	19.85	34.86	4.47	7.11	26.96	12.75
18	20.69	42.72	3.56	9.09	29.78	11.61
19	22.98	49.56	5.19	10.65	33.63	12.33
20	21.61	50.10	4.22	9.12	30.73	12.49
21	21.08	43.57	5.56	8.46	29.54	12.61
22	23.00	38.10	8.99	7.86	30.86	15.14
23	23.4348387	52.59	9.91	8.88	32.32	14.55

Fuente : Propia.

Tabla N°3.3 M.I.3 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar.

Hora.	Media 1h	Max	Min	Des.Estan	Media+Desv. Estand.	Media-Desv. Estand.
01:00	7.8	16.4	0.39	4.8	12.6	3
04:00	8.27	18.25	0.62	4.62	12.9	3.65
07:00	13.62	19.07	5.93	3.05	16.67	10.57
10:00	27.57	46.63	16.74	7.61	35.18	19.95
13:00	22.61	34.46	8.29	5.74	28.35	16.88
16:00	13.79	17.13	3.88	2.63	16.41	11.16
19:00	23.82	23.91	23.75	0.04	23.87	23.78
22:00	6.21	18.46	0.24	5.1	11.31	1.11

Fuente : Propia.

Tabla N° 3.4 M.I.4 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Observado) y desviación estándar.

Fuente : Propia.

HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estan	Media+Desv.	Media-Desv.
01:00	7.80	16.40	0.39	4.80	12.60	3.00
04:00	8.27	18.25	0.62	4.62	12.90	4.62
07:00	13.62	19.07	5.93	3.05	16.67	10.57
10:00	27.57	46.63	16.74	7.61	35.18	19.95
13:00	22.61	34.46	8.29	5.74	28.35	16.88
16:00	13.79	17.13	3.88	2.63	16.41	11.16
19:00	23.82	23.91	23.75	0.04	23.87	23.78
22:00	6.21	18.46	0.24	5.10	11.31	5.10

Tabla N°3. 5 M.I.5 Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Modelo y desviación estándar.

Fuente : Propia

HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estand	Media+Desv. Estand.	Media-Desv. Estand.
01:00	0.69	5.37	0	1.52	1.52	0.83
04:00	0.18	3.37	0	0.7	0.7	0.52
07:00	1.03	2.46	0.01	0.76	0.76	0.27
10:00	12	30.17	0.79	7.27	7.27	4.73
13:00	14.37	49.7	9.02	8.02	8.02	6.35
16:00	18.84	29.26	11.32	4.67	4.67	14.17
19:00	0.03	0.03	0.03	0	0.03	0.03
22:00	2.6	10.79	0.05	3.04	5.64	0.44

Tabla N°3.6 M.I.6 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Observado y desviación estándar.

HORA	Media 1h	Max	Min	Desv. Estand.	Media+Desv. Estand.	Media-Desv. Estand.
0	26.60	76.09	4.64	20.45	47.05	6.15
1	24.62	94.70	3.21	23.87	48.49	0.75
2	19.13	90.20	2.38	22.66	41.78	-3.53
3	13.67	94.30	1.69	18.89	32.55	-5.22
4	12.44	92.50	1.90	18.67	31.11	-6.23
5	12.40	103.20	1.67	20.03	32.43	-7.63
6	13.44	99.60	2.15	19.94	33.38	-6.50
7	21.03	136.10	5.23	25.83	46.86	-4.79
8	28.16	139.70	7.76	25.63	53.79	2.53
9	33.55	79.21	6.21	15.77	49.32	17.78
10	29.37	50.10	6.23	11.08	40.45	18.28
11	23.08	35.19	7.73	7.66	30.74	15.42
12	16.34	27.05	4.98	5.42	21.76	10.91
13	11.63	24.64	4.21	4.67	16.30	6.96
14	10.34	17.52	3.65	4.11	14.44	6.23
15	10.48	20.44	4.55	4.09	14.57	6.39
16	10.25	21.63	4.52	3.92	14.18	6.33
17	11.15	16.75	5.20	3.62	14.78	7.53
18	11.53	19.21	4.25	4.01	15.54	7.52
19	14.21	29.36	3.36	7.93	22.14	6.28
20	20.02	41.97	4.23	11.14	31.16	8.88
21	24.31	64.66	4.69	13.60	37.91	10.71
22	25.58	56.72	7.05	13.30	38.88	12.28
23	27.16	59.36	5.30	16.33	43.49	10.83

Fuente : Propia.

Tabla N°3.7 M.I.7 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) Observado y desviación estándar.

Fuente: Propia

NO₂.						
HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estan	Media + Desv.Estand.	Media- Desv.Estand.
0	17.19	24.33	11.84	3.12	20.31	14.07
1	16.07	24.16	7.80	3.82	19.89	12.26
2	14.69	24.64	5.97	4.47	19.16	10.22
3	13.25	21.79	4.39	4.41	17.66	8.84
4	12.25	19.61	3.35	4.41	16.66	7.84
5	11.60	18.99	3.91	4.08	15.68	7.51
6	12.15	19.97	6.56	3.66	15.81	8.49
7	14.22	22.86	9.60	2.94	17.16	11.28
8	16.76	49.02	10.47	7.03	23.79	9.73
9	20.00	71.09	11.24	11.71	31.71	8.29
10	21.03	57.26	10.52	9.91	30.94	11.12
11	21.79	39.01	8.77	7.27	29.07	14.52
12	21.16	31.26	8.14	6.20	27.36	14.96
13	19.31	31.76	7.80	5.57	24.87	13.74
14	18.78	30.83	7.31	5.09	23.87	13.68
15	18.17	26.81	6.74	4.65	22.82	13.52
16	16.77	25.69	6.37	4.13	20.90	12.65
17	17.75	25.95	7.77	4.68	22.43	13.08
18	19.27	28.98	9.48	5.12	24.39	14.16
19	20.47	28.83	11.51	4.44	24.91	16.03
20	20.23	27.02	13.63	3.46	23.69	16.77
21	19.26	25.07	14.74	3.07	22.33	16.19
22	18.89	24.85	14.61	2.89	21.78	16.00
23	18.06	24.38	13.64	3.03	21.09	15.04

Fuente: Propia

Tabla N° 3.8 M.I.8 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas (PM₁₀) Modelo y desviación estándar.

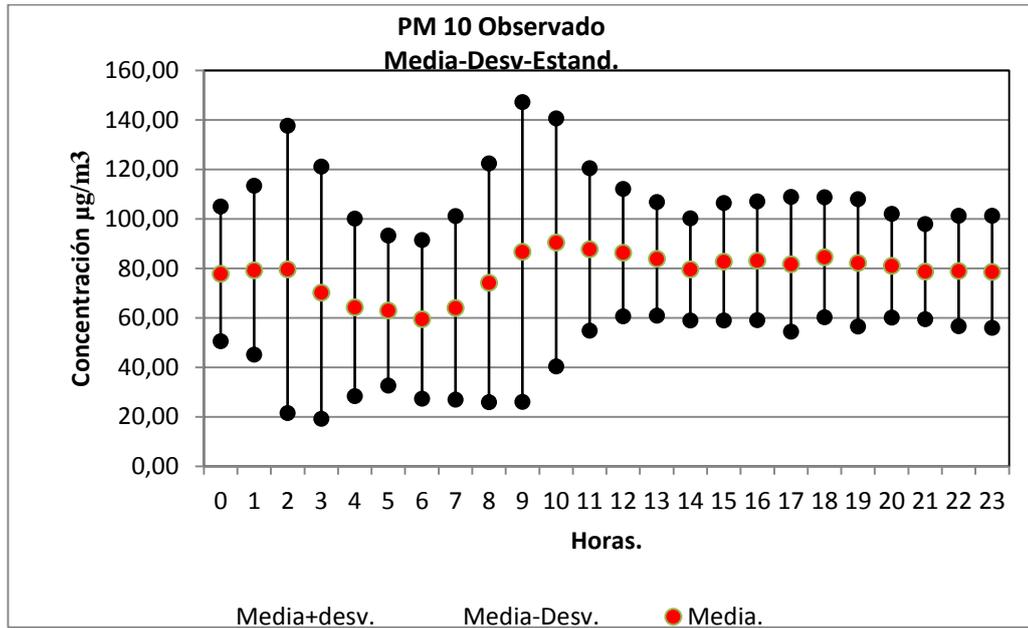
Fuente: Propia

HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estan	Media+Desv.Estand	Media-Desv. Estand.
01:00	27.84	48.97	9.04	11.32	16.53	11.32
04:00	33.41	62.09	0.00	12.39	21.02	12.39
07:00	21.06	38.35	0.00	9.58	11.48	9.58
10:00	29.81	97.27	0.00	20.60	9.21	20.60
13:00	19.82	49.65	0.00	9.68	10.14	9.68
16:00	17.16	25.78	0.00	5.00	17.15	12.17
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	21.12	38.88	5.02	9.63	11.49	9.63

Tabla N° 3.9 M.I.9 Promedio horario del mes de Diciembre 2015 de la concentración de Partículas PM10 (Observado) y desviación estándar.

HORA.	Media 1h	Max	Min	Des.Estan	Media+Desv.Estand.	Media-Desv. Estand.
0	77.83	122.90	22.36	27.21	105.04	50.62
1	79.25	187.40	22.85	34.14	113.39	45.11
2	79.64	345.90	9.40	58.08	137.72	21.55
3	70.18	306.50	16.42	51.01	121.19	19.16
4	64.22	202.30	16.47	35.88	100.10	28.33
5	62.94	125.60	11.82	30.32	93.25	32.62
6	59.45	116.80	12.64	32.07	91.52	27.38
7	64.06	149.40	16.28	37.16	101.22	26.90
8	74.21	255.60	23.32	48.29	122.50	25.92
9	86.68	310.40	26.42	60.61	147.29	26.07
10	90.52	244.90	39.12	50.16	140.68	40.36
11	87.73	175.10	44.29	32.87	120.60	54.87
12	86.36	147.10	52.39	25.77	112.13	60.59
13	83.86	128.90	56.64	22.98	106.84	60.88
14	79.64	132.00	41.35	20.63	100.28	59.01
15	82.75	135.10	42.12	23.72	106.47	59.03
16	83.07	132.00	45.37	24.03	107.10	59.04
17	81.68	157.90	33.08	27.28	108.96	54.41
18	84.52	134.10	38.50	24.27	108.79	60.24
19	82.25	129.70	34.52	25.73	107.98	56.52
20	81.10	123.60	40.34	20.99	102.09	60.11
21	78.70	122.30	37.73	19.25	97.96	59.45
22	78.99	127.70	31.28	22.30	101.30	56.69
23	78.64	124.10	26.36	22.67	101.32	55.97

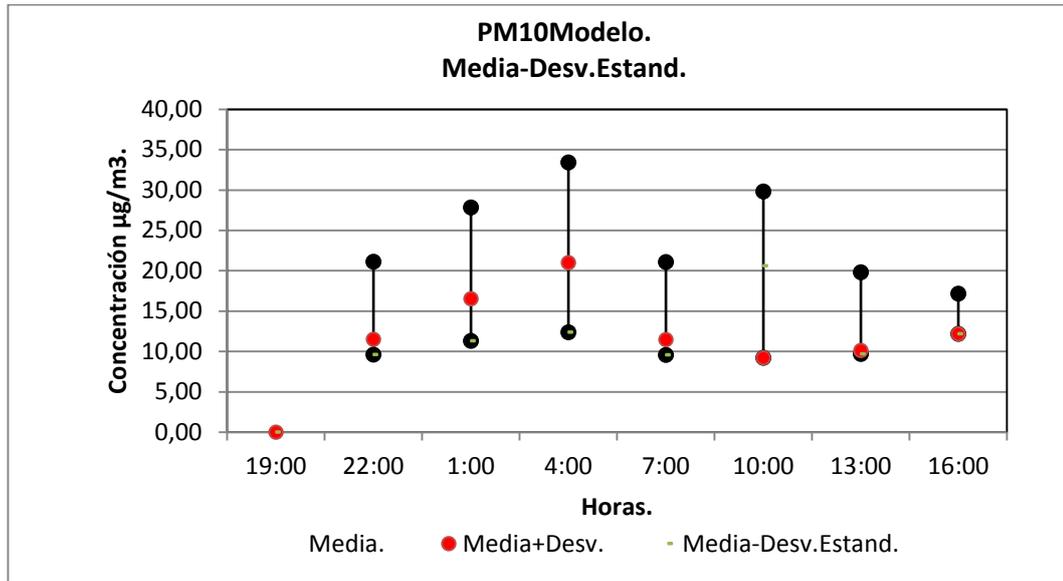
Fuente: Propia



Fuente Propia.

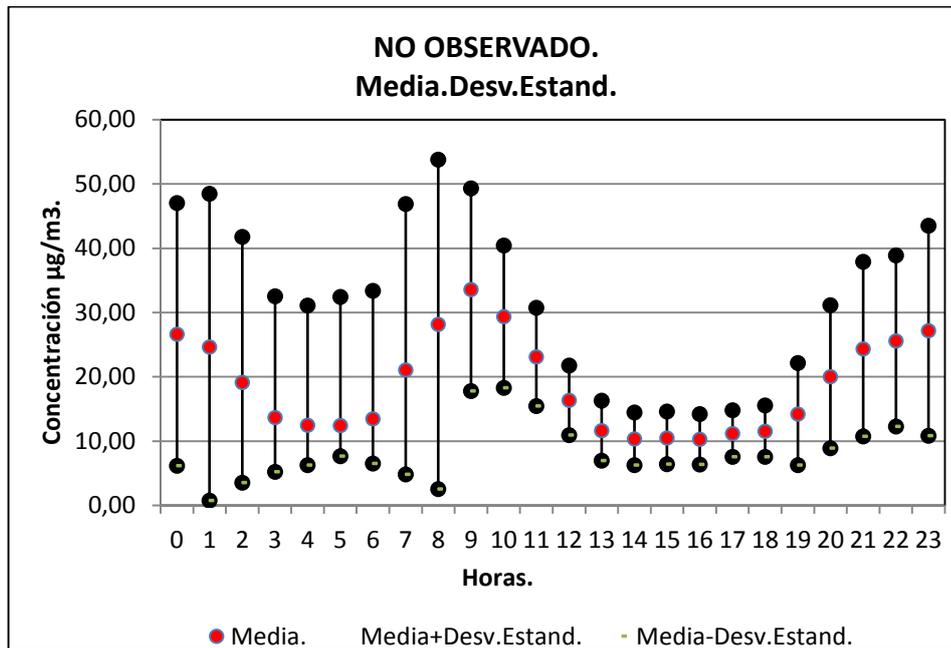
Figura N°3.1 Promedio horario de la concentración de Partículas PM10 y desviación estándar en la estación San Juan del Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Ver Apéndice M.I.



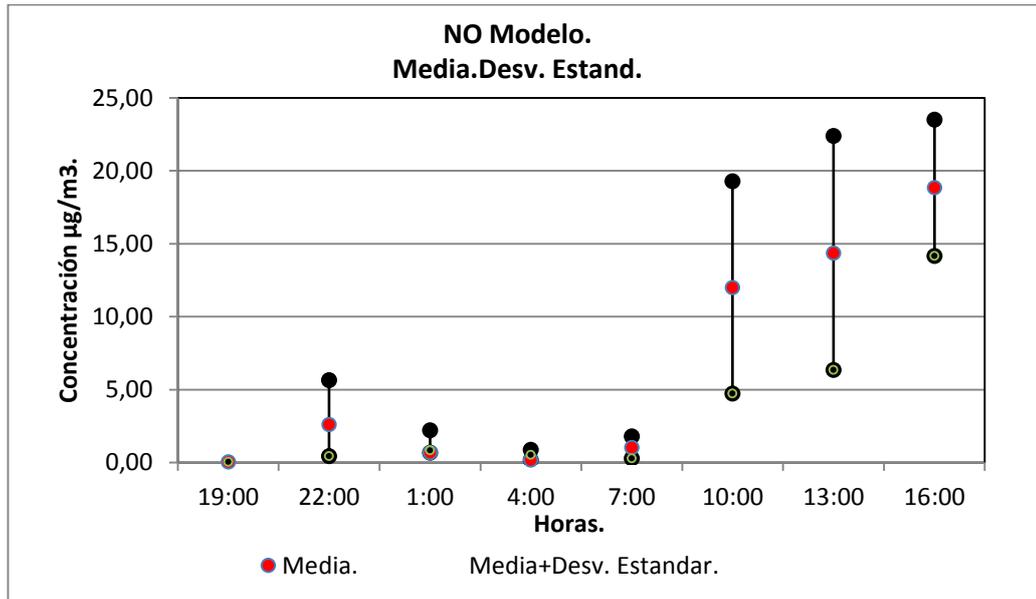
Fuente Propia.

Figura N°3.2 Promedio horario de la concentración de Partículas PM10 modelo y desviación estándar en la estación San Juan del Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.



Fuente Propia.

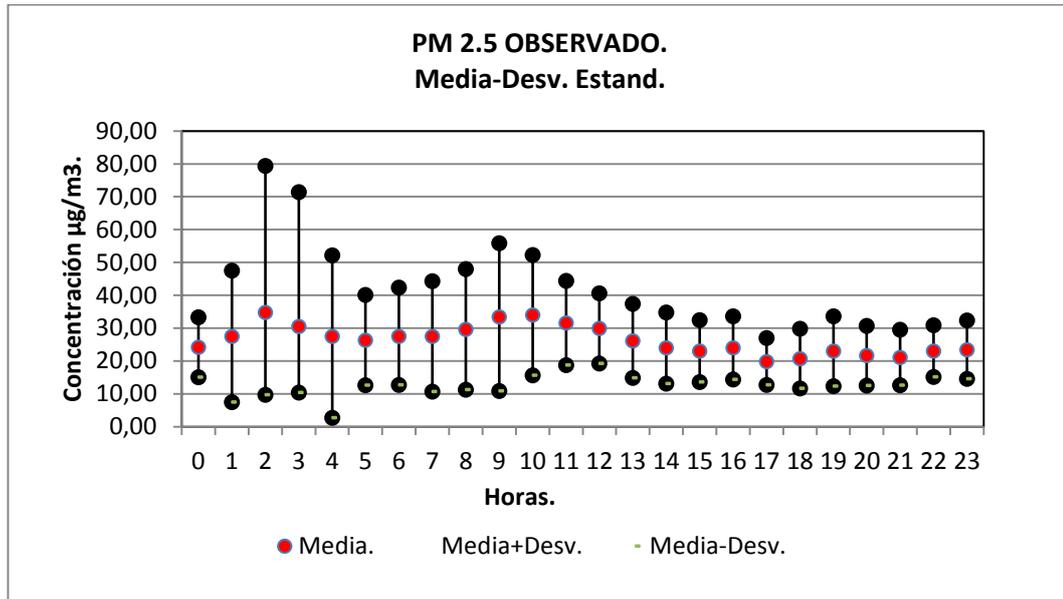
Figura N°3.3 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Observado y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.



Fuente Propia.

Figura N° 3.4 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) (Modelo) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

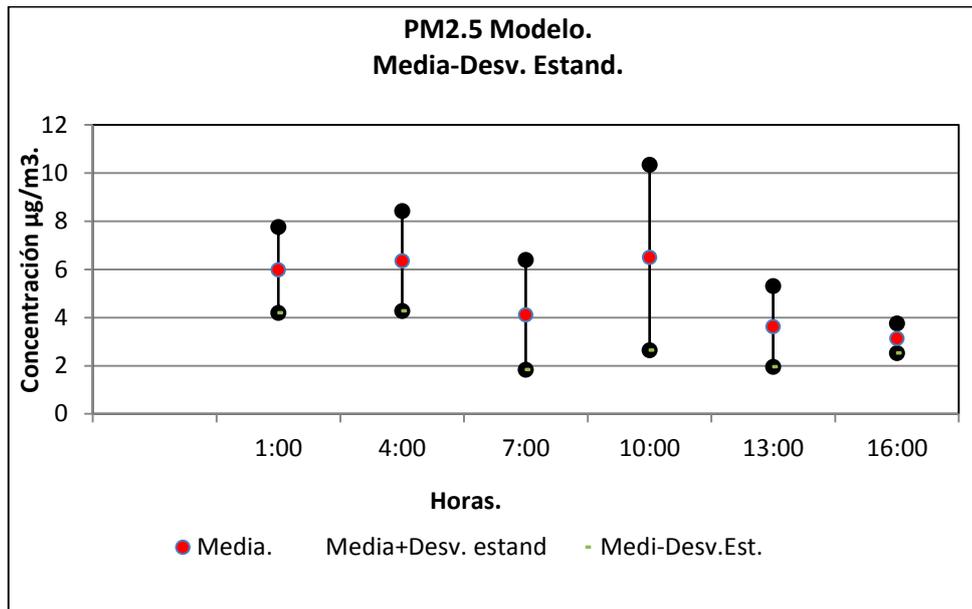
Grafico elaborado en base a la tabla N° 4 M.I.5.



Fuente Propia.

Figura N° 3.5 Promedio horario de la concentración de Partículas PM2.5 Observado y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

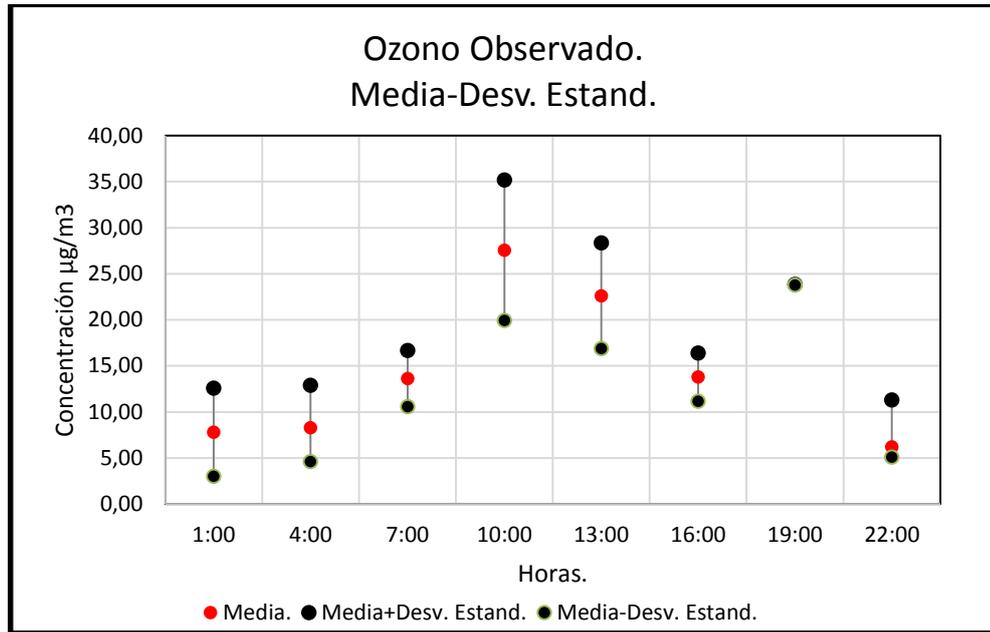
Figura elaborada en base a la tabla N° 5 M.I.2.



Fuente Propia.

Figura N° 3.6 Promedio horario de la concentración de Partículas PM2.5 Modelo y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Figura elaborada en base a la tabla N° 6 M.I.1.

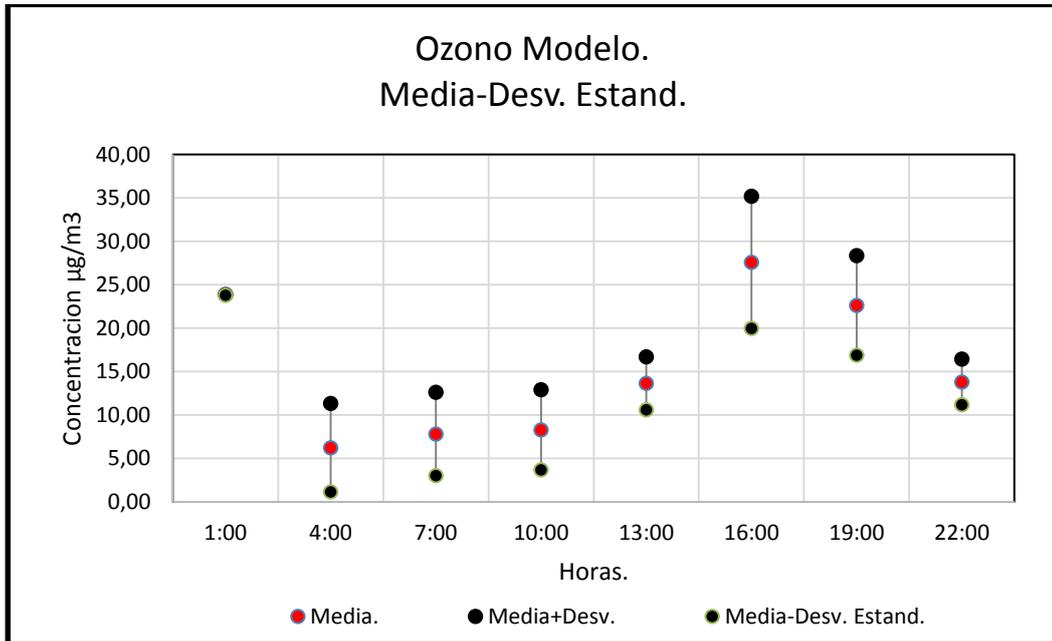


Fuente Propia.

Figura N° 3.7 Promedio horario de la concentración de Ozono (Observado) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Figura elaborada en base a la tabla N° 7 M.I.4.

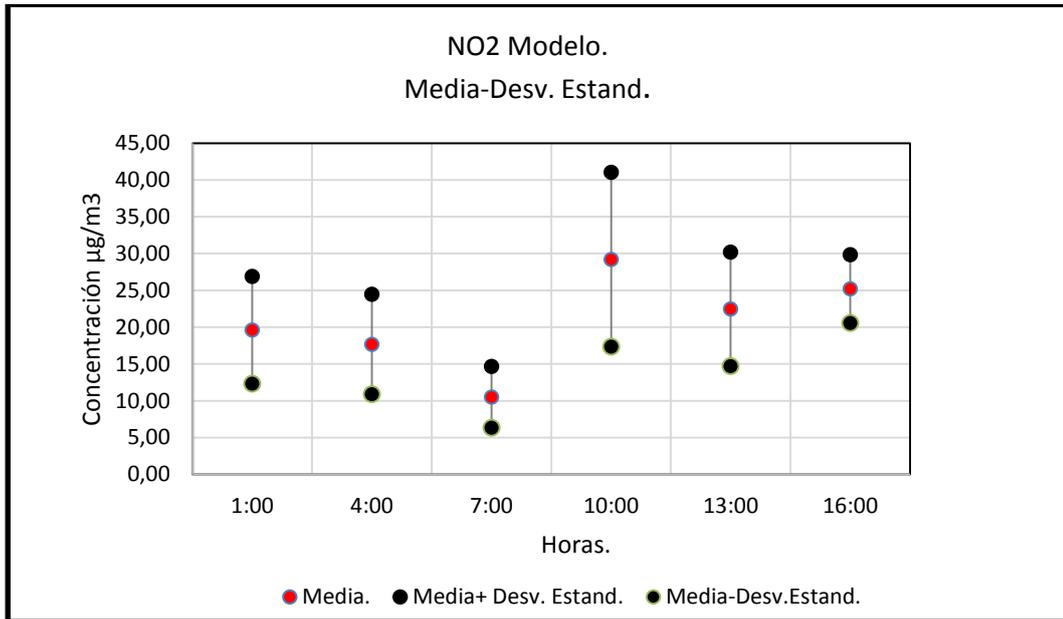
Apéndice M.I.



Fuente: Propia.

Figura N°3. 8 Promedio horario de la concentración de Ozono (Simulado) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

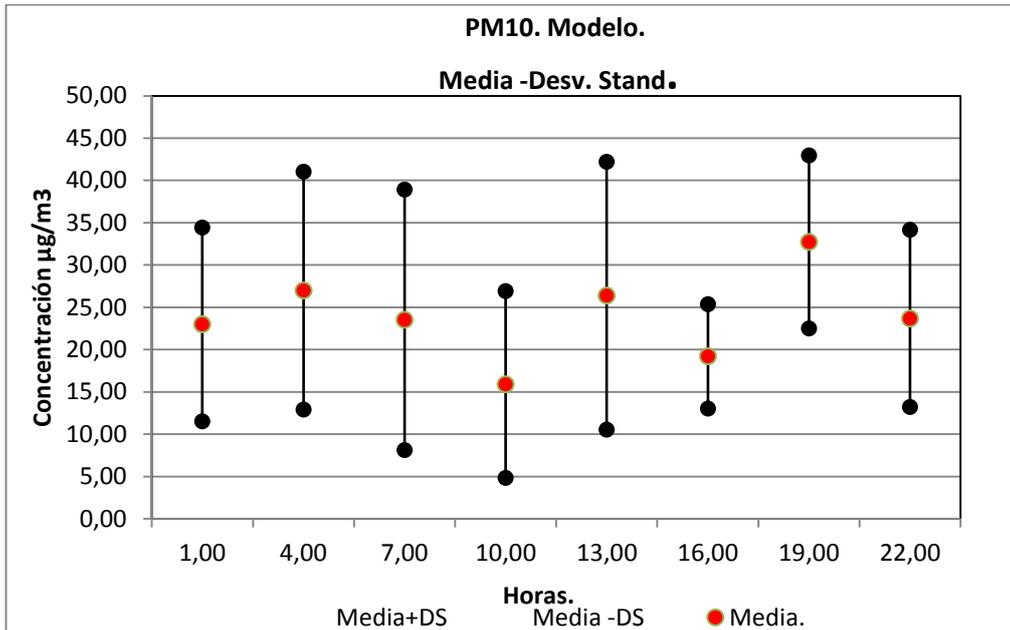
Figura elaborada en base a la tabla N° 8 M.I.6.



Fuente Propia.

Figura N° 3.9 Promedio horario de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (Simulado) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

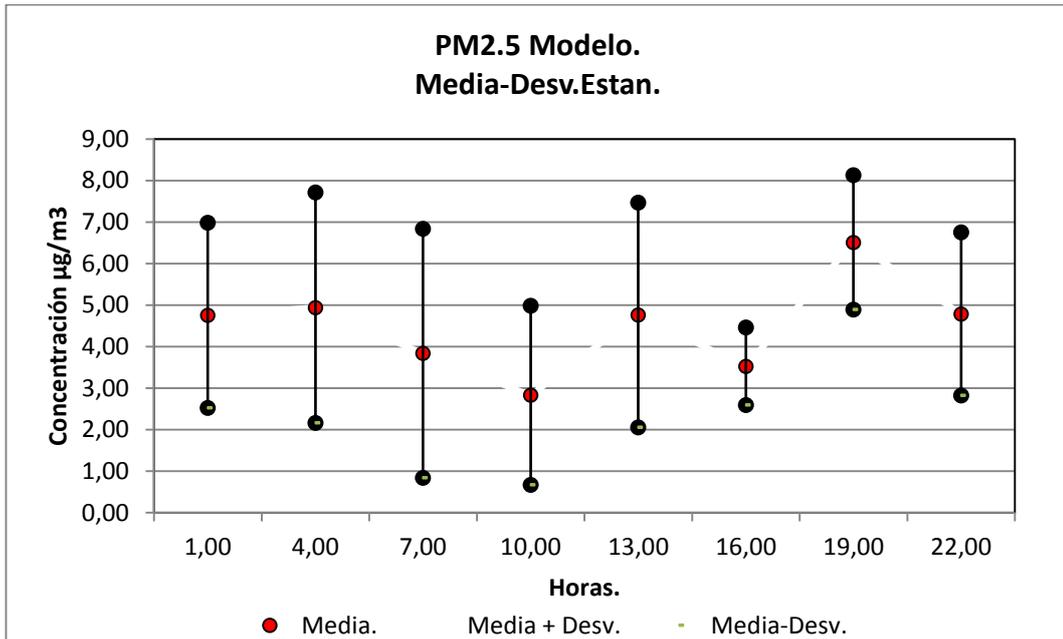
Figura elaborada en base a la tabla N° 9 M.I.7.



Fuente Propia.

Figura N° 3.10 Promedio horario de la concentración de Partículas (PM10) Simulado y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

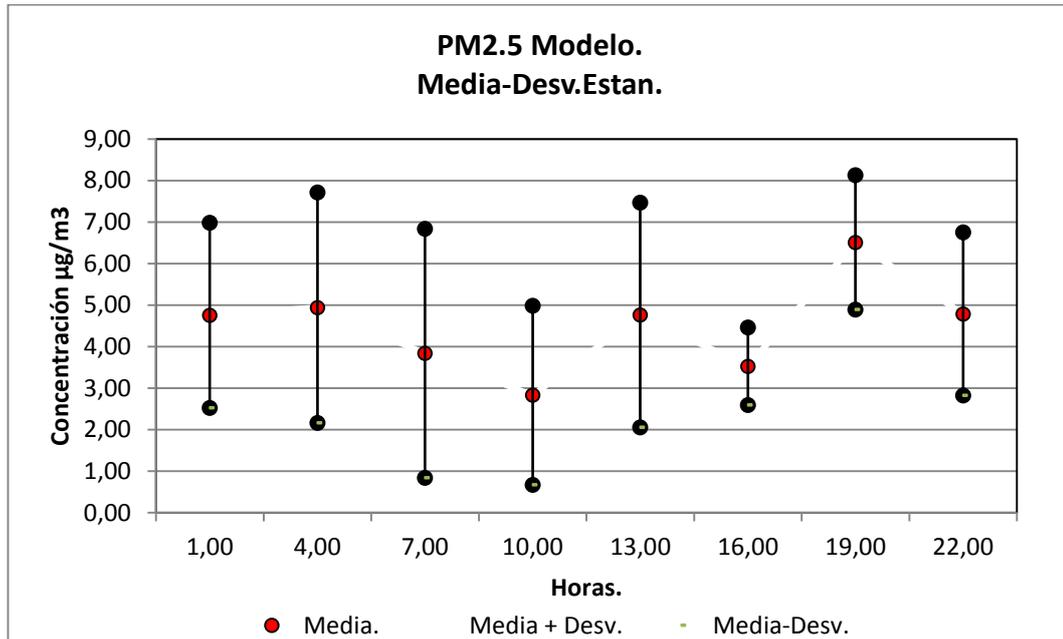
Figura elaborada en base a la tabla N°3. 10 L.I.1



Fuente Propia.

Figura N° 3.11 Promedio horario de la concentración de Partículas PM (2.5) Simulado y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

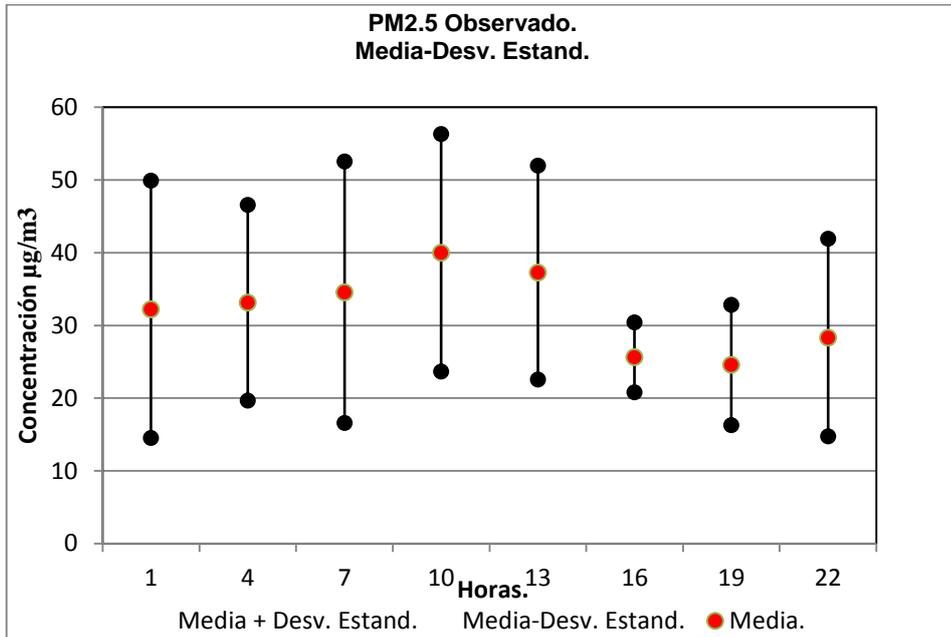
Figura elaborada en base a la tabla N° 3.11 L.I.2



Fuente Propia.

Figura N° 3.12 Promedio horario de la concentración de Partículas PM (2.5) Simulado y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

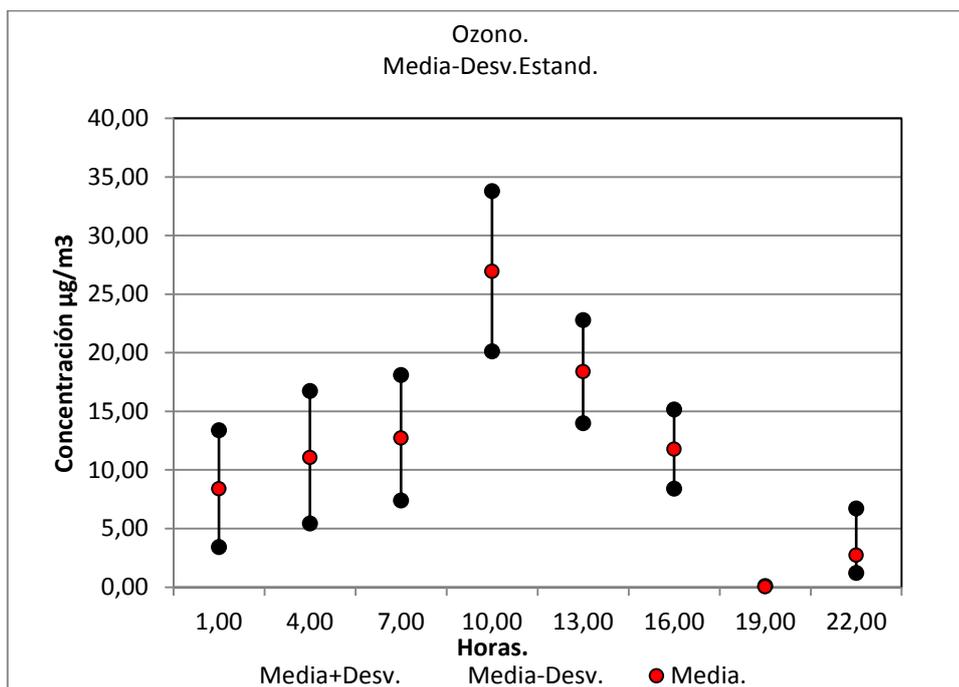
Figura elaborada en base a la tabla N° 3.12 L.I.3.



Fuente Propia.

Figura N° 3.13 Promedio horario de la concentración de Partículas PM_{2.5} (Observado) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

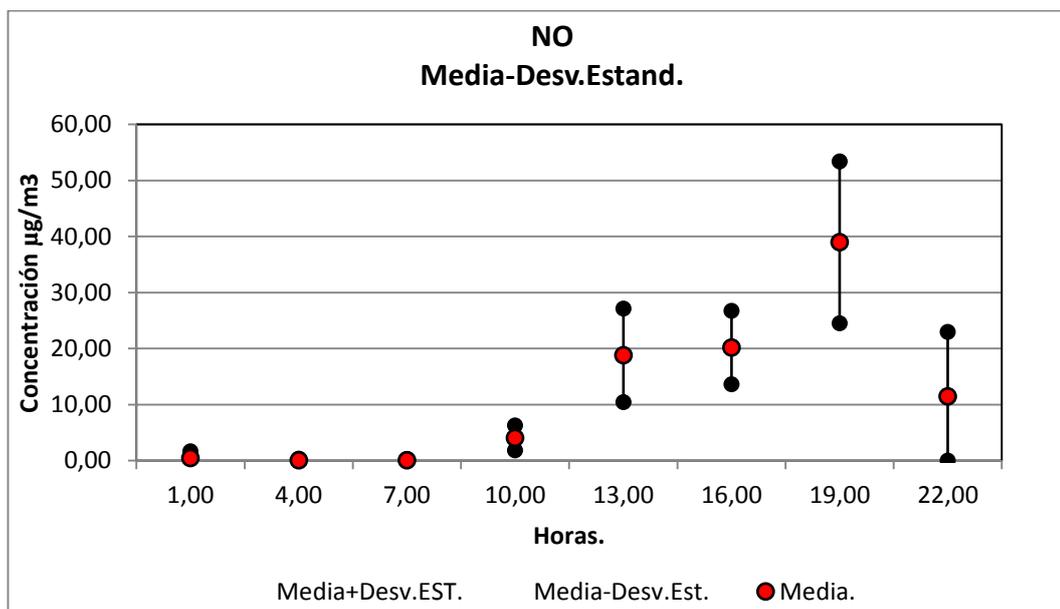
Figura elaborada en base a la tabla N° 3.13 L.I.4



Fuente Propia.

Figura N° 3.14 Promedio horario de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

Figura elaborada en base a la tabla N° 3.14 L.I.5



Fuente Propia.

Figura N° 3.15 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) y desviación estándar en la estación San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

Figura elaborada en base a la tabla N° 3.15 L.I.6

Promedio horario de la concentración de Partículas PM10, Partículas PM2.5 (Observados y simulados), Ozono (Simulado), Óxido de Nitrógeno (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) Observado y Simulado, Desviación estándar, Media – Desviación Estándar. Media + Desviación Estándar.

Mes Junio. Año 2015.

Estación San Juan de Lurigancho.

Tabla N°3. 10 L.I.1 Promedio horario de la concentración de Partículas PM10 Simulado y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.

HORA Local	Media-DS	Media 1h	Media + DS
1.00	11.52	22.98	34.44
4.00	12.92	26.98	41.04
7.00	8.12	23.52	38.92
10.00	4.83	15.88	26.93
13.00	10.53	26.38	42.22
16.00	13.04	19.21	25.39
19.00	22.51	32.74	42.97
22.00	13.22	23.69	34.15

Fuente: Propia.

Tabla N° 3.11 L.I .2 Promedio horario de la concentración de Partículas PM10 (Observado) y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.

PM 10 OBSERVADO.

HORA Local	Media+Desv.	Media 1h	Media-Desv.
1.00	111.17	66.27	21.38
4.00	84.22	58.54	32.86
7.00	88.70	60.22	31.73
10.00	129.15	88.78	48.41
13.00	113.61	87.99	62.38
16.00	113.05	81.93	50.81
19.00	105.46	75.16	44.86
22.00	119.59	71.92	24.24

Fuente: Propia.

Tabla N° 3.12 L.I.3 Promedio horario de la concentración de Ozono (Modelo) y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.

HORA Local	Des.Estand.	Media+ Desv	Med - Desv.	Media 1h
1.00	4.99	5.99	-3.99	8.41
4.00	5.66	9.66	-1.66	11.08
7.00	5.36	12.36	1.64	12.74
10.00	6.84	16.84	3.16	26.96
13.00	4.39	17.39	8.61	18.40
16.00	3.39	19.39	12.61	11.78
19.00	0.07	19.07	18.93	0.03
22.00	3.97	25.97	18.03	2.75

Fuente: Propia.

Tabla N° 3.13 L.I.4 Promedio horario de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Simulado y desviación estándar en el mes de Junio del 2015

Hora local	Media 1h.	Desv.Estand.	Media+Desv.	Media-Desv.
01:00	0.45	1.22	1.67	0.76
04:00	0.09	0.24	0.33	0.15
07:00	0.07	0.21	0.28	0.14
10:00	4.07	2.21	6.28	1.86
13:00	18.8	8.34	27.14	10.46
16:00	20.16	6.55	26.71	13.62
19:00	38.97	14.43	53.4	24.54
22:00	11.49	11.5	22.99	0.01

Fuente: Propia

Tabla N°3.14 L.I.5 Promedio horario de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) Modelo y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.

HORA Local	Media 1h	Des.Estan	Media-Desv.	Media+Desv.
1.00	18.31	7.75	10.55	26.06
4.00	13.66	7.75	5.91	21.42
7.00	10.42	6.35	4.07	16.77
10.00	11.74	5.78	5.96	17.52
13.00	27.12	11.27	15.85	38.39

Fuente: Propia

Tabla N°3.15 L.I.6 Promedio horario de la concentración de Partículas PM2.5 (Modelo) y desviación estándar en el mes de Junio del 2015.

HORA Local.	Media.	Des. Estand.	Media+Desv.	Media-Desv.
1	4.76	2.23	6.99	2.53
4	4.94	2.78	7.72	2.16
7	3.84	3	6.84	0.84
10	2.83	2.16	4.99	0.67
13	4.76	2.71	7.47	2.05
16	3.53	0.94	4.46	2.59
19	6.51	1.62	8.13	4.89
22	4.79	1.96	6.75	2.82

Fuente: Propia

Tabla N° 3.16. M.I.1. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM10 (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de diciembre del 2015.

Día	RMSE	r
9	279.57	0.85
10	251.02	0.73
11	199.03	0.52
12	121.28	-0.36
13	92.38	0.78
14	86.24	-0.61
15	208.45	0.48
16	256.02	0.71
17	125.32	-0.04
18	73.61	-0.25
19	129.20	-0.15
20	120.83	-0.36
21	142.62	-0.27
22	187.44	-0.34
23	90.05	-0.36
24	191.17	0.12
25	203.36	0.74
26	89.67	-0.55
27	83.90	0.06
28	190.23	-0.49
29	253.21	0.20
30	206.47	0.03
31	119.60	-0.09

Fuente: Propia

Tabla N° 3.17. M.I.2. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM2.5 (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Día	RMSE	r
9.00	94.21	0.77
10.00	78.99	0.94
11.00	73.14	0.54
12.00	49.32	0.16
13.00	48.90	0.84
14.00	49.10	-0.87
15.00	79.23	0.53
16.00	70.11	0.49
17.00	52.69	0.23
18.00	40.34	0.07
19.00	62.51	-0.48
20.00	49.24	-0.05
21.00	63.70	0.41
22.00	76.66	-0.31
23.00	39.14	0.00
24.00	73.53	-0.55
25.00	127.82	0.58
26.00	34.09	0.58
27.00	49.89	-0.26
28.00	69.78	-0.62
29.00	56.85	-0.26
30.00	84.48	0.00
31.00	36.31	-0.02

Fuente: Propia

Tabla N° 3.18 M.I.3. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas de Óxido de Nitrógeno (NO) (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Día	RMSE	r
9	125.96	-0.49
10	72.37	-0.24
11	42.59	-0.41
12	27.07	0.37
13	3.99	0.35
14	16.07	0.01
15	58.54	-0.17
16	62.97	-0.52
17	18.00	0.73
18	35.77	0.41
19	27.37	0.33
20	20.47	-0.42
21	23.47	0.46
22	21.81	0.21
23	41.26	-0.03
24	34.85	-0.03
25	12.56	-0.51
26	11.31	0.25
27	4.55	0.23
28	27.30	-0.34
29	46.94	-0.44
30	17.45	0.02
31	13.87	

Fuente: Propia

Tabla N° 3.19. M.I.4. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Día	RMSE	r
9	4.33	0.78
10	1.95	0.78
11	3.63	-0.33
12	8.24	0.22
13	4.81	0.05
14	0.08	0.25
15	11.62	0.32
16	12.93	0.65
17	0.38	0.43
18	10.29	-0.14
19	0.18	0.21
20	25.11	-0.32
21	2.83	-0.33
22	1.20	0.43
23	10.23	0.05
24	3.87	-0.27
25	37.27	0.00
26	15.87	-0.47
27	14.82	0.10
28	6.43	-0.41
29	2.87	0.52
30	27.84	0.34
31	47.75	

Fuente: Propia

Tabla N° 3.20. M.I.5. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas de Ozono (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Diciembre del 2015.

Día	RMSE	r
9	63.51	0.20
10	55.31	-0.11
11	47.85	-0.12
12	20.00	0.52
13	11.71	-0.21
14	26.08	0.81
15	41.54	0.46
16	21.68	0.47
17	19.42	0.36
18	13.68	0.27
19	25.91	0.18
20	27.01	-0.28
21	30.78	0.09
22	39.19	0.36
23	2.76	0.39
24	41.92	0.76
25	109.89	-0.61
26	7.21	-0.45
27	14.81	0.27
28	39.11	0.83
29	25.64	0.76
30	51.10	0.31
31	4.44	0.22

Fuente: Propia

Parámetros Estadísticos: Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM10, Partículas PM2.5 (Observados y simulados).

Mes Junio . Año 2015.

Estación San Juan de Lurigancho.

Tabla N° 3.21. N.I.1. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM10 (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

Día	RMSE	r
1	245.41	-0.14
2	202.93	0.00
3	147.77	0.34
4	173.56	-0.46
5	306.75	-0.55
6	351.44	-0.12
7	79.33	0.00
8	161.43	0.08
9	89.23	-0.43
10	170.84	0.26
11	136.04	-0.19
12	128.83	0.92
13	119.48	0.11
14	60.45	-0.73
15	95.59	0.12
16	118.16	0.58
17	124.85	0.21
18	131.86	-0.76
19	160.55	-0.45
20	153.20	-0.41
21	100.41	0.47
22	107.07	0.51
23	133.18	0.27
24	130.05	-0.18
25	114.75	0.07
26	96.00	-0.17
27	143.33	-0.21
28	98.01	-0.30
29	52.46	-0.19

Fuente: Propia

Tabla N° 3.22. N.I.2. Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) evaluados en el promedio horario de la concentración de Partículas PM2.5 (Simulado y Observado) en la estación de San Juan de Lurigancho en el mes de Junio del 2015.

Día	RMSE	r
1	79.00	-0.40
2	76.20	
3	53.89	0.46
4	70.94	-0.08
5	91.18	-0.41
6	131.29	0.10
7	54.66	0.12
8	74.57	0.62
9	73.74	-0.28
10	86.40	0.80
11	66.74	-0.23
12	70.02	0.67
13	74.17	0.70
14	63.81	-0.20
15	59.36	-0.33
16	65.49	-0.21
17	86.30	-0.61
18	76.93	-0.68
19	113.31	-0.59
20	123.17	-0.37
21	87.81	0.25
22	71.77	-0.28
23	72.15	-0.23
24	89.13	0.38
25	74.96	-0.38
26	54.17	-0.60
27	73.28	-0.35
28	86.66	-0.33
29	55.45	-0.79
30	55.60	0.66

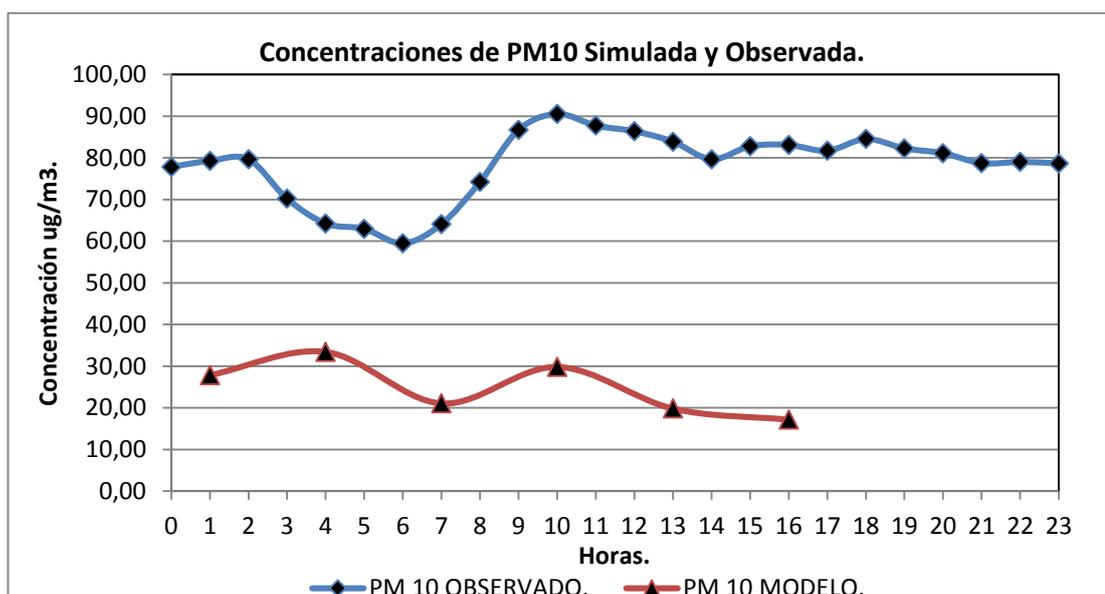
Fuente: Propia

CAPÍTULO IV.

4.1 ANÁLISIS, RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

MES: DICIEMBRE. AÑO 2015.

El rendimiento del mecanismo químico CB06 fue evaluado en este trabajo a través de métodos estadísticos en Escala Urbana, realizando una comparación con datos in situ en la región.



Fuente Propia.

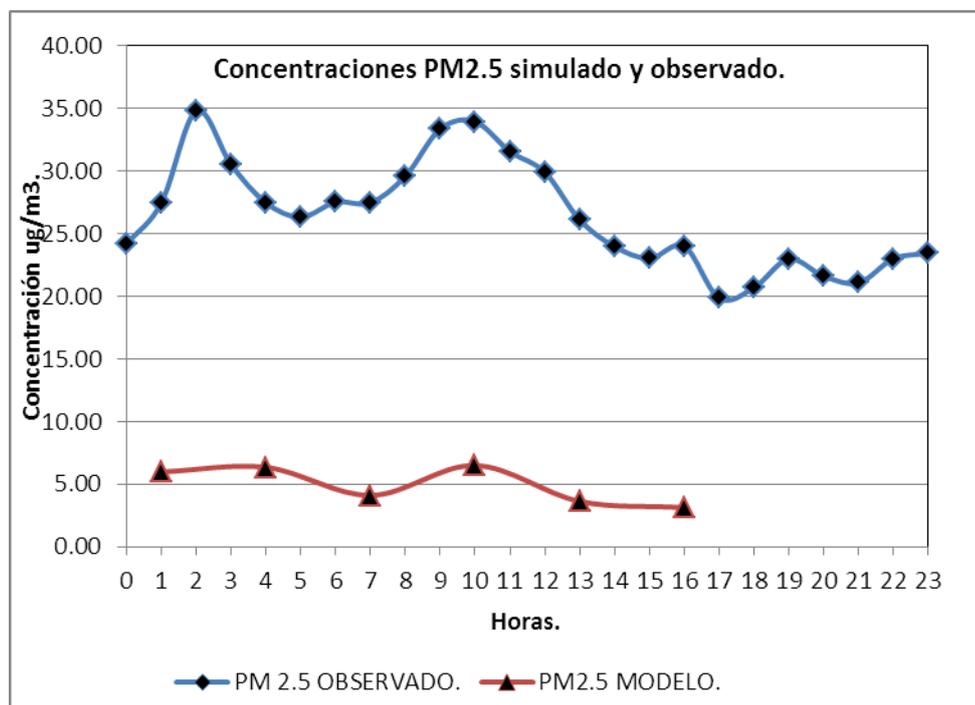
Figura N° 4.1 Concentraciones de PM₁₀ Simulado y Observado para el mes de Diciembre en la estación de San Juan de Lurigancho.

En la figura N°4.1 el modelo subestima al observado, acerca del modelo se puede mencionar que tiene tendencias observadas similares en las concentraciones.

El valor más alto de PM₁₀ simulado se presenta a las 4 horas con un valor de 33 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 12.39 a 21.02 (ug/m³).

El menor valor de PM₁₀ simulado se presentó a las 16 horas con el valor de 17ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía de 12.17 a 17.16 (ug/m³). (Ver anexo R.2.)

El valor más alto de PM₁₀ observado se presenta a las 10 horas con un valor de 90 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía desde 40.36 a 140.68 ug/m³. El menor valor de PM₁₀ observado se presentó a las 6 horas con el valor de 60 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía desde 27.38 ug/m³ a 91.52 ug/m³. Ver anexo R.1.



Fuente Propia.

Figura N° 4.2 Concentraciones de PM_{2.5} simulado y Observado para el mes de Diciembre.

En la figura N° 4.2 el modelo subestima al observado, se puede indicar que el modelo no presenta un comportamiento similar al observado.

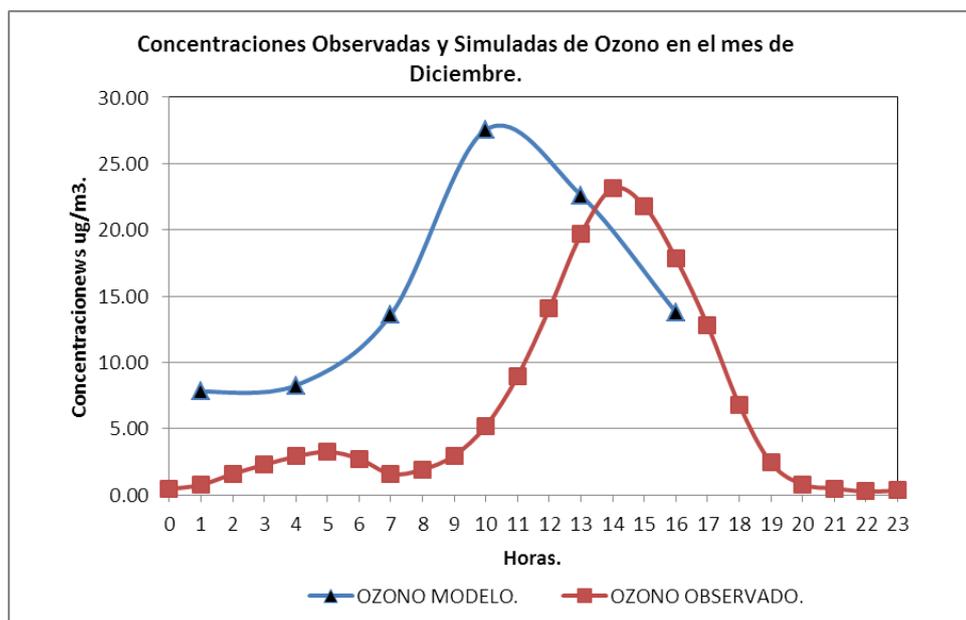
El valor más alto de PM_{2.5} simulado se presenta a las 10 horas con un valor de 6.5 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 2.3 a 10.2 (ug/m³).

El menor valor de PM_{2.5} simulado se presentó a las 16 horas con el valor de 3 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía de 2.2 a 2.8 (ug/m³).

Ver anexo R.6

El valor más alto de PM_{2.5} observado se presenta a las 2 horas con un valor de 35 ug/m³.

El menor valor de PM_{2.5} observado se presentó a las 17 horas con el valor de 19.85 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía desde 12.75 ug/m³ a 26.96 ug/m³. Ver anexo R.5.



Fuente Propia.

Figura N° 4.3 Concentraciones Simulado y Observado de Ozono para el mes de Diciembre en la estación de San Juan de Lurigancho.

En la figura N° 4.3 el modelo subestima al observado, existe un punto en común a las 13:30 horas, donde la concentración para ambos es de 23 ug/ m³ aproximadamente.

En la figura N° 3.3 el valor más alto de Ozono observado se presenta a las 14:30 horas con un valor de 24 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 16 a 28 (ug/m³).

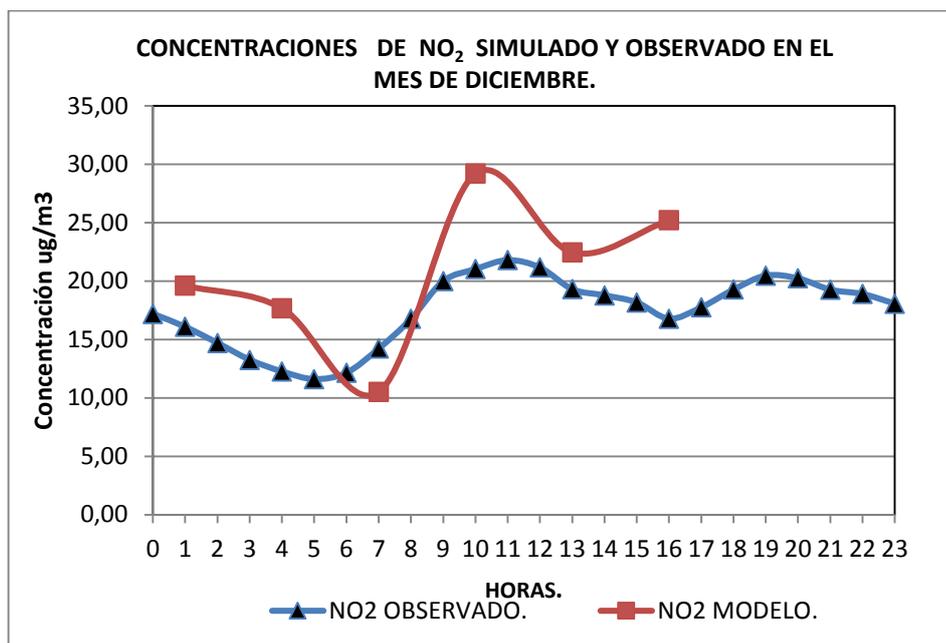
El menor valor de Ozono observado se presentó a las 1 horas con el valor de 0.77 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía de 0.06 a 1.77 (ug/m³). Ver anexo R.7.

En la figura N° 4.3 el valor más alto de Ozono simulado se presenta a las 10 horas con un valor de 27 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 19.95 a 35.18 (ug/m³).

Ver tabla N° 3. M.I.3

El menor valor de Ozono simulado se presentó a la 1 horas con el valor de 8ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía de 3 a 12.60 (ug/m³).

Ver Tabla N° 3.M.I.3



Fuente Propia.

Figura N° 4.4 Concentraciones Simulado y Observado de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) para el mes de Diciembre en la estación de San Juan de Lurigancho.

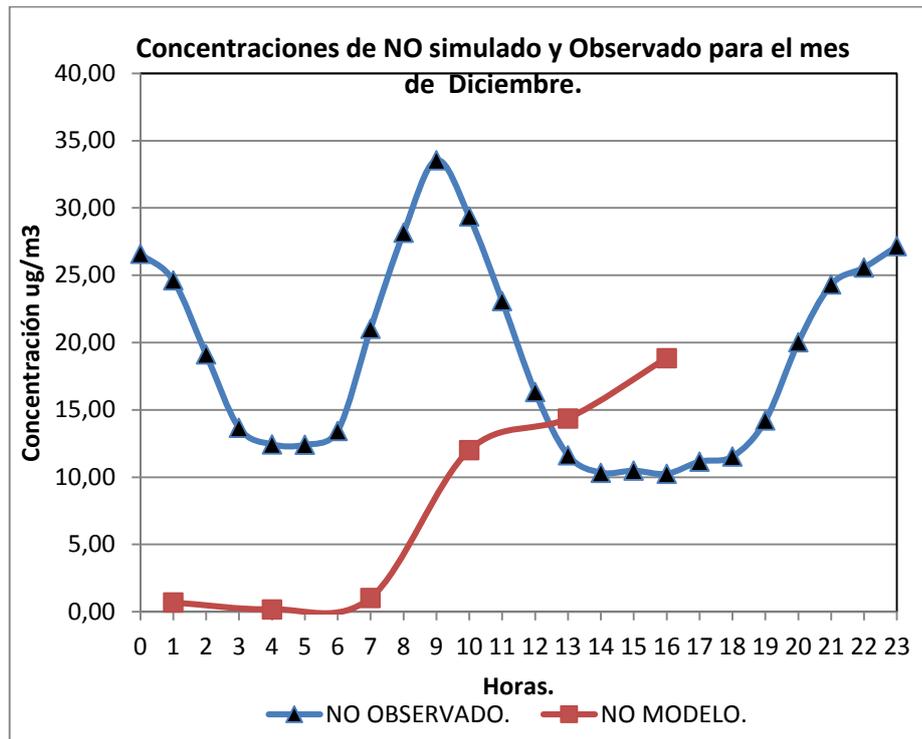
El modelo sobreestima al observado, se puede indicar que el modelo sigue tendencia al observado, se observaron dos cortes en común a las 6 horas con una concentración observada de 12 ug/m³, y a las 8 horas con una concentración de 17 ug/m³.

El valor más alto de NO₂ simulado se presenta a las 10 horas con un valor de 30 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 17.36 a 41.05 (ug/m³).

El menor valor de NO₂ simulado se presentó a las 7 horas con el valor de 10ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cuál varía de 6.36 a 14.8 (ug/m³). Ver anexo R.9.

En la figura N° 4.4 el valor más alto de NO₂ observado se presenta a las 11 horas con un valor de 21.7 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 14.52 a 29.07 (ug/m³).

El menor valor de NO₂ observado se presentó a las 5 horas con el valor de 11.6 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varia de 7.51 a 15.68 (ug/m³). Ver anexo R.10.



Fuente Propia.

Figura N° 4.5 Concentraciones de NO simulado y Observado para el mes de Diciembre.

En la figura N° 4.5 El modelo Subestima al observado, se observó un punto en común en las figuras a las 12:30 horas, el modelo no sigue una tendencia al observado.

El valor más alto de NO simulado se presenta a las 16 horas con un valor de 19.6 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 14.17 a 23.52 (ug/m³).

El menor valor de NO simulado se presentó a las 1 horas con el valor de 0.69ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 0.83 a 2.20 (ug/m³).

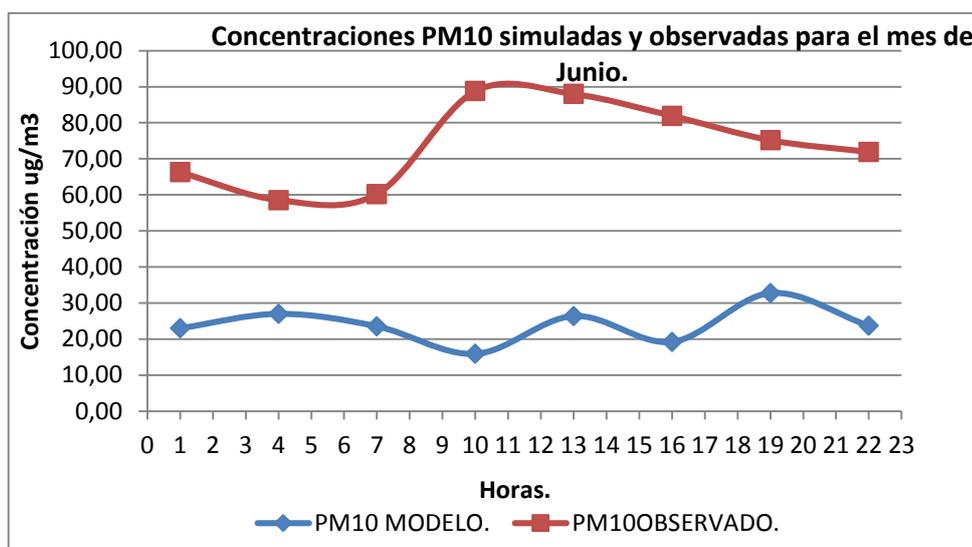
El valor más alto de NO observado se presenta a las 9 horas con un valor de 34ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 17.78 a 49.32 (ug/m³).

El menor valor de NO observado se presentó a las 16 horas con el valor de 10ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 6.33 a 14.18 (ug/m³).

ANÁLISIS, RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

MES: JUNIO. AÑO 2015.

El rendimiento del mecanismo químico CB06 fue evaluado en este trabajo a través de métodos estadísticos en Escala Urbana, realizando una comparación con datos in situ en la región.



Fuente Propia.

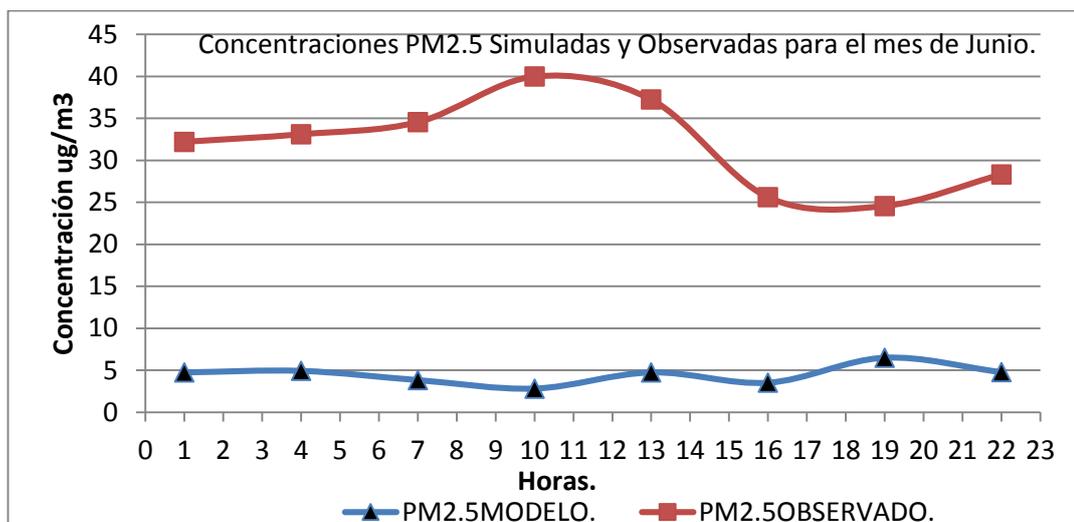
FIGURA N° 4.6 Concentraciones PM10 simuladas y observadas para el mes de Junio.

En la figura N° 4.6 el modelo subestima al observado, En la figura N° 3.6 el valor más alto de Partículas PM₁₀ observado se presenta a las 10 horas con un valor de 90ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 48.41 a 129.15 (ug/m³).

El menor valor de Partículas PM₁₀ observado se presentó a las 4 horas con el valor de 58 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 32.86 a 84.22 (ug/m³). Ver anexo R.12.

El valor más alto de PM₁₀ simulado se presenta a las 19 horas con un valor de 32 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 22.51 a 42.97 (ug/m³).

El menor valor de PM₁₀ simulado se presentó a las 10 horas con el valor de 15.8 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 4.83 a 26.93 (ug/m³). Ver anexo R.13.



Fuente Propia.

Figura N°4. 7 Concentraciones PM2.5 simuladas y observadas para el mes de Junio.

En la figura N° 4.7 el modelo subestima al observado.

El valor más alto de Partículas PM (2.5) simulado se presenta a las 19 horas con un valor de 6.51 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 4.89 a 8.13 (ug/m³).

El menor valor de Partículas PM (2.5) simulado se presentó a las 10 horas con el valor de 2.83 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 0.67 a 4.99 (ug/m³). Ver anexo R. 14.

El valor más alto de Partículas PM (2.5) observadas se presenta a las 10 horas con un valor de 40 ug/m³, presenta su amplia variabilidad que varía de 23.67 a 56.33 (ug/m³).

El menor valor de Partículas PM (2.5) observadas se presentó a las 19 horas con el valor de 24.57 ug/m³, el mismo presenta poca variabilidad la cual varía de 16.29 a 32.85 (ug/m³). Ver anexo R.15.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

En los anexos A y B se muestran las tablas estadísticas relacionados con el intervalo de confianza para las estaciones de Junio y Diciembre del año 2015 evaluadas mediante la siguiente expresión [22]:

Intervalo de confianza : 95%

$k = 1.96$

Media : \bar{X}

Desviación estándar : s

$n : 24$

Límite inferior : $\bar{X} - k \frac{s}{\sqrt{n}}$ Ecuación (9)

Límite superior : $\bar{X} + k \frac{s}{\sqrt{n}}$ Ecuación (10)

CONCLUSIONES:

Históricamente modelos numéricos y meteorológicos se han utilizado para la simulación del tiempo, el clima y el cambio climático. También se han utilizado modelos fotoquímicos para el estudio de la emisión a la atmósfera de contaminantes químicos, se ha empleado para analizar el transporte de contaminantes en escalas urbanas, regionales y mundiales.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación permiten concluir que el modelo captura las características básicas de las variaciones de los contaminantes en el mes de Diciembre del 2015 que durante el mes de Junio del mismo año, esto se debe a varias causas, primeramente durante el mes de Diciembre las variables meteorológicas: luz y temperatura son distintas al mes de Junio.

De acuerdo a la discusión de resultados del mes de Diciembre se concluye:

Para el material particulado PM_{10} el modelo subestima al observado, acerca del modelo se puede mencionar que tiene tendencias observadas similares en las concentraciones.

Sin embargo, para el material particulado $PM_{2.5}$ se observó que el modelo no presenta un comportamiento similar al observado, el modelo subestima al observado.

El Ozono: el modelo subestima al observado, presentándose un punto en común a las 13:30 horas donde la concentración para ambos es de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente.

Para el Dióxido de Nitrógeno se observa que el modelo sigue una tendencia al observado, se presentan dos cortes en común a las 6 horas.

El Óxido de Nitrógeno: el modelo subestima al observado se observó un punto en común en las figuras a las 12:30 horas, el modelo no sigue una tendencia al observado.

Los parámetros estadísticos para evaluar el rendimiento del mecanismo químico Carbon Bond (CB06) utilizados fueron el Coeficiente de Person y la raíz del error

cuadrático medio (RMSE) para los meses de junio y diciembre. Los resultados señalan que la dependencia entre el Modelo y el Observado para cada contaminante estudiado es negativa, debido a que el modelo subestima a los valores observados.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda utilizar el modelo CCATT-BRAMS en otras estaciones del año utilizando el mecanismo Carbon Bond 06 (CBO6) para evaluar su rendimiento.

Se recomienda utilizar el mecanismo químico RELACS con el modelo CCATT-BRAMS en diferentes estaciones de la Ciudad de Lima para conocer los problemas de calidad del aire.

REFERENCIAS UTILIZADAS.

1. Wark, W. (2013). Contaminación del aire. Origen y control. Editorial Limusa.
2. Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana (2012). Disponible en URL <http://www.senamhi.gob.pe/>.
3. Crassier V, Rassier P. Development of a reduced chemical scheme for use in mesoscale meteorological models. Atmospheric Environment (2000). 34: 2633-2644.
4. Nuñez A.,Pereyra M(2011). Modelado matemático de contaminación atmosférica por gases industriales. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad de San Juan de Puerto Rico.
5. Freitas S (2009). Numerical Modeling of air mass trajectories from the biomass burning áreas of the Amazoning basin. Atmospheric Environment . 44: 5072 e 5083.
6. Loiacono, S., Nagornov, O (2011).Modelado matemático de contaminación atmosférica por gases industriales. Atmospheric Environment . 388: 1205-2.
7. Freitas, M., Longo S.(2013). El modelo Química CATT-BRAMS (CCATT-BRAMS 4: Un sistema modelo atmosférico regional para la calidad del aire integrada y la predicción del tiempo y de la investigación. Earth and Planetary Science Letters. p 308–318.
8. Longo M, Freitas S (2010).The Chemistry CATT-BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air

- quality and weather forecasting and research. Atmospheric Environment. 39: 2443-2784.
9. SENAMHI (Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (2009): Tomada del informe técnico. Disponible en URL: [http: www.senamhi.gob.pe/](http://www.senamhi.gob.pe/).
 10. Pierre Michel, Klenner G (2010). An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. Atmospheric Environment . 44: 5072 -5083.
 11. Sánchez O, Laura D (2014). Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana. Servicio Nacional de Hidrología. Dirección de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente del SENAMHI .Perú –Lima.
 12. K. M. Longo and, S. R. Freitas (2013). The Chemistry CATT-BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. Geosci. Model Dev. 6: 1389–1405, 2.
 13. Estadísticas Ambientales (2015). Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Junio . Resumen Ejecutivo. N° 05.
 14. Dirección electrónica: <https://www.google.com.pe/web>.
 15. Sánchez O (2012). Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana. Dirección de proyectos de Desarrollo y medio Ambiente de Senamhi. Lima-Perú.
 16. Estadísticas Ambientales (2015). Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Diciembre. Resumen Ejecutivo. N° 05.

17. G. Krysztofiak a, V. Catoire (2012). Detailed modeling of the atmospheric degradation mechanism of very-short lived brominated species. Atmospheric Environment. 59: 514 e 532.
18. Gary. Hogo (2015). The Carbon – Bond Mechanism: A condensed Kinetic Mechanism for Photochemical Smog. Agosto.
19. Yarwood J. and Gary (2010). Updates to the Carbon Bond Mechanism for Version 6(CB6) .
20. G. Krysztofiak a, V. Catoire (2012). Detailed modeling of the atmospheric degradation mechanism of very-short lived brominated species. Atmospheric Environment 59. 514e532.
21. Sánchez M(2011). Estudos Numéricos de Química atmosférica para a Região do Caribe e América central com ênfase em Cuba. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação. Utilización de tesis Doctoral. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sao Paulo Brazil.
22. Mendehall B(2006). Introducción a la probabilidad y Estadística. Cengage Learning. México.
23. Manual del Equipo: Thermo Scientific TEOM 1405. Ambient Particulate Monitor.
24. Model 5014i (2012). Beta Instruction Manual. Continuous Ambient Particulate Monitor Part Number 106428-00.
25. Understanding Our Environment. Chemistry and Pollution. An introduction to environmental chemistry and pollution. Third Edition Edited by Roy M. Harrison The University of Birmingham, UK. R S © The Royal Society of Chemistry (1999). All rights reserved. p 465-87.

26. Digesa Dirección General de Salud Ambiental Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. (2005).

GLOSARIO.**AEROSOL.**

Suspensión de partículas sólidas, líquidas o de ambos tipos en la atmósfera.

AMBIENTE. Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo.

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE. Concentración de una sustancia química que no debe excederse bajo ninguna circunstancia en la exposición.

CONTAMINANTE. Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado.

CONTAMINANTE PRIMARIO. Contaminante emitido a la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo, CO, NOX, HC, SO2 y partículas.

CONTAMINANTE SECUNDARIO. Contaminante que se forma por reacción química en la atmósfera, por ejemplo, el ozono.

CONTINGENCIA. Estado de alerta ambiental. Estado en el cual se detectan concentraciones de contaminantes atmosféricos que se acercan a niveles en que pueden causar un daño a la salud o son un riesgo para la misma. Puede haber diferentes niveles de alerta, desde un aviso preliminar hasta el que requiere de acciones de emergencia.

DIÁMETRO AERODINÁMICO DE LAS PARTÍCULAS. Diámetro de una esfera de un g/cm^3 de densidad, con la misma velocidad terminal debido a la fuerza de la gravedad sin viento que la partícula.

DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES. Proceso por el cual un contaminante se traslada sitios remotos de su fuente.

EMISIÓN. Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente fija o móvil.

INVENTARIO DE EMISIONES. Conjunto de datos a partir de los cuales se puede establecer la distribución de las emisiones de un área determinada, con la ubicación de las fuentes más importantes y las cantidades que emiten.

MECANISMOS CARBON BOND. Los compuestos en los que los grupos orgánicos se agrupan de acuerdo con el tipo de enlace de carbono, independientemente de las moléculas que contienen ellos [18].

MUESTRA. Parte seleccionada que se separa de un conjunto y que se considera representativa del mismo conjunto al que pertenece.

MUESTREO. Recolección de una porción representativa para someterla a análisis y ensayos.

PARTÍCULA. Masa pequeña discreta de materia sólida o líquida.

REACCIÓN QUÍMICA: Una reacción química consiste en el cambio de una o más sustancias en otra(s). Los reactantes son las sustancias involucradas al inicio de la reacción y los productos son las sustancias que resultan de la transformación [27].

SISTEMA DE MODELADO ATMOSFÉRICO REGIONAL (CCATT-BRAMS VERSIÓN 4.5). Es un modelo de transporte químico regional diseñado para los estudios locales y regionales de la atmósfera, la química de la superficie de la estratosfera inferior, adecuado a la investigación. Incluye química acuosa, gases, fotoquímica, recolección de residuos secos y deposición [4].

UMBRAL. Duración mínima de una exposición o concentración mínima de un agente físico o químico que puede causar una respuesta en un organismo [26].

ANEXO A.

Mes: Diciembre. Año 2015.

San Juan de Lurigancho.

Partículas PM2.5 Simulado.

Nivel de confianza= 95%.

Coefficiente k= 1.96.

Tabla N°A.1 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM2.5 Simulado y nivel de Confianza.

Hora.	Min Obs	Max Obs	Med-(k*S/√n)	Med+(k*S/√n)
0	4.64	76.09	18.42	34.78
1	3.21	94.7	15.07	34.17
2	2.38	90.2	10.06	28.20
3	1.69	94.3	6.11	21.23
4	1.9	92.5	4.97	19.91
5	1.67	103.2	4.39	20.41
6	2.15	99.6	5.46	21.42
7	5.23	136.1	10.70	31.36
8	7.76	139.7	17.91	38.41
9	6.21	79.21	27.24	39.86
10	6.23	50.1	24.94	33.80
11	7.73	35.19	20.02	26.14
12	4.98	27.05	14.17	18.51
13	4.21	24.64	9.76	13.50
14	3.65	17.52	8.70	11.98
15	4.55	20.44	8.84	12.12
16	4.52	21.63	8.68	11.82
17	5.2	16.75	9.70	12.60
18	4.25	19.21	9.93	13.13
19	3.36	29.36	11.04	17.38
20	4.23	41.97	15.56	24.48
21	4.69	64.66	18.87	29.75
22	7.05	56.72	20.26	30.90
23	5.3	59.36	20.63	33.69

Fuente: Propia

Tabla N° A.2 Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM2.5 Observado y su nivel de Confianza.

HORA.	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)	Min	Max
0	22.71	60.25	8.79	54.8
1	24.22	128.26	2.25	121
2	27.55	278.86	4.75	266
3	23.85	253.46	2.45	242
4	23.43	154.13	4.93	146
5	24.09	72.98	6.03	66.4
6	25.10	75.58	8.1	68.7
7	24.73	78.45	4.4	71.2
8	26.60	98.13	5.82	90.3
9	29.70	138.93	7.54	130
10	30.96	111.94	9.74	103
11	29.46	72.72	12.57	65.5
12	28.17	62.22	12.52	55.6
13	24.27	69.31	9.2	63.2
14	22.21	58.71	10.19	53
15	21.48	53.57	6.95	48.3
16	22.44	55.24	6.92	49.8
17	18.69	39.26	4.47	34.9
18	19.21	47.58	3.56	42.7
19	21.24	55.05	5.19	49.6
20	20.12	55.12	4.22	50.1
21	19.70	48.39	5.56	43.6
22	21.72	43.14	8.99	38.1
23	21.98	57.87	9.91	52.6

Fuente: Propia.

Tabla N° A.3.

Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Modelo) y su nivel de confianza.

Hora.	Max	Min	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
01:00	16.4	0.39	5.45	10.15
04:00	18.25	0.62	6.01	10.53
07:00	19.07	5.93	12.13	15.11
10:00	46.63	16.74	23.84	31.30
13:00	34.46	8.29	19.80	25.42
16:00	17.13	3.88	12.50	15.08
19:00	23.91	23.75	23.80	23.84
22:00	18.46	0.24	3.71	8.71

Fuente: Propia.

Tabla N° A.4.

Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Ozono (Observado) y su nivel de confianza.

HORA.	Max	Min	Med- (k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
01:00	16.4	0.39	5.45	22.57
04:00	18.25	0.62	6.01	24.57
07:00	19.07	5.93	12.13	27.24
10:00	46.63	16.74	23.84	63.87
13:00	34.46	8.29	19.80	48.35
16:00	17.13	3.88	-0.69	25.17
19:00	23.91	23.75	23.80	35.61
22:00	18.46	0.24	3.71	24.00

Fuente: Propia.

Tabla N° A.5.

Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Modelo y su nivel de confianza.

HORA.	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)	Max	Min
01:00	-0.05	4.63	5.37	0
04:00	-0.16	3.03	3.37	0
07:00	0.66	2.09	2.46	0.01
10:00	8.44	26.61	30.17	0.79
13:00	10.44	45.77	49.7	9.02
16:00	16.55	26.97	29.26	11.32
19:00	0.03	0.02	0.03	0.03
22:00	1.11	8.03	10.79	0.05

Fuente: Propia.

Tabla N° A.6.

Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO) Observado y su nivel de confianza.

HORA.	Max.	Min.	Med- (k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
0	76.09	4.64	76.09	76.09
1	94.7	3.21	94.70	94.70
2	90.2	2.38	90.20	90.20
3	94.3	1.69	94.30	94.30
4	92.5	1.9	92.50	92.50
5	103.2	1.67	103.20	103.20
6	99.6	2.15	99.60	99.60
7	136.1	5.23	136.10	136.10
8	139.7	7.76	139.70	139.70
9	79.21	6.21	79.21	79.21
10	50.1	6.23	50.10	50.10
11	35.19	7.73	35.19	35.19
12	27.05	4.98	27.05	27.05
13	24.64	4.21	24.64	24.64
14	17.52	3.65	17.52	17.52
15	20.44	4.55	20.44	20.44
16	21.63	4.52	21.63	21.63
17	16.75	5.2	16.75	16.75
18	19.21	4.25	19.21	19.21
19	29.36	3.36	29.36	29.36
20	41.97	4.23	41.97	41.97
21	64.66	4.69	64.66	64.66
22	56.72	7.05	56.72	56.72
23	59.36	5.3	59.36	59.36

Fuente: Propia.

Tabla N° A.7.

Promedio horario del mes de diciembre del 2015 de la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) Observado y su nivel de confianza.

HORA.	Max	Min	Med+(k*S/vn)	Med-(k*S/vn)
0	24.33	11.84	1.96	-3.97
1	24.16	7.8	0.16	-3.95
2	24.64	5.97	0.33	-4.02
3	21.79	4.39	0.49	-3.56
4	19.61	3.35	0.65	-3.20
5	18.99	3.91	0.82	-3.10
6	19.97	6.56	0.98	-3.26
7	22.86	9.6	1.14	-3.73
8	49.02	10.47	1.31	-8.01
9	71.09	11.24	1.47	-11.61
10	57.26	10.52	1.63	-9.35
11	39.01	8.77	1.80	-6.37
12	31.26	8.14	1.96	-5.11
13	31.76	7.8	2.12	-5.19
14	30.83	7.31	2.29	-5.04
15	26.81	6.74	2.45	-4.38
16	25.69	6.37	2.61	-4.20
17	25.95	7.77	2.78	-4.24
18	28.98	9.48	2.94	-4.73
19	28.83	11.51	3.10	-4.71
20	27.02	13.63	3.27	-4.41
21	25.07	14.74	3.43	-4.09
22	24.85	14.61	3.59	-4.06
23	24.38	13.64	3.76	-3.98

Fuente: Propia.

Tabla N° A.8.

Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM10 Simulado y su nivel de Confianza.

HORA.	Max	Min	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
01:00	48.97	9.04	22.29	19.74
04:00	62.09	0	27.34	23.11
07:00	38.35	0	16.37	15.43
10:00	97.27	0	19.72	25.30
13:00	49.65	0	15.08	14.85
16:00	25.78	0	14.71	8.76
19:00	0	0	0.00	0.00
22:00	38.88	5.02	16.40	15.49

Fuente: Propia.

Tabla N° A.9.

Promedio horario del mes de Diciembre del 2015 de la concentración de Partículas PM10 Observado y su nivel de Confianza.

HORA.	Max	Min	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
0	122.9	22.36	73.39	60.67
1	187.4	22.85	73.67	60.73
2	345.9	9.4	70.15	57.15
3	306.5	16.42	61.85	50.39
4	202.3	16.47	58.36	47.87
5	125.6	11.82	57.99	47.71
6	116.8	12.64	54.21	44.50
7	149.4	16.28	57.99	47.53
8	255.6	23.32	66.32	54.20
9	310.4	26.42	76.78	62.62
10	244.9	39.12	82.33	67.54
11	175.1	44.29	82.36	68.03
12	147.1	52.39	82.15	68.05
13	128.9	56.64	80.11	66.41
14	132	41.35	76.27	63.26
15	135.1	42.12	78.88	65.36
16	132	45.37	79.15	65.58
17	157.9	33.08	77.22	63.88
18	134.1	38.5	80.56	66.75
19	129.7	34.52	78.05	64.61
20	123.6	40.34	77.67	64.43
21	122.3	37.73	75.56	62.70
22	127.7	31.28	75.35	62.44
23	124.1	26.36	74.94	62.09

Fuente: Propia.

ANEXO B.**Mes: Junio. Año 2015.****San Juan de Lurigancho.****Tabla B.1.**

Promedio horario del mes de Junio del 2015 de la concentración de Partículas Óxido de Nitrógeno (NO) Simulado y nivel de Confianza.

Hora local	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
01:00	-0.15	2.04
04:00	-0.03	0.40
07:00	-0.03	0.35
10:00	2.99	5.29
13:00	14.71	21.64
16:00	16.95	19.64
19:00	31.90	40.60
22:00	5.86	22.77

Fuente: Propia.

Tabla B.2.

Promedio horario del mes de Junio del 2015 de la concentración de Partículas Dióxido de Nitrógeno (NO₂) Simulado y nivel de Confianza.

HORA Local	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
1	18.31	7.75
4	13.66	7.75
7	10.42	6.35
10	11.74	5.78
13	27.12	11.27

Fuente: Propia.

Tabla B.3.

Promedio horario del mes de Junio del 2015 de la concentración de Partículas PM2.5 Simulado y su nivel de Confianza.

HORA Local.	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
1	3.67	5.66
4	3.58	6.56
7	2.37	6.35
10	1.77	4.61
13	3.43	6.37
16	3.07	3.13
19	5.72	5.60
22	3.83	5.27

Fuente; Propia.

Tabla B.4.

Promedio horario del mes de Junio del 2015 de la concentración de Partículas Ozono Simulado y su nivel de Confianza.

HORA Local	Med-(k*S/vn)	Med+(k*S/vn)
1	5.96	3.03
4	8.31	3.57
7	10.11	4.06
10	23.61	15.36
13	16.25	7.73
16	10.12	0.62
19	0.00	-9.35
22	0.80	-11.92

Fuente: Propia.