

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Título de disertación:

Determinación de la concentración de contaminantes del aire a filo de calle en el
Centro Histórico de Quito y el Valle de los Chillos.

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Químicas
con mención en Química Analítica**

Nombre del estudiante: Carolina Cecibell Puertas De la cruz

Quito, 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica, de la Srta. Carolina Cecibell Puertas De la cruz ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

M.Ing. David Chuquer Solá

Director de la disertación

Quito 29, de abril del 2019.

A mis padres, quienes siempre me brindaron su apoyo en la culminación de esta tesis la cual no hubiese sido posible sin su amor, ayuda y dedicación ya que a pesar de las dificultades que se presentaron creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradezco a Dios, a mis padres y a mi familia por ser mi apoyo incondicional en todo momento.”

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por todo el conocimiento impartido en el ámbito personal, académico y profesional y al financiamiento de proyecto O13024 “Estudio de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito”

A mi director de tesis, Mtr. David Chuquer Solá por confiar en mí y guiarme a lo largo de este camino.

Mtr Ampudia y miembros de tribunal.

A la Escuela de Ciencias Químicas, por la disponibilidad de sus muestreadores e infraestructura.

A Leonardo y Carlos con su colaboración durante el monitoreo.

Al Municipio de Quito y a la Unidad de Seguridad y Gobernabilidad en la persona de la Doctora Astrid Aguirre y a todos quienes hicieron posible esta investigación.

A los profesores de la Carrera de Ciencias Químicas, con mención en Química Analítica, que me supieron transmitir sus valiosos conocimientos; a mis amigos y compañeros que estuvieron junto a mí a lo largo de este camino. En especial a Emy, Jess, Xavy, Ale, David y Magus por su apoyo incondicional durante este camino.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	17
1.2 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	18
1.2.1 MÉTODOS DISCONTINUOS.....	18
1.2.2 MÉTODOS CONTINUOS.....	19
1.2.2.1 MUESTREADOR AEROQUAL AQM60.....	20
1.2.2.1.1 PROCESO QUÍMICO DE LOS DETECTORES	21
1.2.2.1.1.1 DETECTOR DE OZONO, MONÓXIDO DE CARBONO, DIÓXIDO DE AZUFRE Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO.....	21
1.2.2.1.1.2 DETECTOR DE MONÓXIDO DE CARBONO.....	23
1.3 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	24
1.4 MONITOREO DEL AIRE A FILO DE CALLE.....	25
1.5 NORMATIVA DE CALIDAD DEL AIRE.....	26
1.5.1 NORMATIVA INTERNACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE	26
1.5.2 NORMATIVA NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE	27
1.6 CALIDAD DEL AIRE EN QUITO	28
1.7 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	29
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	29
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30

2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	31
2.1.1	MUESTREO.....	31
2.1.1.2	PUESTA EN MARCHA DEL MUESTREADOR EN CAMPO.....	33
2.1.1.3	AUTO ZERO Y ESTABILIZACIÓN DE DATOS.....	33
2.1.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
2.1.2.1	SERIES DE TIEMPO.....	35
2.1.2.2	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	35
2.1.2.3	CORRELACIÓN CRUZADA.....	36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1	SERIES DE TIEMPO.....	39
3.1.1	SERIES DE TIEMPO DEL OZONO.....	39
3.1.2	SERIES DE TIEMPO DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO.....	43
3.1.3	SERIES DE TIEMPO DEL DIÓXIDO DE AZUFRE.....	47
3.1.4	SERIES DE TIEMPO DEL MONÓXIDO DE CARBONO.....	50
3.2	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA).....	53
3.3	CORRELACIÓN CRUZADA.....	56
3.3.1	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 3.....	56
3.3.2	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 4.....	61
3.3.3	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 5.....	65
3.3.4	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 6.....	69

3.3.5	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 7.....	74
3.3.6	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 8.....	78
3.3.7	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 9.....	82
3.3.8	CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 10.	87
3.4	EVALUACION DE NORMATIVA OMS Y TULSMA DE CALIDAD AMBIENTAL.	91
4.	CONCLUSIONES.....	94
5.	RECOMENDACIONES.....	95
6.	BIBLIOGRAFÍA	96
7.	ANEXOS	100

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Componentes principales de un detector un Semiconductor Sensible a Gas (GSS) (AEROQUAL, 2018).</i>	22
<i>Figura 2 . Esquema del principio de funcionamiento del filtro de correlación de gas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México.)</i>	24
<i>Figura 3. Puntos de muestreo a lo largo de la ciudad de Quito (Google Earth., 2018).</i>	31
Figura 4. Serie de tiempo de ozono en el centro de la ciudad.	40
Figura 5. Serie de tiempo de ozono en la zona norte de la ciudad.	41
Figura 6. Serie de tiempo de ozono en la zona sur de la ciudad.	41
Figura 7. Serie de tiempo de ozono en la zona de los valles aledaños.	42
Figura 8. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona centro de la ciudad.....	44
Figura 9. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona norte de la ciudad.....	45
Figura 10. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona sur de la ciudad.....	46
Figura 11. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona de valles aledaños.	47
Figura 12. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona centro.	48
Figura 13. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona norte.	49
Figura 14. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona sur.....	49
Figura 15. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona de los valles aledaños.	50
Figura 16. Serie de tiempo del monóxido de carbono en la zona centro.....	51
Figura 17. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona norte.	51
Figura 18. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona sur.	52
Figura 19. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona valle aledaños.	52
Figura 20. Circulo de correlación tipo en el Distrito Metropolitano de Quito.	54
Figura 21. Correlograma del ozono en el punto 3.....	57

Figura 22. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 3.....	57
Figura 23. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 3.....	58
Figura 24. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 3.....	58
Figura 25. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 3.....	59
Figura 26. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 3.	60
Figura 27. Correlograma del ozono en el punto 4.....	61
Figura 28. Correlograma del monóxido carbono en el punto 4.	61
Figura 29. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 4.....	62
Figura 30. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 4.....	63
Figura 31. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 4.....	64
Figura 32. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 4.	64
Figura 33. Correlograma del ozono en el punto 5.....	65
Figura 34. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 5.....	66
Figura 35. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 5.....	66
Figura 36. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 5.....	67
Figura 37. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 5.	68
Figura 38. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 5.....	68
Figura 39. Correlograma del ozono en el punto 6.....	69
Figura 40. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 6.....	70
Figura 41. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 6.....	71
Figura 42. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 6.....	71
Figura 43. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 6.....	72
Figura 44. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 6.....	73
Figura 45. Correlograma del ozono en el punto 7.....	74
Figura 46. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 7.....	74
Figura 47. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 7.....	75
Figura 48. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 7.....	76

Figura 49. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 7.....	77
Figura 50. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 7.	77
Figura 51. Correlograma del ozono en el punto 8.....	78
Figura 52. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 8.....	79
Figura 53. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 8.....	79
Figura 54. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 8.....	80
Figura 55. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 8.....	81
Figura 56. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 8.....	82
Figura 57. Correlograma del ozono en el punto 9.....	82
Figura 58. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 9.....	83
Figura 59. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 9.....	84
Figura 60. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 9.....	84
Figura 61. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 9.....	85
Figura 62. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 9.	86
Figura 63. Correlograma del ozono en el punto 10.....	87
Figura 64. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 10.	88
Figura 65. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 10.....	89
Figura 66. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 10.	89
Figura 67. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 10.....	90
Figura 68. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 10.	90
Figura 69. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 1.....	104
Figura 70. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 1.....	104
Figura 71. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 2.....	104
Figura 72. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 2.....	104
Figura 73. Contribución de componentes principales en el punto 3.....	105
Figura 74. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 3.....	105

Figura 75. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto	<i>Figura</i>
76. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 4.	105
Figura 77. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 106
Figura 78. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 5.	106
Figura 79. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 6.	106
Figura 80. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 6.	106
Figura 81. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 7.	107
Figura 82. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 7.	107
Figura 83. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 8.	107
Figura 84. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 8.	107
Figura 85. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 9.	11
Figura 86 Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 9.	11
Figura 87. Contribución de componentes principales a la variabilidad en el punto 10.	11
Figura 88. Circulo de correlación del análisis de componentes principales e el punto 10.	11

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Técnicas analíticas más empleadas en métodos discontinuos (Fernández, 2007).</i>	19
<i>Tabla 2. Técnicas analíticas más empleadas en métodos continuos (Fernández, 2007)</i>	20
<i>Tabla 3. Límites máximo permisibles y tiempo de monitoreo de contaminantes criterio OMS (OMS, 2005).</i>	27
<i>Tabla 4. Límites máximo permisibles y tiempo de monitoreo de contaminantes criterio (Ministerio de Ambiente, 2015).</i>	28
<i>Tabla 5. Puntos de muestreo continuo para determinar la calidad del aire de Quito.</i>	32
<i>Tabla 6. Cumplimiento de los datos de la investigación con la normativa nacional.</i>	91
<i>Tabla 7. Cumplimiento de los datos de la investigación con la OMS.</i>	92
<i>Tabla 8. Sensores presentes en el muestreador y algunas especificaciones técnicas de los mismos (AEROQUAL, 2018).</i>	101
<i>Tabla 9. Calibración en diferentes meses del muestreador.</i>	102

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Muestreador de monitoreo para la calidad del aire AQM60 (AEROQUAL, 2018).....</i>	<i>100</i>
<i>Anexo 2. Sensores presentes en el muestreador y algunas especificaciones técnicas de los mismos.</i>	<i>102</i>
<i>Anexo 3. Calibración del Monitor AQM60 en diferentes meses.</i>	<i>103</i>
<i>Anexo 4. Ejemplo de programación en R Studio para crosscorrelation.</i>	<i>103</i>
<i>Anexo 5 Gráficas del análisis de Componentes Principales.....</i>	<i>11</i>

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el monitoreo de la calidad del aire a lo largo de la ciudad de Quito a filo de calle en diez puntos establecidos para estos fines, los cuales se encuentran en: La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad del Municipio de Quito, Escuela Sucre, Unidad Metropolitana de salud Sur, Hogar de Paz, Teatro Capitol Administración Zonal Calderón, Vista para Todos, Unidad Educativa San Luis Gonzaga y Plaza Cumbayá. Para esto se instaló el muestreado AQM60 en cada uno de los puntos ya mencionados por 8 días y se determinó cada dos minutos la concentración del monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) con el fin de obtener perfiles horarios de los contaminantes a través del día y la semana durante los meses de abril y mayo del 2018. Para el tratamiento de resultados se realizaron series de tiempo, correlaciones cruzadas y análisis de componentes principales. En conclusión, en lo que respecta al cumplimiento de límites máximos permisibles todo se encuentra dentro de lo establecido por la normativa nacional excepto el SO₂ en el caso del punto de muestreo ubicado en la Escuela Sucre y en lo que compete a la normativa de la Organización Mundial de la Salud los puntos de muestreo ubicados en la Unidad Educativa “San Luis Gonzaga” y Cumbayá incumplen en el mismo contaminante; se determinó además que la alta radiación solar y el alto flujo vehicular son factores determinantes en la contaminación del aire de Quito, que la ciudad de Quito presenta un grado de contaminación similar al de México, Lima y Bogotá y que el correcto análisis estadístico fue clave para obtener resultados confiables así como para comprobar que datos reportados por la Secretaría de Ambiente el Distrito Metropolitano de Quito y este trabajo de investigación comparables.

Palabras Claves: contaminación, filo de calle, normativa.

ABSTRACT

In the present investigation, air quality monitoring was carried out along the city of Quito on the edge of the street at ten points established for these purposes, which are found at: The Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Secretary of Security and Governance of the Municipality of Quito, Sucre School, South Health Metropolitan Unit, Home of Peace, Capitol Theater Zonal Calderón Administration, Sigh for All, San Luis Gonzaga Educational Unit and Cumbayá Square. To this end, the AQM60 sample was installed in each of the aforementioned points for 8 days and the concentration of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), sulfur dioxide (SO₂), oxides of carbon dioxide was determined every two minutes. nitrogen (NO_x), ozone (O₃) in order to obtain hour profiles of the pollutants through the day and the week during the months of April and May of 2018. For the treatment of results, time series, cross-correlations and principal component analysis. In conclusion, as regards compliance with maximum permissible limits, everything is within the provisions of the national regulations except for SO₂ in the case of the sampling point located in the Sucre School and in what corresponds to the regulations of the Organization World Health Sampling Points located in the Educational Unit "San Luis Gonzaga" and Cumbayá fail in the same pollutant; It was also determined that the high solar radiation and the high vehicular flow are determining factors in the air pollution of Quito, that the city of Quito presents a pollution degree similar to that of Mexico, Lima and Bogota and that the correct statistical analysis was key to obtain reliable results as well as to verify that data reported by the Secretary of the Metropolitan District of Quito and this comparable research work.

Keywords: pollution, street edge, regulations.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La Contaminación del aire se define como la presencia de sustancias (contaminantes) en la atmósfera en concentraciones que pueden producir algún efecto negativo en los seres vivos o estructuras (Martínez & Díaz, 2004).

La concentración de los contaminantes en la atmósfera depende de varios factores además de la cantidad de fuentes de emisión como: la velocidad y dirección del viento, la geografía, densidad poblacional, el transporte y las reacciones químicas de los contaminantes en la capa atmosférica y procesos meteorológicos (Onursal & Gautam, 1997). Entre las fuentes que producen mayor contaminación del aire se encuentran: los vehículos, las chimeneas de las fábricas, centrales eléctricas e incendios forestales (Radojevic, M., & Bashkin, V., 2015)

Dentro de los contaminantes del aire se encuentran algunos cuyos efectos se estudian a profundidad como la agricultura, ganadería extensiva en la producción de gas metano y el equilibrio del ciclo del carbono. Por esta razón, se han establecido límites máximos para proteger a la población (Domènech, X., 2000) A este grupo de compuestos químicos se los denomina contaminantes criterio y está conformado por: el monóxido de carbono, ozono, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de azufre, material particulado menor a 2.5 y a 10 micras; y plomo (Masters, G., & Ela, W., 2008)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) nueve de cada diez personas respiran aire contaminado y cerca de siete millones de personas mueren cada año a causa de la exposición a la contaminación atmosférica alrededor. Por esta razón la contaminación ambiental representa en la actualidad uno de los más

grandes riesgos para la salud mundial (OMS, 2018). Para disminuir los niveles de contaminación en el aire es necesario realizar un control en la concentración de los contaminantes de forma periódica, establecer el cumplimiento de la normativa de la calidad del aire en el punto donde se realiza el control y conocer la calidad del aire que respiramos para establecer medidas a tomar que eviten problemas en nuestra salud. A todo este control de la calidad del aire se lo conoce como monitoreo del aire.

1.2 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

Para el muestreo de la calidad del aire existen métodos continuos y métodos discontinuos. Los métodos continuos se usan cuando se capta y analiza la concentración del contaminante en el punto de muestreo de forma continua y automática, mientras que los métodos discontinuos implican la captación de los contaminantes en el punto de muestreo, el transporte del contaminante al laboratorio para luego ser analizado en el mismo (Fernández, 2007).

Estos métodos son aplicables para determinar la concentración de un contaminante emitido desde un foco emisor (emisión de contaminación) o para medir la concentración existente de un contaminante a nivel de suelo es decir lo que respira el ser humano (aire ambiente).

1.2.1 MÉTODOS DISCONTINUOS.

En la tabla 1 se muestran las técnicas analíticas más utilizadas en el laboratorio para establecer calidad del aire la muestra.

Tabla 1. Técnicas analíticas más empleadas en métodos discontinuos
(Fernández, 2007).

Técnica	Contaminantes en estado gaseoso	Material Particulado
Gravimetría		X
Potenciometría	X	X
Espectrofotometría UV/vis	X	X
Espectrometría de AA		X
ICP		X
Cromatografía Iónica	X	X
Cromatografía de gases	X	X
Cromatografía de líquidos de alta resolución	X	X

1.2.2 MÉTODOS CONTINUOS

En la tabla 2 se encuentran las técnicas analíticas más utilizadas como métodos de muestreo continuo para identificar los contaminantes a medir.

Tabla 2. Métodos continuos de referencia según EPA (Fernández, 2007).

Contaminante	Técnica	Fundamento
Dióxido de azufre	Fluorescencia de UV	Se basa en la medida de emisión de las moléculas excitadas de dióxido de azufre cuando vuelven a su estado fundamental.
Dióxido de nitrógeno	Quimioluminiscencia	Se basa en la medida de la radiación emitida producto de la reacción del monóxido de nitrógeno con el ozono.
Monóxido de carbono	Absorción Infrarrojo	Se basa en la medida de la atenuación de la luz infrarroja que pasa a través de la muestra.
Ozono	Absorción UV	Se basa en la medida de la diferencia en la absorción ultravioleta entre una celda de muestra y el blanco

1.2.2.1 MUESTREADOR AEROQUAL AQM60

El muestreador AMQ 60, es una estación compacta de monitoreo para la calidad del aire en donde se mide la contaminación de ambiente. Este muestreador se puede configurar para medir contaminantes comunes del aire

incluyendo: ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre y parámetros meteorológicos incluyendo temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, los cuales son objeto de estudio de este trabajo de investigación. Este muestreador es un sistema cerrado conformado por diferentes partes: un módulo de control, un módulo de encendido, un sistema de manejo de temperatura, un módulo de tratamiento de gases, un grupo de sensores de gases, un sensor de humedad y un conjunto de cables y bombas interconectadas. La imagen descriptiva del muestreador se encuentra en el Anexo 1.

Los sensores que conforman el muestreador, son del tipo semiconductor sensitivo de gas. Estos semiconductores son una combinación entre una reacción química de un determinado gas y una resistencia de un semiconductor. El proceso de detección se da por el cambio de resistividad del material con el cual ocurre la reacción (Ramírez, L. G. , 2014). En el Anexo 2 se muestra una tabla de resumen con los sensores presentes en el muestreador y algunas de sus especificaciones técnicas.

1.2.2.1.1 PROCESO QUÍMICO DE LOS DETECTORES

El monitor de calidad de aire AQM60 tiene diversos detectores con los que se obtiene la concentración de cada uno de los contaminantes criterio. A continuación, se describirá el funcionamiento de cada uno de ellos.

1.2.2.1.1.1 DETECTOR DE OZONO, MONÓXIDO DE CARBONO, DIÓXIDO DE AZUFRE Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO.

La detección de CO, O₃, NO_x y SO₂ se realiza mediante el uso de semiconductores sensibles a Gas (GSS). Es decir, contienen elementos llamados semiconductores los cuales se comportan como conductor o aislante según diferentes factores como: campo eléctrico, presión o temperatura ambiente (Selva, X., 1999).

Los GSS son sensores fabricados con semiconductores que aprovechan la propiedad de adsorción del gas en la superficie de un óxido. En estructura este detector consiste en capas de sensores de óxido de un metal, con una porosidad bastante alta, dispuestos en chips de alúmina o sílice. Como se puede observar en la Figura 1 los sensores se estructuran de la siguiente manera: superficie del óxido, resistencia eléctrica, en una de las caras se coloca un calentador de platino un micro calentador de platino y en la otra un electrodo de oro los cuales se encargan de medir la resistencia y sobre el electrodo se encuentra la capa de detección cubiertas por sensores de óxido de un metal (AEROQUAL, 2018). El mecanismo del detector es el siguiente: el gas se adsorbe en la superficie del óxido, se da una oxidación catalítica, se da un cambio en la resistencia eléctrica del material oxidado que se relaciona con la concentración del gas. En una de las caras se coloca un calentador de platino un micro calentador de platino el cual tiene como función la de calentar y mantener el sensor a la temperatura constante de entre 200 – 250 °C (Selva, X., 1999).

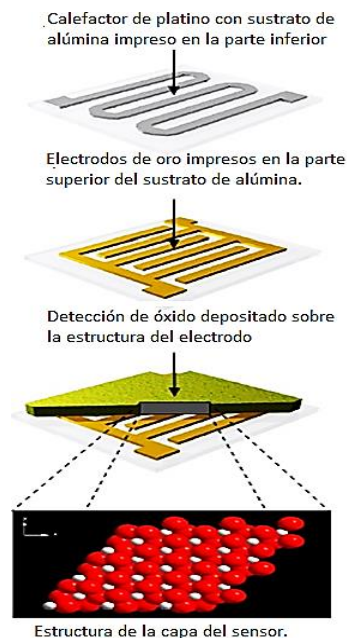


Figura 1. Componentes principales de un detector un Semiconductor Sensible a Gas (GSS) (AEROQUAL, 2018).

Para cada uno de los gases que se analizan algunos criterios de la estructura general de los detectores (AEROQUAL, 2018):

- Composición de la capa de detecciones del óxido de metal.
- El espesor, el área y la porosidad de la capa de detección.
- Velocidad de flujo y temperatura de funcionamiento del sensor.

Estos sensores funcionan básicamente determinando cambios de conductividad del óxido del metal correspondiente que ha sido sometido a calor (Bart, M. W., 2014). Y poseen algunas ventajas sobre los detectores antes utilizados. En primer lugar, existe mayor densidad de material lo que produce que las partículas ionizantes pierdan toda su energía en un recorrido muy corto y se pueda conseguir por tanto mayor eficiencia en el detector. En segundo lugar, se libera la misma cantidad de energía que un detector antiguo, pero alcanza un mayor número de cargas eléctricas, esto da lugar a una mayor precisión en la medida del analito. Finalmente, las dimensiones más pequeñas del detector ocasionan un tiempo para coleccionar cargas muy corto lo que hace más rápida de detección. Pero también presentan limitaciones como su falta de especificidad y el ser muy susceptibles a factores ambientales como variaciones de temperatura y humedad (Selva, X., 1999).

1.2.2.1.1.2 DETECTOR DE MONÓXIDO DE CARBONO.

El análisis de monóxido de carbono se realiza mediante fotometría infrarroja (IR). La fotometría IR se basa en la capacidad de un gas para absorber energía a determinadas longitudes de onda. En los equipos de medición convencionales se mide la cantidad de luz infrarroja absorbida por el gas en intervalos relativamente pequeños de longitudes de onda específicas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México.).

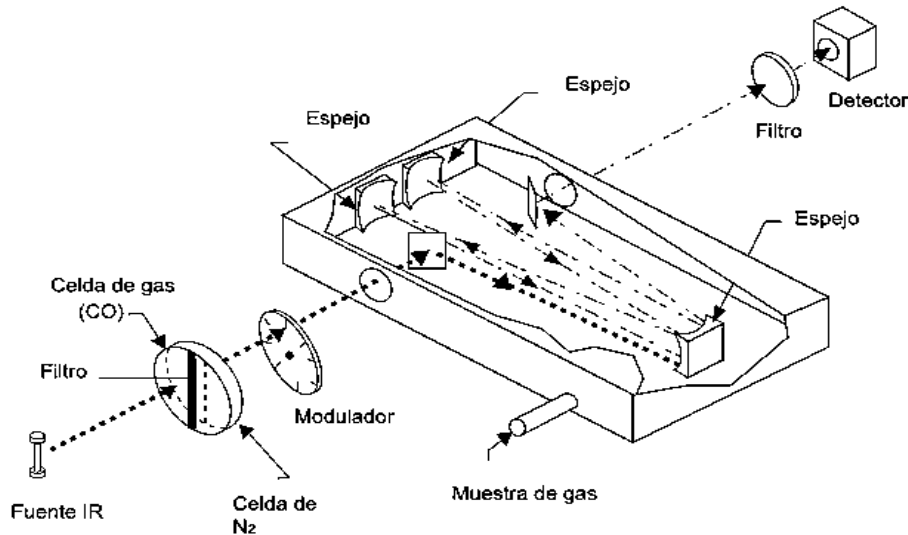


Figura 2 . Esquema del principio de funcionamiento del filtro de correlación de gas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México.).

Con base en lo expuesto en la Figura 2 el detector de monóxido de carbono funciona de la siguiente manera: un haz de luz infrarrojo pasa por un filtro rotatorio compuesto de dos celdas, una de ellas contiene monóxido de carbono en alta concentración y la otra celda llena de nitrógeno como blanco para crear así el haz de referencia, el detector mide la diferencia de energía entre la radiación absorbida por la celda de muestra y la señal modulada por la alternancia entre los filtros de gas. Por último, la señal del detector es procesada por microprocesadores para ser mostrada como concentración de monóxido de carbono (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México.).

1.3 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La ciudad de Quito, capital del Ecuador cuenta con una superficie de 4.183 Km², es la segunda capital más altas del mundo con una altitud de 2.850 metros sobre el nivel del mar y alrededor de 2.2 millones de habitantes (Prefectura de Pichincha, 2002). Quito, se desarrolló en el sentido de norte a sur y tiene más de 80 km de largo y 5 km de ancho además está en el lado occidental de la

Cordillera de los Andes, es decir se encuentra rodeada de varias elevaciones, en plena mitad del mundo. Se divide en tres sectores: zona norte, zona sur y valles aledaños.

Su clima es diverso y no es extraño que en el transcurso de las 24 horas de un día se combinen soles brillantes, lluvias fuertes y temperaturas bajas. A pesar de que se distinguen la temporada seca desde mayo hasta septiembre y la lluviosa de octubre a diciembre (Albuja, 2008).

La arquitectura de Quito le ha merecido ser declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) por su arquitectura única que data de los siglos XVI, XIX y XX donde la construcciones de edificios para vivienda, negocios o administrativos son a filo de calle y las iglesias, catedrales o basílicas se encuentran a una distancia considerable de la vía (Junta de Andalucía, 2004).

El parque vehicular el Quito registra un crecimiento de 35.000 vehículos por año y el 35% de la red vial principal en la ciudad está saturada por la imposibilidad de incrementarla en las zonas urbanas de la ciudad, sino solo en las zonas rurales o perimetrales (Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, 2015).

1.4 MONITOREO DEL AIRE A FILO DE CALLE

Las características geográficas, estructurales y de movilidad en la ciudad de Quito la hacen un lugar ideal para realizar un monitoreo a filo de calle. Al ser sus edificaciones muy cercanas a la calle, los habitantes de la ciudad desarrollan su vida en las mismas circunstancias. Es decir, los quiteños consumen alimentos, trabajan y viven al filo de la calle. Sin embargo, las estaciones de monitoreo de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra a una distancia considerable de la calle y al ser la concentración de los

contaminantes a largo plazo proporcional a la densidad de las carreteras, tráfico vehicular, la dirección del viento y la velocidad del viento (Clark, L. P., 2018). Además un estudio el realizado en Bogotá, Colombia donde se caracterizó la calidad del aire realizando un monitoreo a filo de calle concluyó que los niveles de contaminantes en zonas de alto tráfico vehicular son mucho más altos en este tipo de muestreo que los niveles reportados en el sitio de control (Franco, J. F., Rojas, N. Y., Sarmiento, O. L., & Behrentz, E., 2013). Por ello, se consideró importante realizar un muestreo a filo de calle en la ciudad de Quito.

El presente trabajo permitirá conocer el estado de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico vehicular a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito incluyendo el Valle de los Chillos con el fin de obtener perfiles horarios de los contaminantes a través del día y la semana durante los meses de abril y mayo del 2018, al medir la concentración de los siguientes parámetros criterio: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono (O₃).

1.5 NORMATIVA DE CALIDAD DEL AIRE

Independientemente de la forma de muestreo la concentración de los contaminantes en el aire se controla por normativas nacionales e internacionales. Estas normas de calidad del aire se colocan como forma de control al riesgo medioambiental y de salud que es la contaminación del aire.

1.5.1 NORMATIVA INTERNACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE

En el caso puntual del aire es indispensable revisar la información proporcionada por los diferentes organismos internacionales que se encargan de asegurar la calidad del aire. En este caso se consideró relevante la normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS) al ser el ente mundial que se preocupa por la salud de la población y por ende de la calidad del aire. En la Tabla 3 se muestran los límites máximos permisibles establecidos por la OMS para algunos

contaminantes atmosféricos.

Tabla 3. Límites máximo permisibles y tiempo de monitoreo de contaminantes criterio OMS (OMS, 2019).

Contaminante	Concentración límite (ppm)	Concentración límite (ug/m3)	Tiempo de monitoreo
Dióxido de Azufre (SO₂)	0.0075	20	24 horas
	0.1876	500	10 minutos
Ozono (O₃)	0.050	100	8 horas
Óxidos de nitrógeno expresados como NO₂	0.0209	40	Anual
	0.1045	200	1 hora

1.5.2 NORMATIVA NACIONAL DE CALIDAD DEL AIRE

La Normativa Ecuatoriana reconocida para calidad del aire es la contenida en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) en su cuarto anexo. En la que se establece en primer lugar las definiciones de los términos que utilizaran en la misma, para asegurar su comprensión. Luego, se establece la responsabilidad de la entidad ambiental de control, las normas generales para concentraciones de contaminantes que se encuentran comúnmente en el aire y los máximos permisibles (Ministerio de Ambiente, 2015). En la Tabla 4 se encuentran los límites máximos permisibles establecidos por la OMS para algunos contaminantes criterio.

Tabla 4. Límites máximo permisibles y tiempo de monitoreo de contaminantes criterio (Ministerio de Ambiente, 2015)

Contaminante	Concentración límite (ppm)	Concentración límite (ug/m3)	Tiempo de monitoreo	Valor a analizar
Dióxido de Azufre (SO₂)	0.023	60	1 año	Promedio de todas las muestras monitoreadas en 1 año
	0.047	125	24 horas	Concentración de todas las muestras monitoreadas en 24 horas
Monóxido de Carbono (CO)	34.33	40 000	1 hora	Concentración máxima de todas las muestras monitoreadas en 1 hora de monitoreo continuo
Ozono (O₃)	0.0240	100	8 horas	Concentración máxima de todas las muestras monitoreadas en 8 horas de monitoreo continuo
Óxidos de nitrógeno expresados como NO₂	0.0209	40	1 año	Promedio de todas las muestras monitoreadas en 1 año.
	0.1045	200	1 hora	Concentración máxima de todas las muestras monitoreadas en 1 hora de monitoreo continuo

1.6 CALIDAD DEL AIRE EN QUITO

Al ser la contaminación atmosférica un problema mundial, el monitoreo de la calidad del aire se convierte en una necesidad emergente y la ciudad de Quito en Ecuador no es la excepción. Para este efecto, la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (SMA) estableció una serie de estaciones de

monitoreo fijas a lo largo de la ciudad llamada Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) encargada de determinar la concentración de los seis componentes químicos que ocasionan la contaminación del aire (SMA, 2019).

La REMMAQ con el afán de establecer la calidad del aire de Quito realiza un muestreo continuo de los contaminantes más perjudiciales para la salud. En su último Informe de calidad del aire se arrojaron las siguientes observaciones (Díaz, 2017):

- El Ozono muestra el incumplimiento del límite máximo permitido por la Normativa Nacional en los sectores de Carapungo y el Centro Histórico siendo el valor promedio en estos lugares 120 ppm.
- El dióxido de nitrógeno se incumple el límite horario máximo permitido por la Normativa Nacional en sectores de alto tráfico vehicular (la Marín, sector la Basílica, calle la Necochea, el puente del Guambra, entre otros).
- El dióxido de azufre y monóxido de carbono se encuentra dentro de los límites permitidos por la Normativa Nacional.
- La presencia de la Termoeléctrica Guangopolo en el Valle de los Chillos, la cual emite grandes cantidades de dióxido de azufre diariamente, lo que afecta a todo el sector dando como resultados valores hasta veinte veces más altos que en otras estaciones.
- La principal fuente de contaminación del aire en Quito son los vehículos con diésel como combustible.

1.7 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer el estado de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico vehicular del Centro Histórico de Quito y el Valle de los Chillos mediante una estación de monitoreo continuo de calidad de aire.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Obtener perfiles horarios y diarios de las concentraciones de los contaminantes en zonas de alto tráfico vehicular en el Centro Histórico de la ciudad de Quito y Valles de los Chillos.

Comparar niveles de concentración de contaminantes medidos por las estaciones de monitoreo de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito con mediciones de contaminantes a filo de calle en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito.

Realizar el análisis de componentes principales para resumir la estructura de los datos descritos por algunas variables cualitativas, mientras se adquieren factores no correlacionados entre sí.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental del presente trabajo se divide en dos partes: el muestreo y el análisis estadístico.

2.1.1 MUESTREO

Los puntos de muestreo se establecieron en función del informe de calidad del aire del 2017 publicado por la SMA y se seleccionaron como los puntos de muestreo a los que presentaron irregularidades en dicho informe. (Díaz, 2017). En la Figura 3 se muestra la distribución de los puntos de muestreo a lo largo de la ciudad de Quito seleccionados para este trabajo de investigación.

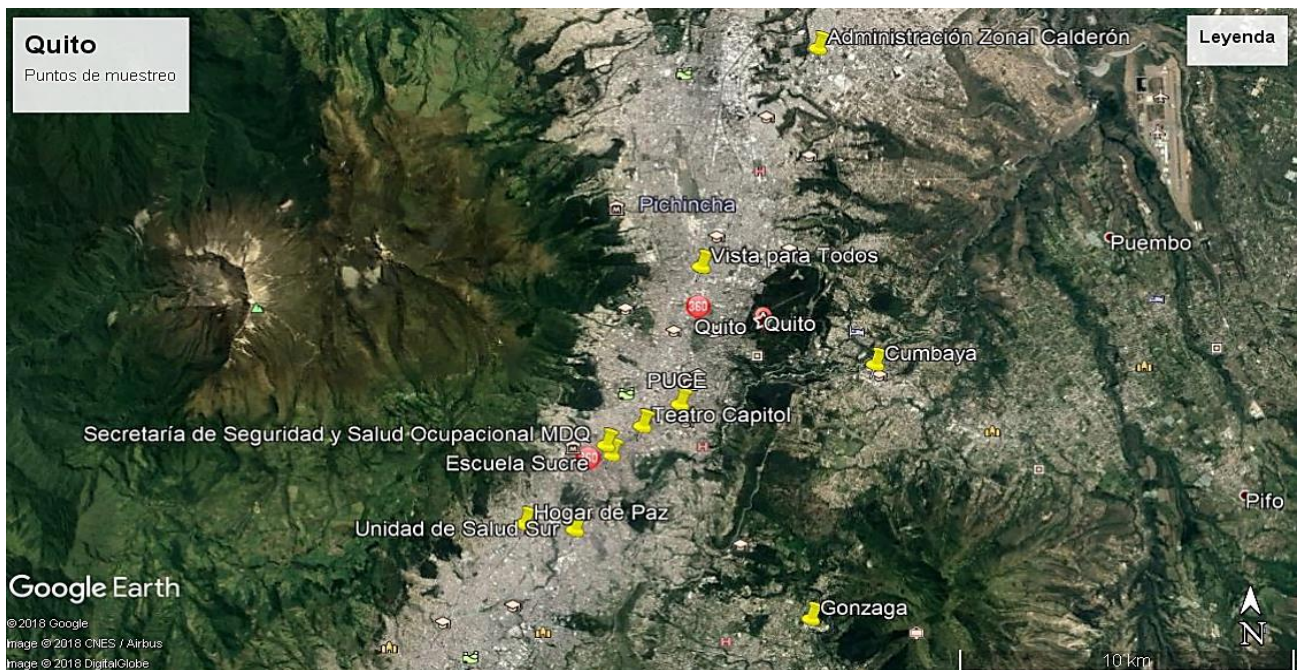


Figura 3. Puntos de muestreo a lo largo de la ciudad de Quito (Google Earth., 2018).

En la Tabla 5 se encuentran los puntos de muestreo continuo establecidos en este trabajo de investigación para determinar la calidad del aire de Quito.

Tabla 5. Puntos de muestreo continuo para determinar la calidad del aire de Quito.

Punto	Estación de monitoreo continuo	Puntos de medición	Ubicación	Latitud (Google Earth., 2018)	Longitud (Google Earth., 2018)	Fechas de muestreo
1	Centro Norte	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	12 de Octubre y Ladrón de Guevara	-0.210385	-78.493335	16 al 26 de Marzo del 2018
2	Centro Histórico	Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del	Espejo y Guayaquil	-0.221452	-78,510926	4 al 12 de Abril del 2018
3	Centro Histórico	Escuela Sucre	Juan Montúfar, Av José de Sucre N3-34, 593	-0.223907	-78510139	12 al 23 de Abril del 2018
4	Sur	Unidad Metropolitana de Salud Sur	Av. Pedro Vicente Maldonado y Alonso de Angulo	-0.245964	-78.519741	23 de Abril al 5 de Mayo del 2018
5	Sur	Hogar de Paz	Hermano Miguel y Mariscal Sucre	-0.215139	-78.517783	2 al 8 de Mayo del 2018
6	Centro Histórico	Teatro Capitol	Av. Gran Colombia 170136	-0.215464	-78.501641	21 al 28 de Mayo del 2018
7	Carapungo	Administración Calderón	Av. Padre Luis Vaccari y Geovanni Calles	-0,104717	-78.454324	28 de Mayo al 4 de Junio del 2018
8	Belisario	Vista para Todos	Av. América y Portoviejo	-0.205494	-78.502411	4 al 11 de Junio del 2018
9	Los Chillos	Unidad Educativa “San Luis Gonzaga”	Pedro Ávila y Sebastián de Benalcázar	-0.272333	-78.454300	11 al 18 de Junio del 2018
10	Norte	Plaza Cumbayá	Av. Interoceánica y Diego de Robles	-0.197309	-78.437399	18 al 25 de Junio del 2018

2.1.1.1 HORARIO DE MUESTREO

Para determinar la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito se efectuó un estudio a filo de calle. Para ello se instaló el muestreador en marzo y junio del 2018 durante 7 días en un tiempo 24 horas en cada uno de los puntos de muestreo, obteniendo datos del muestreador cada dos minutos.

2.1.1.2 PUESTA EN MARCHA DEL MUESTREADOR EN CAMPO

Así como también se consideró como primer punto la proximidad del muestreador con: muros, edificios, árboles, o locales cercanos ya que su presencia afecta las concentraciones de gas a nivel microespacial. Para esto se revisó lo descrito en la norma internacional CFR 40, en lo que respecta a flujo vehicular y construcciones cercanas al lugar de muestreo. Además, se tomó como segunda consideración fue un medio ambiente que minimizó la exposición del muestreador al polvo, condiciones climáticas extremas y cortes de energía (EPA, 2018).

Al ubicar el muestreador en el punto de muestreo fue necesario verificar todas las conexiones internas y externas, luego se verificó la conexión con el computador y se realizó el Auto Zero por un intervalo de 30 minutos. Las calibraciones del equipo se realizaron con la empresa Solucioning según lo detallado en el Anexo 4 lo que permitió continuar con el monitoreo.

2.1.1.3 AUTO ZERO Y ESTABILIZACIÓN DE DATOS

El Auto Zero es un proceso que realizó el equipo para identificar el cero de contaminación ambiental, esto se logró debido a que el equipo cuenta con un módulo llamado Gas Treatment Module, el cual contiene un depurador de aire cero que se puede programar para que se encienda de forma automática y

periódica. (AEROQUAL, 2018). El proceso de Auto Zero le permitió al equipo establecer el valor cero de contaminación en el aire, al dejar correr el depurador por 30 minutos. El proceso de Auto Zero se encendió desde el software del equipo en el apartado herramientas y se apagó de la misma forma.

El monitor de calidad del aire AEROQUAL AQM 60 requirió un tiempo de 1 hora para estabilizarse en el lugar en que se realizó el muestreo. Es decir, para el análisis estadístico se despreciaron los datos de la primera hora en la que el equipo recolectó los datos en el sitio de muestreo.

2.1.2 ANALISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron colectados por el muestreador cada dos minutos a lo largo del tiempo de muestreo en cada punto dando lugar a un aproximado de 52525 datos por punto. Datos que se almacenaron dentro de una memoria SD dispuesta dentro del equipo, para luego, ser descargados a la computadora. Una vez descargados los datos del equipo, se empleó Microsoft Excel como procesador de datos convencional, depurando y corrigiendo valores según las condiciones meteorológicas para su tabulación. Adicionalmente, se reunió a todos los parámetros en un mismo archivo y se añadió la identificación de cada punto de monitoreo. Por último, se evaluaron los promedios de los contaminantes criterio y se realizaron series de tiempo, correlogramas cruzados, círculos de correlación, y diagrama de barras del peso de cada componente principal de cada punto muestreado.

Es importante señalar que cuando no se dispone de alguna lectura de los contaminantes en la estación de monitoreo de cualquiera de los puntos estas se llenan con "NA (No Aplica). Esto se hace con el fin de no alterar los valores promedio de cada contaminante criterio.

2.1.2.1 SERIES DE TIEMPO

Se define a serie de tiempo como una secuencia cronológica de observaciones de una variable en particular (Lanza-Espino, G. , 1999). En esta ocasión 10 variables por un período de muestreo de 7 días.

Gracias a esta conformación las series de tiempo permiten realizar pronósticos en base a su estructura, lo cual permite obtener un estimado cuantitativo de la probabilidad de un evento futuro (Contreras Juárez, A., Atziry Zuñiga, C., Martínez Flores, J. L., & Sánchez Partida, D. , 2016) y conocer el comportamiento de los contaminantes dentro de un período de tiempo de 24 horas.

En este caso para realizar las series de tiempo se seleccionaron los valores máximos diarios de los contaminantes criterio, luego se realizó un promedio semanal y por último se graficaron las series de tiempo correspondientes.

2.1.2.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (PCA) busca expresar un conjunto de variables en un grupo de combinaciones lineales de factores no correlacionados entre sí. El PCA permite representar los datos obtenidos en un espacio más pequeño al real, mientras se evita en lo más mínimo el perder información (XLSTAT, 2017). El análisis de componentes principales es muy útil para analizar datos numéricos que se encuentren tabulados de la forma número de observaciones en función de número de variables y permite un análisis y una visualización rápida de las observaciones y de las correlaciones entre las variables existentes. Así como también construir un grupo de vectores correlacionados (XLSTAT, 2017) .

El análisis de componentes principales (PCA) se realizó con el

complemento XLSTAT para Microsoft Excel. Para realizar el análisis de componentes principales se seleccionaron las 10 variables contenidas en la hoja de Excel, se eligió como formato de datos la opción *Observaciones/Variables* debido a la naturaleza de los datos. Se ejecutaron las operaciones y se obtiene la matriz de correlaciones de Pearson, gráfico de barras del peso de las componentes principales y el círculo de correlación. El círculo de correlación es muy útil para interpretar el significado de los ejes (variables F1 Y F2), además es radio del círculo al ser igual a 1 abre varias posibilidades como: la proximidad de las variables, correlación positiva (radio próximo a 1), la inexistencia de correlación (radio próximo a 0) o una correlación negativa (radio próximo a -1) (XLSTAT, 2017).

2.1.2.3 CORRELACIÓN CRUZADA

Cuando se busca cuantificar la relación entre dos series de tiempo o entre dos variables usualmente se recurre a métodos como la correlación lineal de Pearson. Pero en muchas situaciones no hay rastro de la correlación entre los sucesos porque solo se aplican en sucesos que se dan al mismo tiempo. En estos casos se aplican métodos no paramétricos como el de Spearman (correlación cruzada) ya que nos proporciona facilidad al momento de calcular el coeficiente que se mantendrá invariante a las transformaciones que se hagan según los resultados que se obtengan (Guevara José, 2014) .

Una serie temporal se dice que es estacionaria cuando su media y su varianza no varían estadísticamente con el tiempo y la auto- covarianza dependa del desfase (retardo, retraso o *lag*) entre los datos y no del tiempo mismo. La estacionariedad asegura la independencia de los datos, postulado esencial de la estadística. Si las series son “no estacionarias” o “integradas”, pueden originar correlaciones cruzadas. Se plantea una excepción en el caso de series no

estacionarias que son “cointegradas”, es decir, cuando entre ellas exista una combinación lineal que sea estacionaria (Castaño, E., & Martínez, J., 2008).

Por otra parte, el correlograma es el gráfico en el cual se representa todas las correlaciones cruzadas para visualizar la influencia del desfase (retraso, retardo o *lag*) temporal en las asociaciones entre las dos variables. Esta relación se la puede ver gracias a los límites tanto inferior como superior establecidos al 95% de confianza.

El lag cero está en el centro del correlograma cruzado. Hacia la derecha, los *lags* o retardos positivos 1, 2, 3, 4, 5, 7,24 en horas, que indican que la variable independiente X_t , lidera el proceso. Y hacia la izquierda del lag 0, los coeficientes en retardos negativos, que indican que la variable dependiente, Y_t , lidera el proceso. Se considera que un coeficiente está en retardo positivo cuando los datos de la variable dependiente, Y_t , ocurren en una o más unidades temporales después que los datos de la variable independiente, X_t , Se considera que un coeficiente está en retardo negativo cuando los datos de la variable dependiente, Y_t , ocurren en una o más unidades temporales.

Para proceder a las correlaciones cruzadas se va a tomar en consideración la condición de estacionariedad, tomando como hipótesis nula que la serie es estacionaria, y análogamente, la hipótesis alternativa que la serie contiene una raíz unitaria. La observación de estas pruebas se las realiza sobre el valor $-P$ que es un estadístico que deberá ser menor que el 5% y mayor que el 5% respectivamente en cada una de las pruebas antes mencionadas.

Se hizo uso además de la siguiente escala para el coeficiente de Spearman:

- El coeficiente que se halle entre 0 y 0,25 se considera escaso o nulo con respecto a la relación entre las variables analizadas.
- El coeficiente que se halle entre 0,26 y 0,50 tendrá una débil relación

- El coeficiente que se halle entre 0,51 y 0,75 mostró una relación moderada y fuerte.
- El coeficiente que se halle entre 0,75 y 1 mostró una relación muy fuerte o perfecta.

De este modo, se analizó que tan frecuente es la relación o el efecto entre las variables del proceso de recolección de datos medidos en diferentes circunstancias por este trabajo de investigación (los cuales reciben el nombre de Promedio_ nombre del contaminante) y la Secretaría Metropolitana de Ambiente.

Para relacionar los datos obtenidos en este trabajo de investigación y la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito se realizaron correlaciones cruzadas entre los mismos contaminantes y entre diferentes contaminantes en el programador de datos (R Studio) y se procedió a programar como lo muestra en el ejemplo del Anexo 4.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar el efecto de los contaminantes en la calidad del aire de la ciudad, es importante saber cuál es el comportamiento de cada uno de ellos. Por eso, se presenta a continuación el estudio estadístico descriptivo en el cual se utilizó series de tiempo de cada contaminante, análisis de componentes principales y la correlación cruzada (*crosscorrelation*). Todo esto con la finalidad de poder estimar lo que va a suceder en un futuro cercano entre los contaminantes.

Para esta sección se mantiene la designación numérica de los puntos de muestreo descritos en la Tabla 5.

3.1 SERIES DE TIEMPO.

En las series de tiempo se muestra el cambio de la concentración de cada una de los contaminantes con el paso del tiempo (en horas). Las series de tiempo se realizaron por zonas de la ciudad (zona norte, zona centro, zona sur y zona valle).

3.1.1 SERIES DE TIEMPO DEL OZONO.

En la Figura 4 se muestran la serie de tiempo del ozono en la zona centro comprendida por los puntos de la Escuela Sucre (punto 3), Secretaría de Seguridad de Gobernabilidad del Municipio de Quito (Punto 2) y Teatro Capitol (punto 6). El ozono (O_3), muestra un comportamiento similar entre los puntos

comprendidos en la zona centro, siendo las horas de mayor concentración del contaminante de 10h00 a 15h00, lo que se justifica al ser estas las horas de mayor tráfico vehicular en la ciudad.

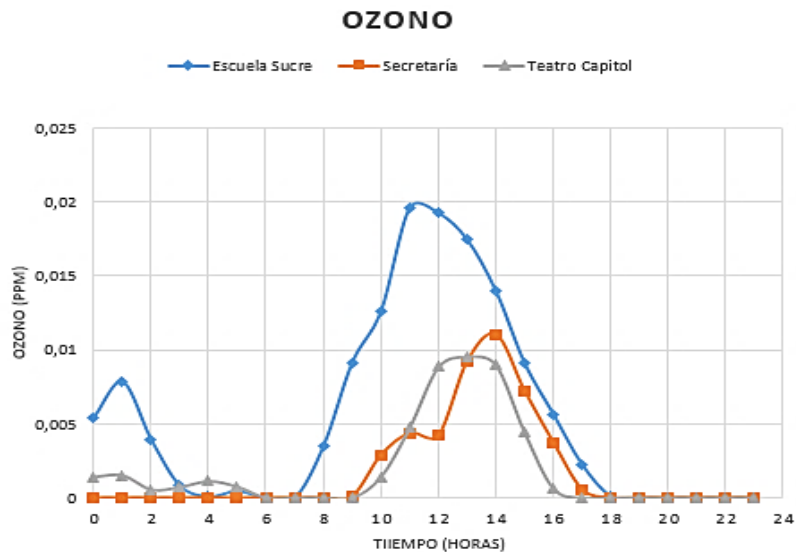


Figura 4. Serie de tiempo de ozono en el centro de la ciudad.

En la Figura 5 se pueden observar la serie de tiempo del ozono en la zona norte comprendida por los puntos en Calderón (punto 7), Vista para todos (punto 8) y la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (punto 1). El (O_3), muestra un comportamiento uniforme en los puntos de la zona norte el pico de mayor concentración es de 10h00 a 16h00. Lo que se justifica al ser estas las horas de mayor tráfico vehicular en la ciudad.

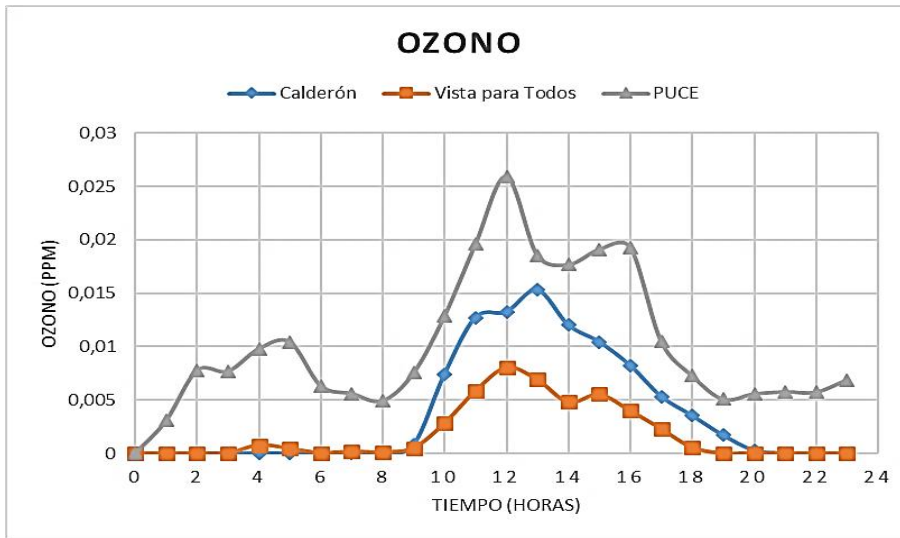


Figura 5. Serie de tiempo de ozono en la zona norte de la ciudad.

En la Figura 6 se distinguen las series de tiempo del ozono en la zona sur comprendida por los puntos en Hogar de Paz (punto 3) y la Unidad de Salud Sur (punto 4). El ozono (O_3), muestra un comportamiento parecido entre los puntos de la zona sur el pico de mayor concentración es de 10h00 a 18h00. Lo que se justifica al ser las horas de salida de los puestos de trabajo y almuerzo.

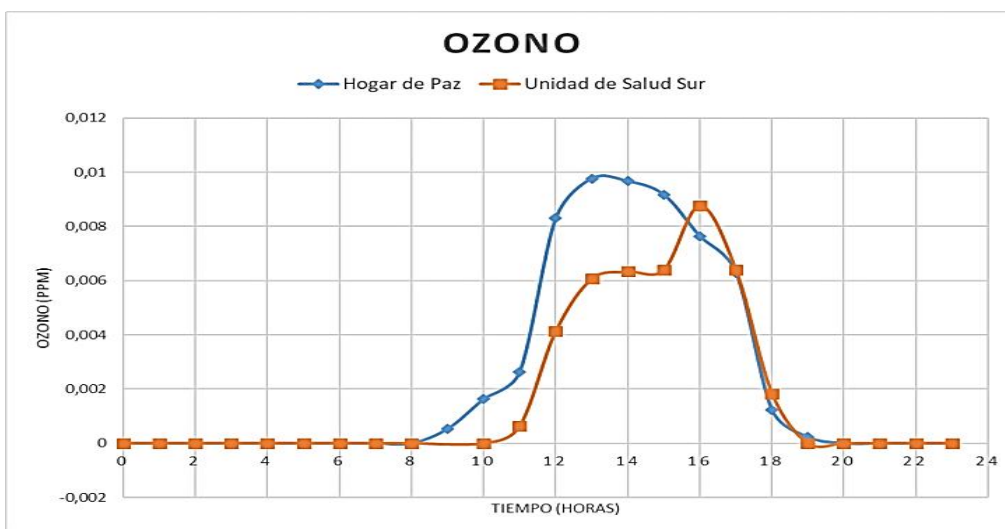


Figura 6. Serie de tiempo de ozono en la zona sur de la ciudad.

En la Figura 7 se comparan las series de tiempo del ozono en la zona de los valles comprendida por los puntos en Cumbayá (punto 10) y en la Unidad Educativa San Luis Gonzaga (punto 9). El ozono (O_3), muestra un comportamiento parecido entre los puntos de la zona de los valles el pico de mayor concentración es de 10h00 a 18h00. Lo que se justifica al ser las horas de salida de los puestos de trabajo y almuerzo.

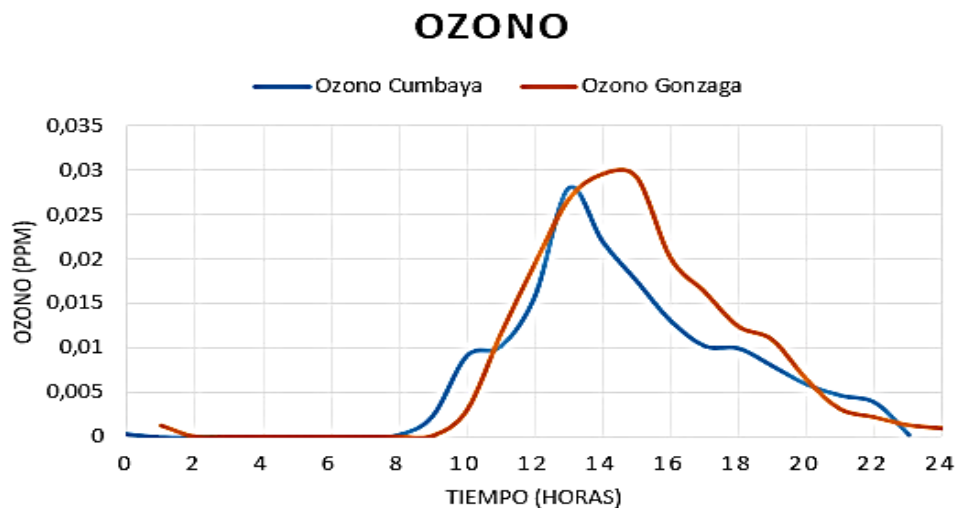


Figura 7. Serie de tiempo de ozono en la zona de los valles aledaños.

En general los picos horarios en el ozono se deben a la presencia de fuentes antropogénicas en forma de emisiones vehiculares en los puntos de muestreo. De acuerdo a los reportes de INRIX (compañía global especializada en automóviles conectados y análisis de transporte) en el 2017 se estimó que el 20% de tiempo que un quiteño lo utiliza en situaciones de congestión y movilización vehicular (INRIX, 2017). Además, los niveles altos de O_3 depende también de la concentración y proporción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) ya que estos al reaccionar con radiación ultravioleta dan lugar al ozono (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, s. f.-c).

Se puede observar en las series de tiempo que el ozono mantiene niveles similares en los diferentes lugares de muestreo y la concentración máxima del mismo es menor a 1,0 ppm lo que demuestra que las reacciones de eliminación del O_3 se dan a una velocidad similar a las reacciones de formación de este contaminante criterio. Además, en el Ecuador se da la velocidad máxima de producción del ozono en la hora de mayor radiación solar. Es decir, la radiación solar aumenta mientras la concentración de oxígeno molecular que se disocia con la luz y la altura disminuye (Domènech, X., 2000).

3.1.2 SERIES DE TIEMPO DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO.

En la Figura 8 se aprecian las series de tiempo del dióxido de nitrógeno en la zona centro de la ciudad de Quito. Los picos horarios del NO_2 en la zona centro de la ciudad del Quito es de 06:00 a 11:00 horas en la Escuela Sucre y la Secretaría de Seguridad de Gobernabilidad del Municipio de Quito siendo estas horas de ingreso o traslado de los quiteños a sus sitios de trabajo. Por otro lado, en el punto ubicado en el Teatro Capítol el pico horario es a las 16h00 horas siendo esta la hora de traslado de los quiteños a sus hogares.

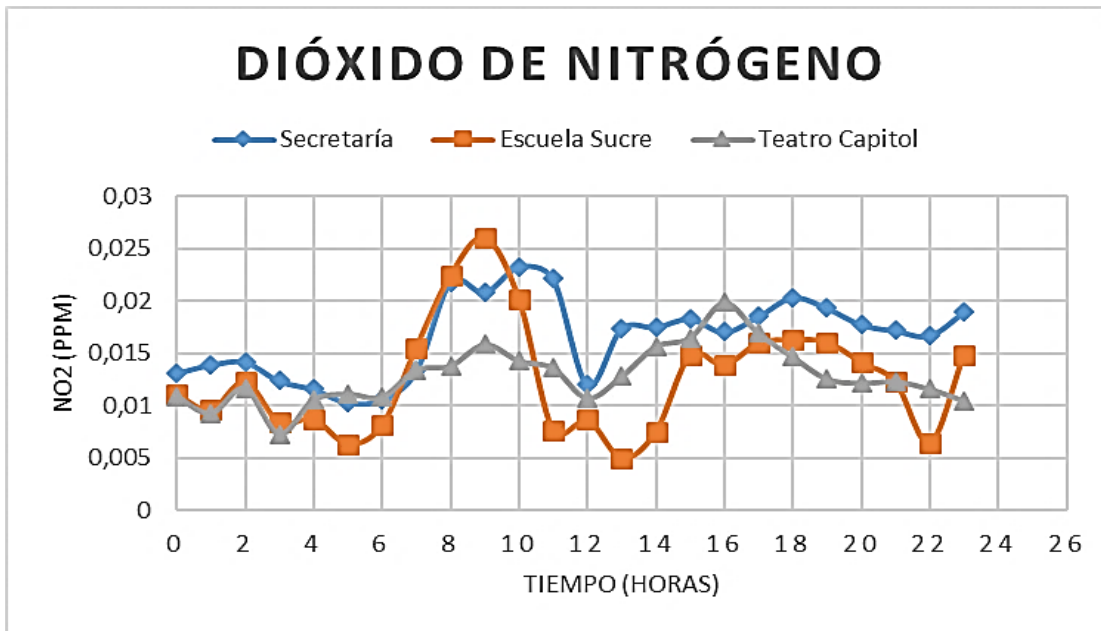


Figura 8. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona centro de la ciudad.

En la Figura 9 se aprecian las series de tiempo del dióxido de nitrógeno en la zona norte de la ciudad de Quito. Los picos horarios a las 10:00 horas en el caso de los puntos ubicados en el PUCE y en Calderón, mientras que en el punto ubicado en la Fundación Vista para Todo el pico es desde las 18:00 hasta las 20 horas.

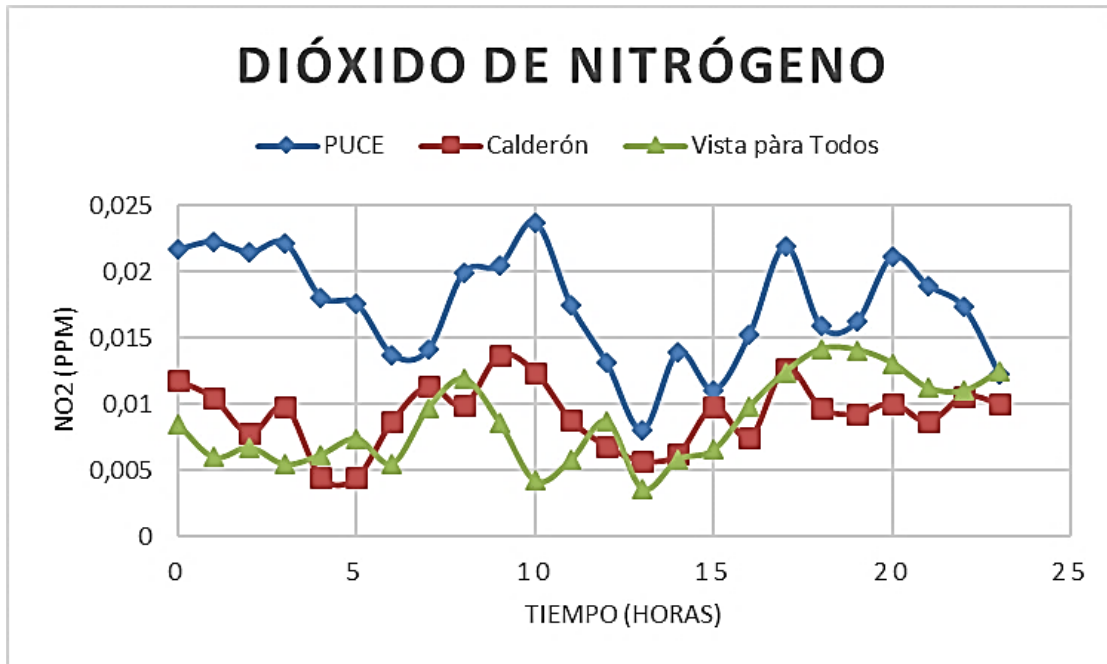


Figura 9. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona norte de la ciudad.

En la Figura 10 se aprecian las series de tiempo del dióxido de nitrógeno en la zona sur de la ciudad de Quito. Los picos horarios para el dióxido de nitrógeno en la zona norte de la ciudad de 06:00 a 09:00 horas en los puntos ubicados en el Hogar de Paz y la Unidad de Salud Sur. Adicional el Hogar de Paz muestra un pico de concentración de 13:00 horas a 17:00 horas hora en la que los quiteños se trasladan a sus hogares después de cumplir con sus labores cotidianas.

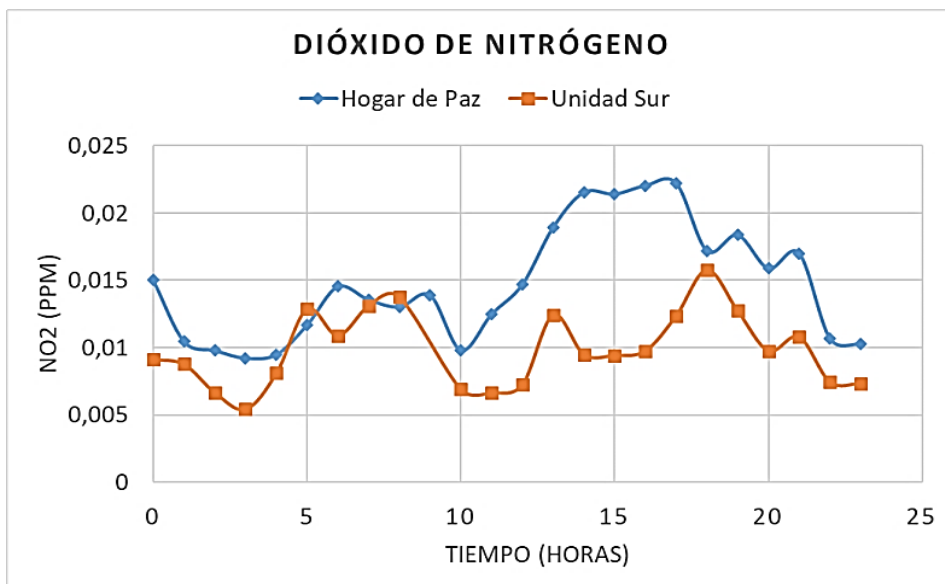


Figura 10. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona sur de la ciudad

En la Figura 11 se aprecian las series de tiempo del dióxido de nitrógeno en la zona valles de la ciudad de Quito. Los picos de concentración del dióxido de nitrógeno en el caso del punto de muestro ubicado en Cumbayá de 06:00 horas a 13 horas y en el punto ubicado en la Unidad Educativa San Luis Gonzaga de 09:00 horas a 18:00 horas

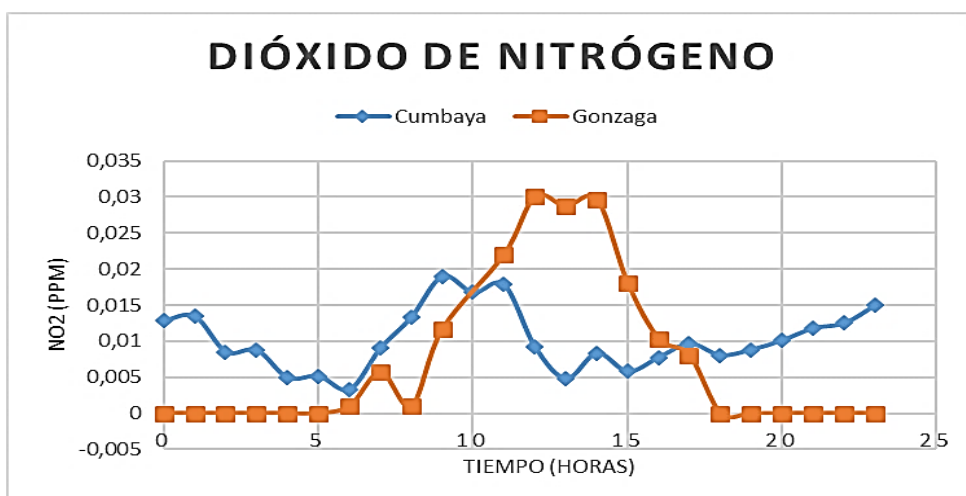


Figura 11. Serie de tiempo de dióxido de nitrógeno en la zona de valles aledaños.

La concentración de dióxido de nitrógeno en el aire proviene principalmente de las emisiones provocadas por automóviles principalmente, es decir que, la concentración de este contaminante será mayor en las horas de alto tráfico vehicular y se conoce además que en especial los automotores que funcionan con diésel contribuyen a este fin, lo que se muestra en los picos horarios que se observan en Calderón, al encontrarse en una zona de paso en la carretera que se dirige a diferentes provincias en el Ecuador. Principalmente los niveles altos de NO_2 se encuentran en zonas urbanas y metropolitanas, así como en calles con tráfico más denso (Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España, s.f.).

Tomando en cuenta que en la atmósfera el dióxido de nitrógeno por acción de la radiación UV genera monóxido de nitrógeno el cual elimina el 60% del ozono formado. Es decir, que si los niveles de Ozono bajan los de NO_2 subirán y viceversa (Domènech, X., 2000). Estos dos contaminantes mantienen una relación inversamente proporcional. Lo que se puede observar al comparar la serie de tiempo del ozono y el dióxido de Nitrógeno. En la Figura 4 (ozono) se observa el pico de máxima concentración del O_3 a las 12:00 horas mientras que en la Figura 8 (dióxido de nitrógeno) se observa un nivel bajo de NO_2 a la misma hora.

3.1.3 SERIES DE TIEMPO DEL DIÓXIDO DE AZUFRE.

En la Figura 12 se encuentran las series de tiempo del dióxido de azufre en la zona centro de la ciudad de Quito. El comportamiento del dióxido de azufre en la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del Municipio de Quito y la Escuela Sucre es similar siendo el pico de mayor concentración a las 12:00 horas. En el Teatro Capitol se observa el pico de mayor concentración a las 14:00 horas este cambio se debe al flujo vehicular del sector y la presencia de vehículos a diésel (Ecovía, Metro, Trolebus y buses) y gasolina lo que no ocurre en los demás puntos.

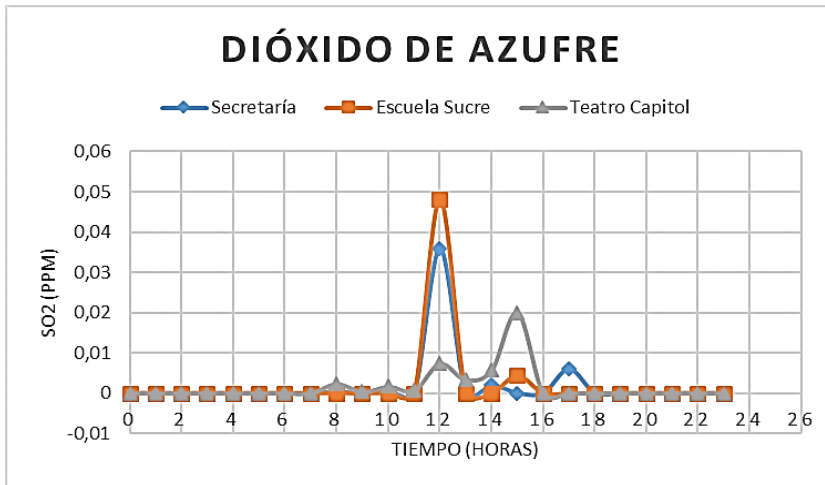


Figura 12. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona centro.

La Figura 13 consta de las series de tiempo del dióxido de azufre en la zona norte de la ciudad de Quito. En la zona norte de la ciudad se observa un comportamiento parecido entre las series de tiempo de los puntos de muestreo ubicados en la PUCE y Fundación Vista para Todos siendo el pico de mayor concentración de contaminante a las 12:00 horas. El punto de muestreo ubicado en Calderón presenta picos a las 06:00 horas y de 10:00 a 14:00 horas lo que se justifica al ser una zona de alto tránsito de buses de transporte público por constituir el paso de automotores a las provincias del norte del país.

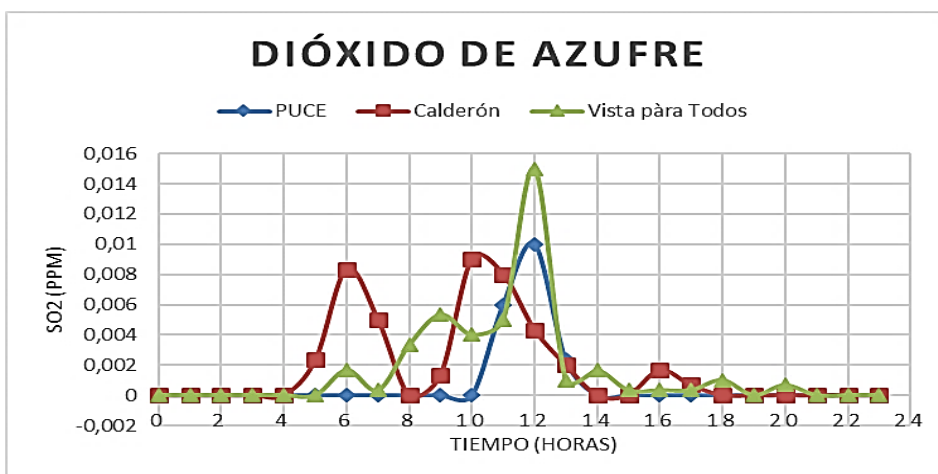


Figura 13. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona norte.

La Figura 14 muestra las series de tiempo del dióxido de azufre en la zona sur de la ciudad de Quito. En el punto ubicado en la Unidad de Salud Sur presenta el pico de mayor concentración para este contaminante a las 09:00 horas, mientras que en el punto ubicado en el Hogar de Paz el pico de concentración es a las 12 horas. Los picos de mayor concentración de este contaminante coinciden con las horas de mayor tráfico vehicular.

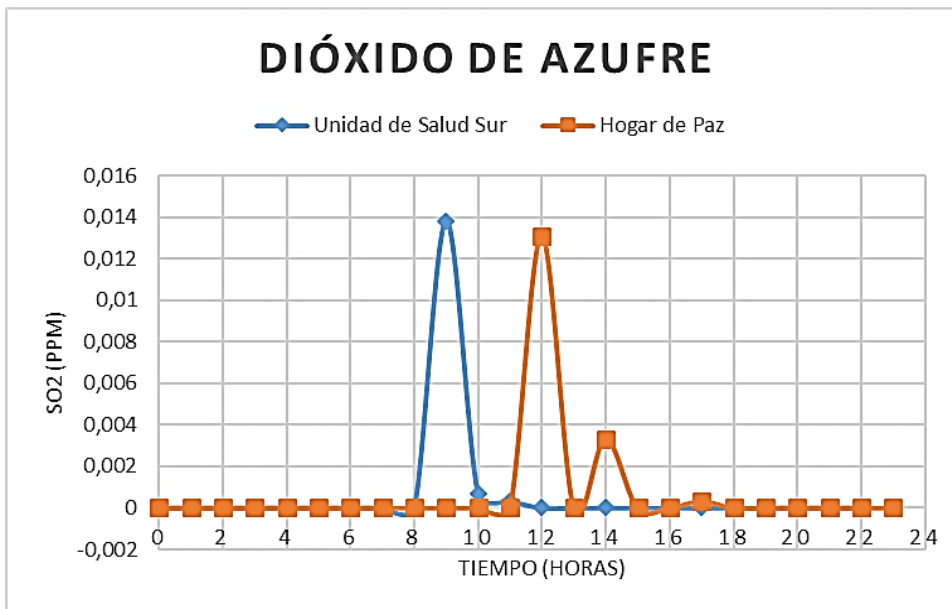


Figura 14. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona sur.

La Figura 15 consta de las series de tiempo del dióxido de azufre en la zona valles de la ciudad de Quito. El comportamiento del dióxido de azufre en la zona de valles aledaños de la ciudad siendo el pico de mayor concentración de contaminante de 12 a 13 horas para el punto en Cumbayá. En el punto ubicado en la Unidad Educativa San Luis Gonzaga se tiene un pico de 08:00 a 18:00 horas con los mayores niveles de SO_2 entre todos los puntos de muestreo lo que se adjudica a la presencia de la central eléctrica de Guangopolo

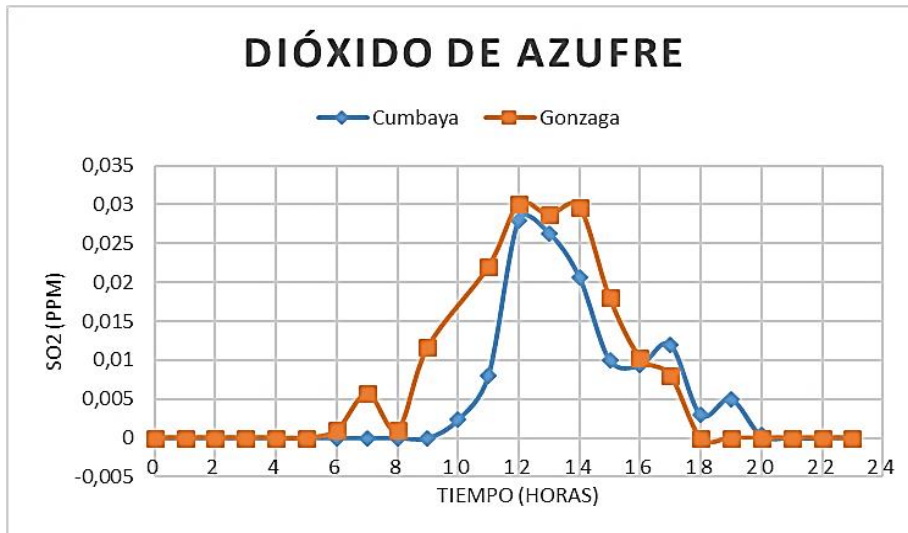


Figura 15. Serie de tiempo de dióxido de azufre en la zona de los valles aledaños.

En general la concentración de este contaminante se debe principalmente por la quema de combustibles en especial productos derivados del petróleo y el carbón. (Vargas, S.; Onatra, W.; Osorno, L.; Páez, E.; Sáenz, O., 2008). Al ser las horas mayor concentración del contaminante de alto flujo vehicular debido al movimiento de los ciudadanos a sus puestos de trabajo, salen de los mismos o se encuentran en horas de almuerzo.

3.1.4 SERIES DE TIEMPO DEL MONÓXIDO DE CARBONO.

La Figura 16 contiene las series de tiempo del monóxido de carbono en la zona centro de la ciudad de Quito. Se evidencia el pico de mayor concentración para este contaminante en los tres puntos que conforman la zona centro de 05:00 a 09:00 horas.

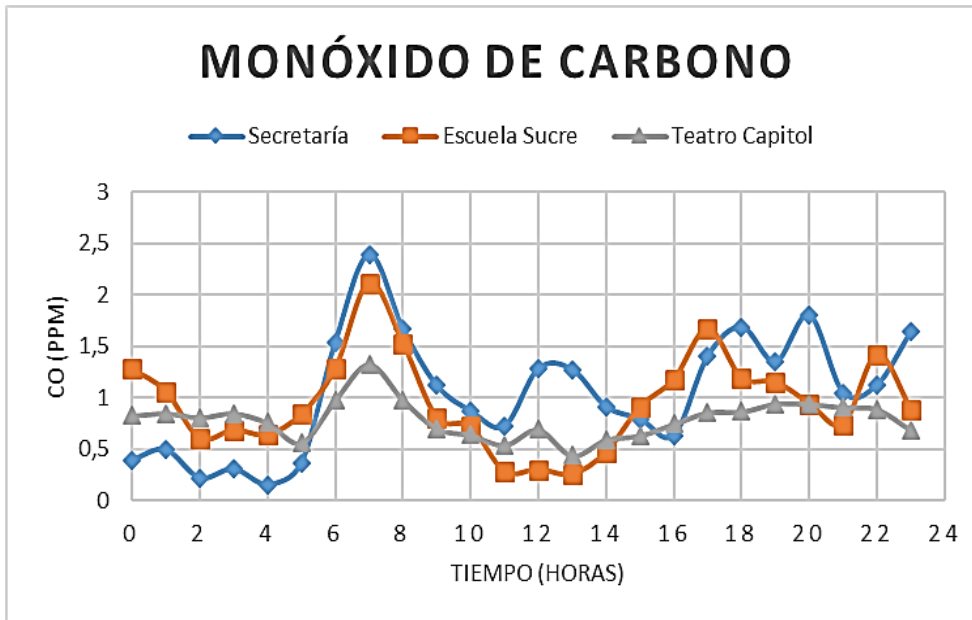


Figura 16. Serie de tiempo del monóxido de carbono en la zona centro.

La Figura 17 muestra las series de tiempo del monóxido de carbono en la zona norte de la ciudad de Quito y revela las 06:00 horas como pico de mayor concentración para este contaminante en los tres puntos. Sin embargo, en el punto ubicado sobre la Avenida América (Fundación Vista para Todos) se encuentra también un pico a las 20:00 horas.

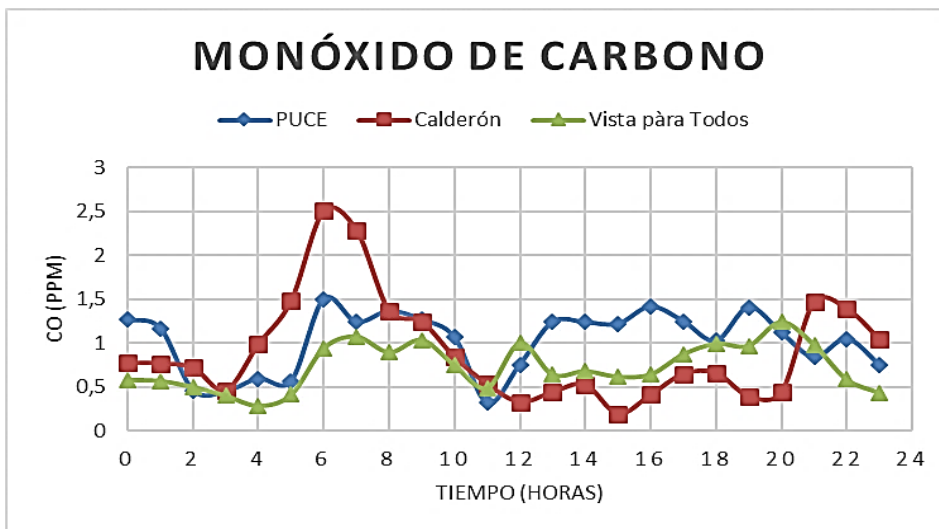


Figura 17. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona norte.

La Figura 18 expone las series de tiempo del monóxido de carbono en la

zona sur de la ciudad de Quito. Se observa un comportamiento parecido entre los puntos ubicados en la Unidad de Salud Sur y el Hogar de Paz, siendo el pico de mayor concentración del monóxido de carbono desde las 05:00 a 08:00 horas.

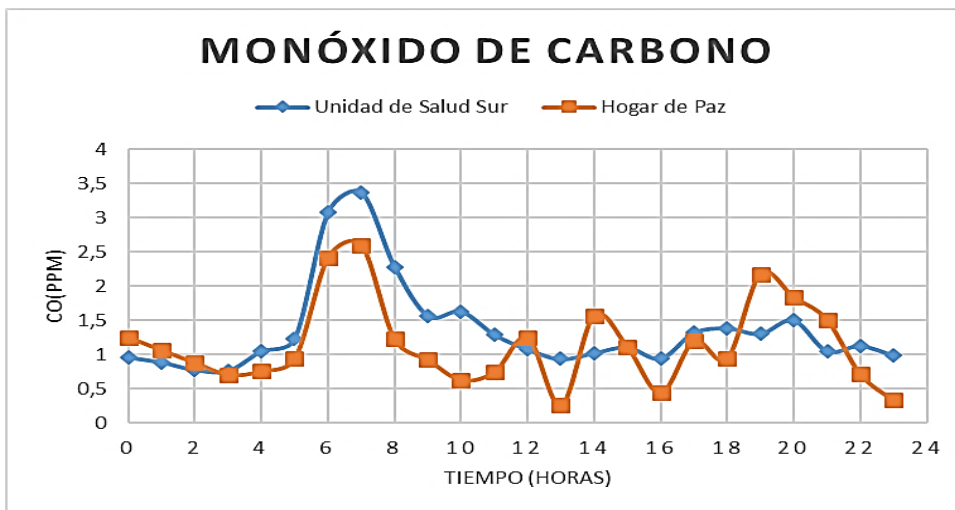


Figura 18. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona sur.

La Figura 19 presenta las series de tiempo del monóxido de carbono en la zona valles de la ciudad de Quito. Se aprecia un comportamiento semejante entre los puntos que conforman la zona valles de la ciudad de Quito, siendo el pico de mayor concentración desde las 05:00 a 09:00 horas.

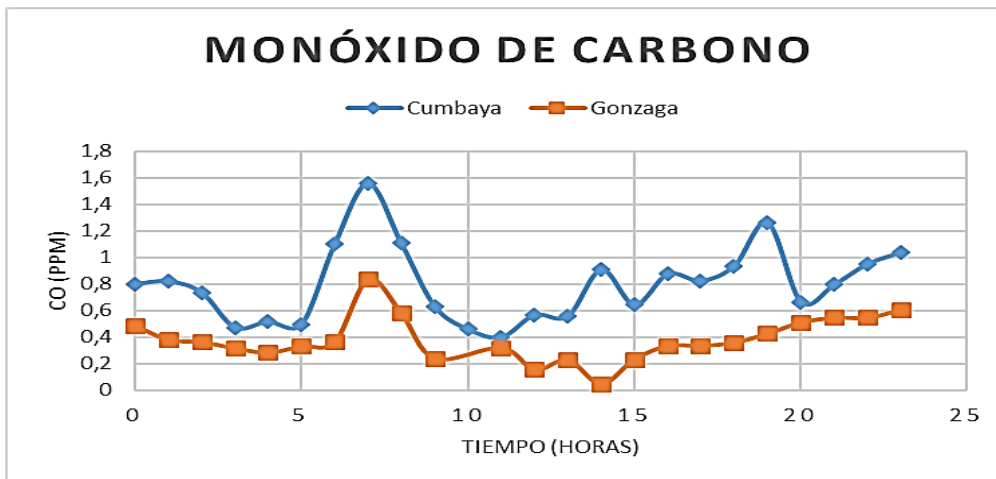


Figura 19. Serie de tiempo de monóxido de carbono en la zona valle aledaños.

La presencia del monóxido de carbono se debe principalmente a la quema de combustibles en especial productos derivados del petróleo y el carbón al ser este contaminante producto de la combustión incompleta del carbono contenido en los combustibles en los automóviles, lo que es visible en la cantidad de smog que se puede apreciar a simple vista en las zonas de muestreo, además de ser las horas antes mencionadas una vez más consideradas como hora pico en el sector ya los ciudadanos se trasladan hacia sus lugares de trabajo y hacia sus hogares al finalizar la jornada laboral. Según la bibliografía prácticamente todo el monóxido de carbono troposférico (95%) después de ser producido es oxidado a CO₂ (CORPAIRE, 2009). Esto justifica la aparición de picos de concentración (producción de CO) seguidos de inmediato de valles.

Es importante tomar en cuenta que en el análisis de las series de tiempo de los contaminantes otros factores como la alta radiación solar que al ser absorbida por la capa de contaminación en la ciudad provoca que el aire de la atmósfera urbana se caliente más rápido que las demás capas de la misma, generando que las temperaturas se inviertan e impide que las masas de aire contaminadas asciendan. Esta capa de inversión que se forma débilmente empieza cuando se inicia el tráfico y es mayor cuando la actividad solar y el movimiento de la ciudad es máxima (a medio día). A esto se le llama "Isla de Calor". Las llamadas "Islas de Calor" se forman en las ciudades a causa del calor almacenado durante el día por: cemento, piedra, asfalto, alquitrán, etc. Acompañado de un movimiento cíclico del aire, lo que hace difícil la dispersión de los contaminantes emitidos por actividades antropogénicas en la zona urbana (Domènech, X., 2000).

3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA).

Al revisar las gráficas de contribución del PCA se reconoce que las componentes principales de todos los puntos se conforman de los mismos contaminantes; por lo que considero pertinente realizar el análisis de resultados en

función de una gráfica tipo. (Detalle en el Anexo 5)

El primer componente principal conformado por el material particulado, es el mismo para todos los puntos de muestreo, pero el análisis de resultados de este contaminante esta fuera de la discusión de este estudio por ser parte de otro proyecto de tesis.

La segunda componente principal, donde se recoge la máxima variabilidad posible que no fue recogida por la primera componente, se encuentran reflejados los cambios de las variables a través del tiempo, niveles de ozono, temperatura, porcentaje de humedad, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

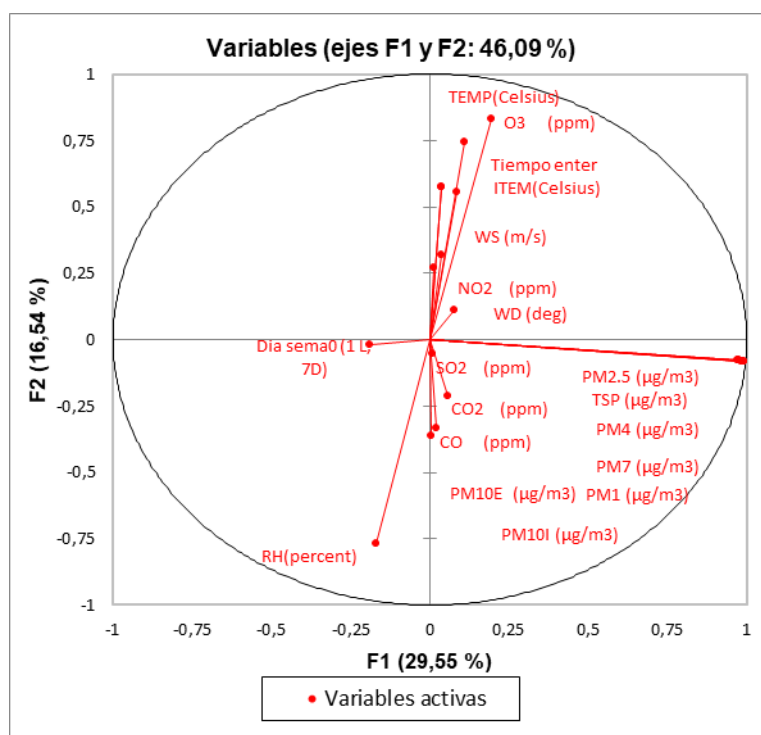


Figura 20. Círculo de correlación tipo de los contaminantes criterio en el Distrito Metropolitano de Quito.

En la Figura 20, se muestra el círculo de correlaciones generado por las dos primeras componentes del A.C.P. para las diez variables estudiadas. Se

encuentra que ocho de las diez variables se agruparon en el primer y cuarto cuadrante.

En el círculo de correlación las variables se concentran en cuatro grupos. El primer grupo (ubicado en el primer cuadrante) está conformado por temperatura, tiempo, ozono, velocidad del viento, dirección del viento y dióxido de nitrógeno; el segundo grupo (segundo cuadrante) por: el dióxido de azufre, dióxido de carbono y material particulado, el tercer grupo (tercer cuadrante) contiene al porcentaje de humedad y el cuarto grupo (eje divisorio del tercer y cuarto cuadrantes) a los días de la semana.

Del estudio de los grupos antes mencionados se obtiene que existe una correlación muy fuerte entre temperatura, tiempo, ozono, velocidad del viento, dirección del viento y dióxido de nitrógeno, en otras palabras, mientras mayor sea la velocidad del viento, la dirección del viento, el tiempo y la temperatura mayor será la concentración de ozono y dióxido de nitrógeno.

El segundo grupo de variables muestra un comportamiento parecido al primer grupo presentando una correlación cercana a uno del dióxido de carbono y material particulado; sin embargo, se muestra una correlación cercana a cero en el caso del dióxido de azufre. Es decir, mientras mayor sea la concentración de dióxido de carbono mayor será la de material articulado, así como la concentración de dióxido de azufre en menor proporción.

Con respecto al tercer y cuarto grupo que contienen una sola variable en una disposición perpendicular con las demás variables se puede decir que la correlación entre día de la semana y los dos otros grupos es nula y RH tiene una correlación negativa con respecto a las variables del grupo uno y nula con respecto a las variables del grupo dos.

Por consiguiente, las variables ubicadas en el primer grupo mantienen una correlación de carácter negativo con respecto a las variables del cuarto grupo y las variables ubicadas en el tercer grupo mantienen una correlación negativa con las variables ubicadas en el segundo grupo.

Lo que quiere decir que todas las variables dentro del mismo cuadrante tienen una relación directa, en otras palabras, aumentan o disminuyen en la misma proporción y por el contrario, las variables que se encuentran en diferentes cuadrantes presentan una relación inversa, es decir que si un contaminante en un cuadrante aumenta el contaminante en el otro cuadrante disminuye o aumenta en la misma proporción.

3.3 CORRELACIÓN CRUZADA.

Al relacionar los datos obtenidos en este trabajo de investigación con los expuestos por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del DMQ se obtiene una serie de correlogramas. En estas gráficas se observa que el comportamiento de los contaminantes es similar a lo largo de la ciudad. Por ello se muestra a continuación una gráfica tipo de dichos correlogramas utilizado como referencia para explicar su comportamiento.

Luego de tener la propiedad principal para el uso de croscorelaciones proecemos a ver qué sucede con la concentración de los contaminantes obtenidos en este trabajo de investigación (Variable independiente $/X_t$) y los obtenido por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (Variable dependiente $/Y_t$).

3.3.1 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 3.

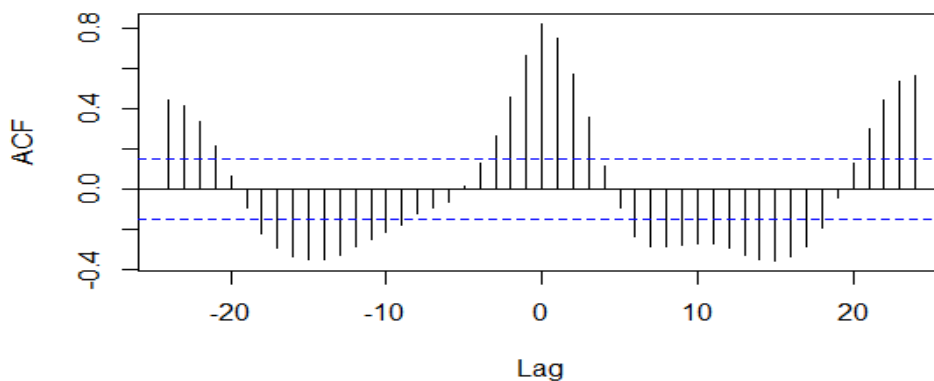


Figura 21. Correlograma del ozono en el punto 3.

En la Figura 21 se encuentra que la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente mayor a 0.8 y se encuentra en el desfase central. Considerando que existe una fuerte significancia en el desfase 1 la variable que lidera el proceso es X_t . Es decir, el crecimiento o decrecimiento del valor obtenido en este trabajo de investigación precede en una hora a lo máximo al crecimiento o decrecimiento del valor de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto siempre sucede en el proceso.

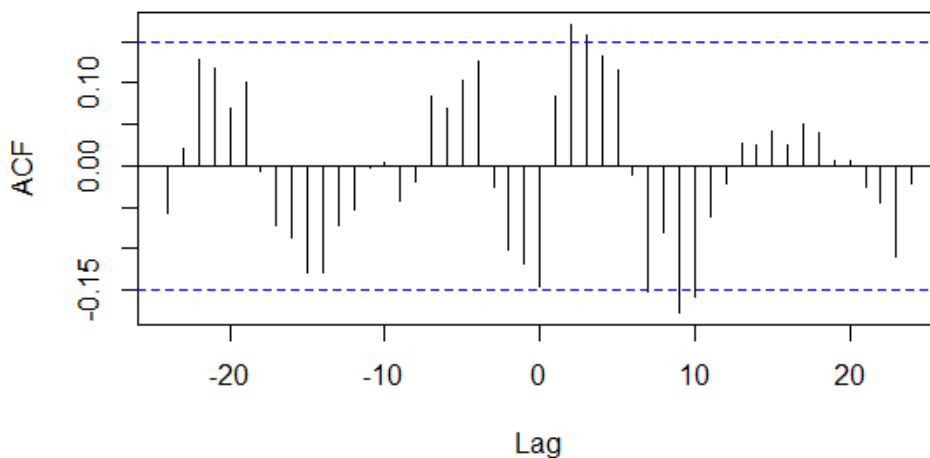


Figura 22. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 3.

En la Figura 22, la mayor significancia estadística es débil y se encuentra en el desfase de tiempo 2 con 0.31 de referencia y ésta es positiva siendo X_t la variable predominante del modelo. Así, el crecimiento o decrecimiento CO calculado por este trabajo de investigación precede en 2 horas a lo máximo al crecimiento o decrecimiento al valor reportado por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto suele suceder pocas veces en el proceso.

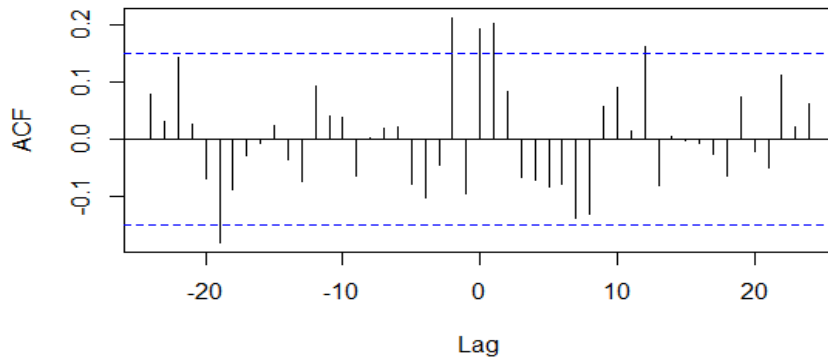


Figura 23. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 3.

En la Figura 23 se puede ver que, la mayor significancia estadística es escasa y negativa con un coeficiente de 0.2 en el desfase negativo de tiempo 15. así, la variable que predomina el proceso es y_t .

Se puede interpretar que al aumentar o disminuir el indicador de calidad del aire NO_2 obtenido por este trabajo de investigación se tiene que luego de 15 horas el indicador de calidad del aire NO_2 muestreado por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito tiene un efecto negativo, es decir, disminuye o aumenta según las condiciones de cálculo de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto no suele pasar con frecuencia es demasiado raro.

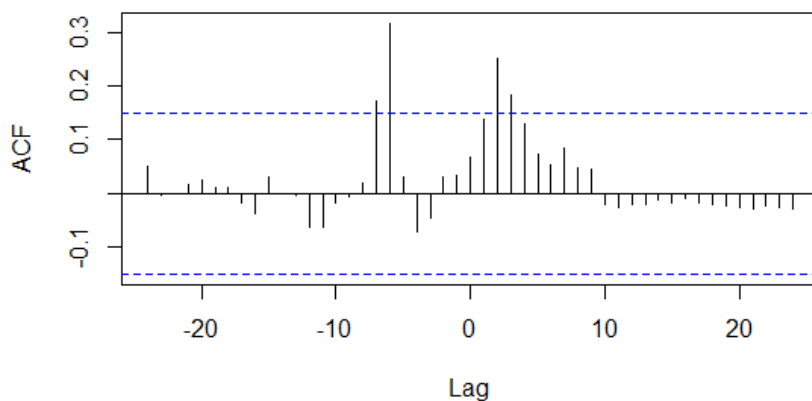


Figura 24. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 3.

La primera impresión al revisar la Figura 24 es la presencia de desfases de débil significancia estadística tales que la mayor significancia apenas alcanza 0.26 en el desfase de tiempo 2. Así, la variable que predomina el proceso es X_t .

Se tiene entonces que, el crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 obtenido por este trabajo de investigación precede en dos horas al crecimiento o decrecimiento al SO_2 recopilado por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto sucede con poca frecuencia.

Ahora se presentan las correlaciones cruzadas entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por Este trabajo de investigación.

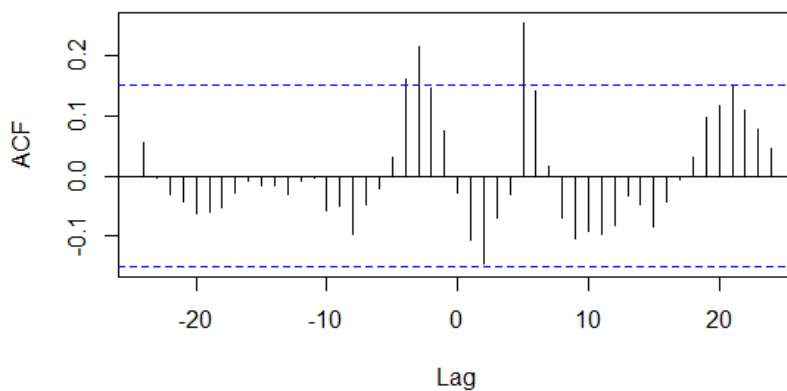


Figura 25. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 3.

De la Figura 25, se puede ver que la mayor significancia estadística es escasa y positiva con referencia de 0.24 y se encuentra en el desfase de tiempo

5. Es decir, que la variable dominante es W_t donde el contaminante que predomina el proceso es O_3 sobre NO_2 .

Hay un efecto positivo. Por lo que, el O_3 crece o decrece antes de 5 horas del crecimiento o decrecimiento del NO_2 . Este comportamiento es raro.

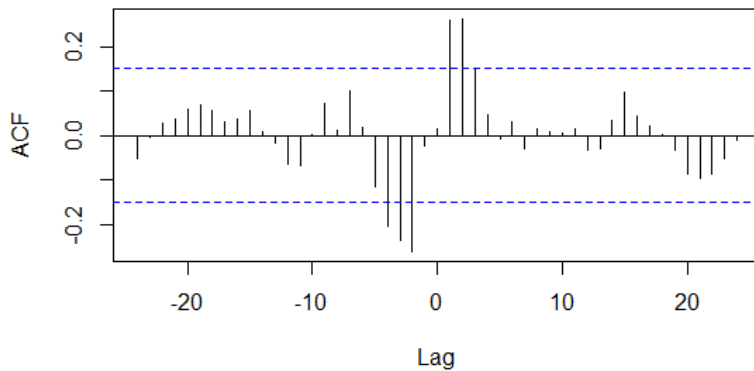


Figura 26. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 3.

En la Figura 26 se muestra que La mayor significancia estadística es débil y positiva con referencia de 0.261, y se encuentra en el desfase negativo de tiempo 2. Por lo cual, la variable que lidera el proceso es Z_t , es decir, que el contaminante predominante es NO_2 sobre CO .

Así, el crecimiento o decrecimiento del CO se presenta dos horas antes del decrecimiento o crecimiento del NO_2 . Esto suele suceder con poca frecuencia en el proceso.

3.3.2 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 4.

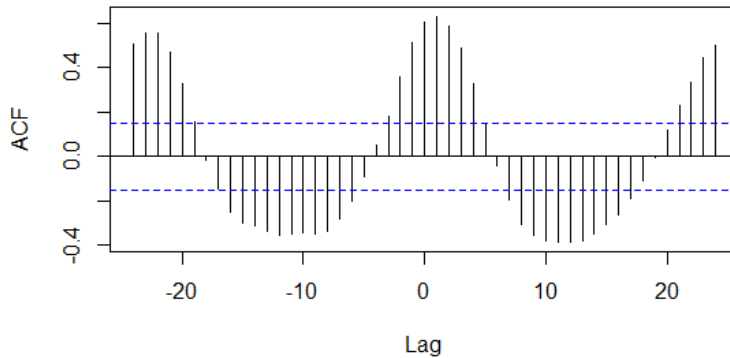


Figura 27. Correlograma del ozono en el punto 4.

En la Figura 27, se ve que la mayor significancia estadística es fuerte y positiva de 0.74 de coeficiente y se encuentra en el desfase de tiempo 1. Esto significa que la variable que lidera el proceso es X_t .

Se puede decir, que a medida que el O_3 obtenido por este trabajo de investigación se presenta una hora antes con un efecto positivo si se considera las condiciones cálculo establecidas por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele suceder en muchas ocasiones en el proceso.

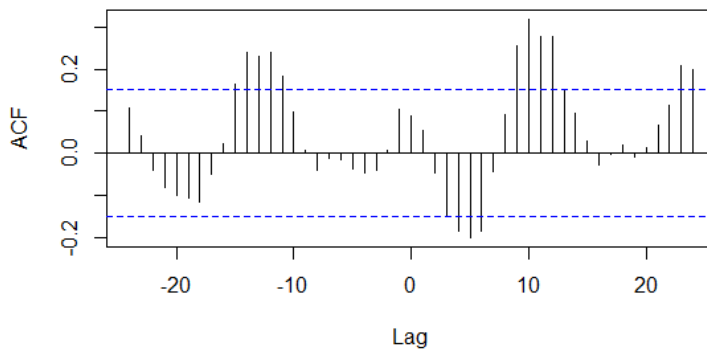


Figura 28. Correlograma del monóxido carbono en el punto 4.

En la Figura 28, la mayor significancia estadística es débil y se encuentra en el desfase de tiempo 1 con 0.31 de referencia y la variable predominante del modelo es X_t pues es positiva.

De manera que, el crecimiento o decrecimiento del dato obtenido por este trabajo de investigación precede en una hora a lo máximo al crecimiento o decrecimiento del dato muestreado por la Secretaria Metropolitana de Ambiente de la Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto sucede con poca frecuencia en el proceso.

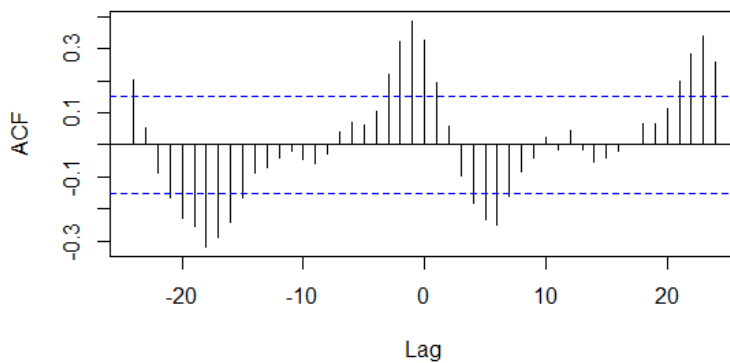


Figura 29. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 4.

En la Figura 29 se evidencia la mayor significancia estadística es escasa y negativa con un coeficiente de 0.2 en el desfase central. Así, la variable que predomina el proceso es Y_t . El contaminante NO_2 monitoreado por este trabajo de investigación disminuye o aumenta simultáneamente si se considera las condiciones establecidas por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto no suele suceder, es decir, tiene una rara frecuencia en el proceso.

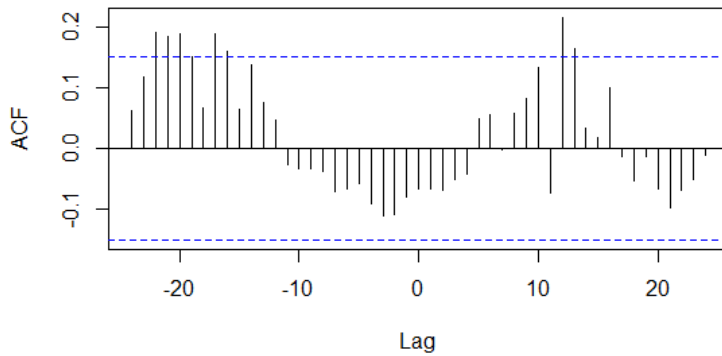


Figura 30. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 4.

En la Figura 30 se observa que en el desfase de tiempo 10 la significancia es escasa estadísticamente positiva con 0.2 por lo que, la variable que predomina el proceso es X_t .

Así, si el SO_2 obtenido por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito aumenta o disminuye luego de 10 horas de que el valor muestreado por este trabajo de investigación aumente o disminuya. Esto tiene una rara frecuencia en el proceso.

Ahora se presentan las correlaciones cruzadas entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por Este trabajo de investigación.

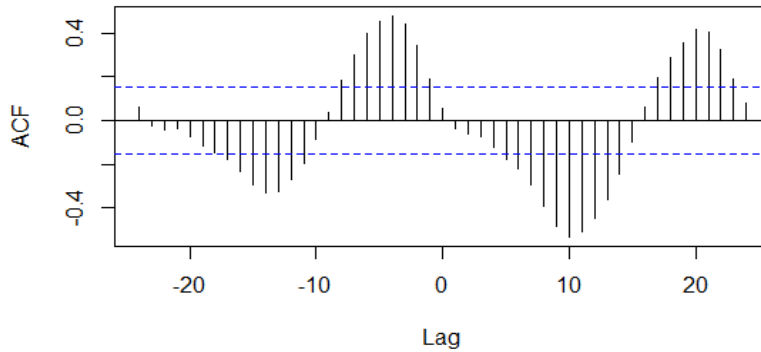


Figura 31. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 4.

En la Figura 31, se puede ver que la mayor significancia estadística es fuerte y negativa con referencia de 0.53 y se encuentra en el desfase de tiempo 10. Es decir, que la variable dominante es W_t por lo que el contaminante que predomina el proceso es O_3 sobre NO_2 .

Hay un efecto inverso. El O_3 aumenta o disminuye antes de 10 horas de la disminución o aumento del NO_2 . Este efecto sucede frecuentemente en el proceso.

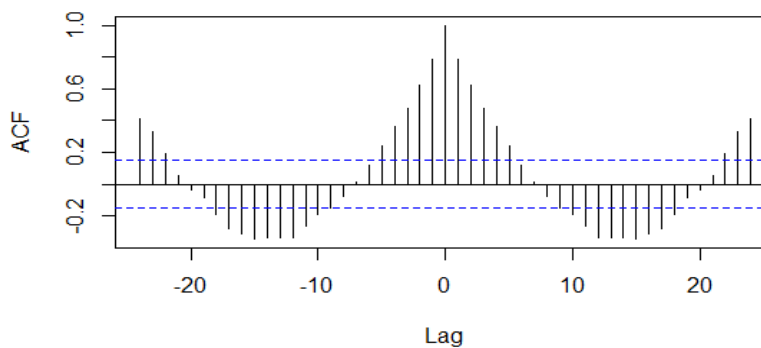


Figura 32. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 4.

En la Figura 32, la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con referencia de 1 y se encuentra en el desfase central. Por lo cual, el crecimiento o decrecimiento del CO se presenta a la par del crecimiento o decrecimiento del NO₂. Esto siempre sucede.

3.3.3 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 5.

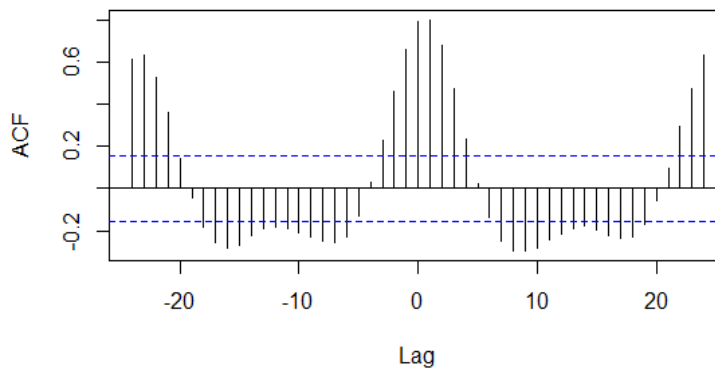


Figura 33. Correlograma del ozono en el punto 5.

En función de la Figura 33 se establece una mayor significancia estadística muy fuerte y positiva con un coeficiente de 1 y se encuentra en el desfase central. Así, el valor del contaminante ozono registrado por este trabajo de investigación aumenta o disminuye simultáneamente si se considera las condiciones lo establecidas por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

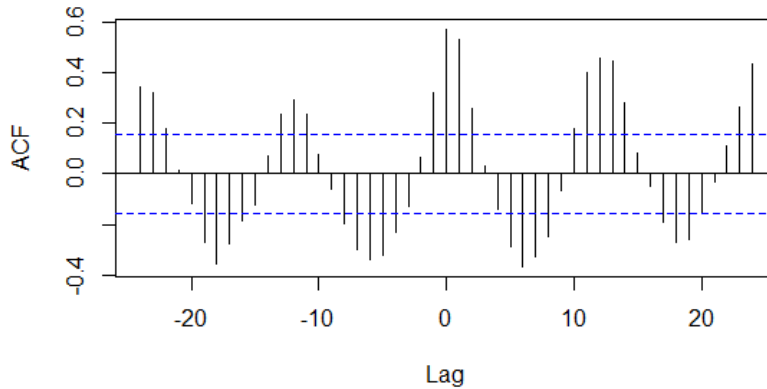


Figura 34. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 5.

En la Figura 34, la mayor significancia estadística es débil y negativa, se encuentra en el desfase negativo de tiempo 18 con 0.43 de referencia y la variable predominante del modelo es Y_t pues es positiva. Se tiene entonces que, el crecimiento o decrecimiento del valor de este trabajo de investigación se da luego de 18 horas a lo máximo de que se presente algún decrecimiento o crecimiento en valor reportado por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele suceder pocas veces.

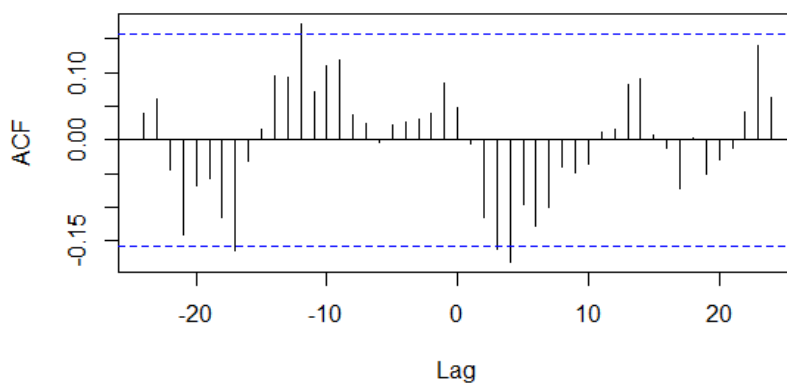


Figura 35. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 5.

En la Figura 35 se puede observar que la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente de 1, se encuentra en el desfase central. A medida que el valor del contaminante NO₂ calculado por este trabajo de investigación aumenta o disminuye a la par el índice establecido por Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto sucede siempre en el proceso.

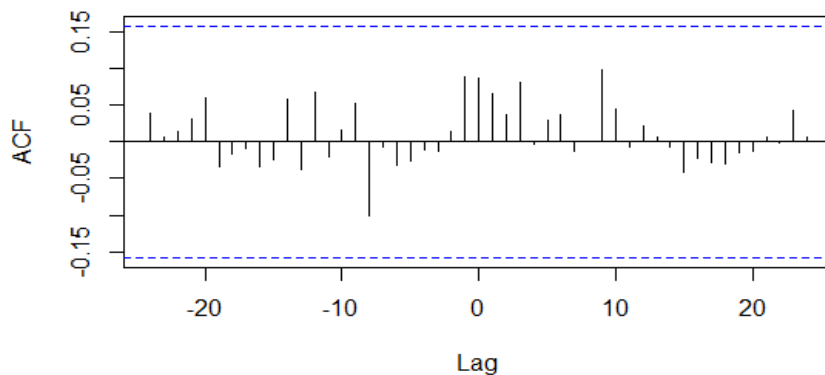


Figura 36. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 5.

En la Figura 36, la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente de 1, se encuentra en el desfase central. De manera que, mientras el índice diario de calidad del aire del contaminante SO₂ calculado por este trabajo de investigación aumenta o disminuye a la par el índice establecido por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto sucede siempre en el proceso.

Ahora, se presentan las croscorrelaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por este trabajo de investigación.

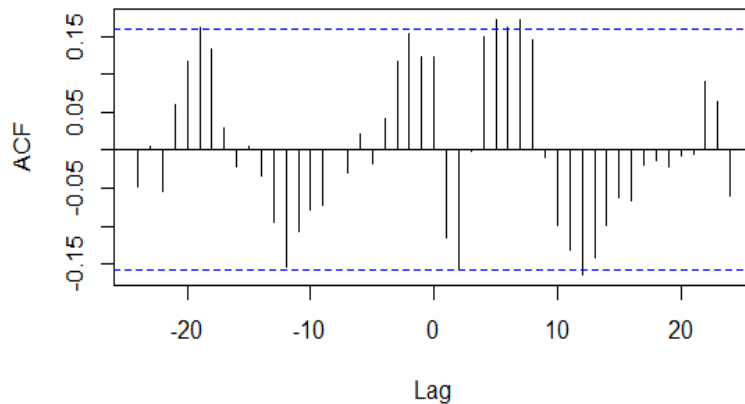


Figura 37. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 5.

En la Figura 37, se puede ver no hay relación lineal entre el contaminante O_3 y NO_2 . Es decir, que ninguno contaminante afecta al otro.

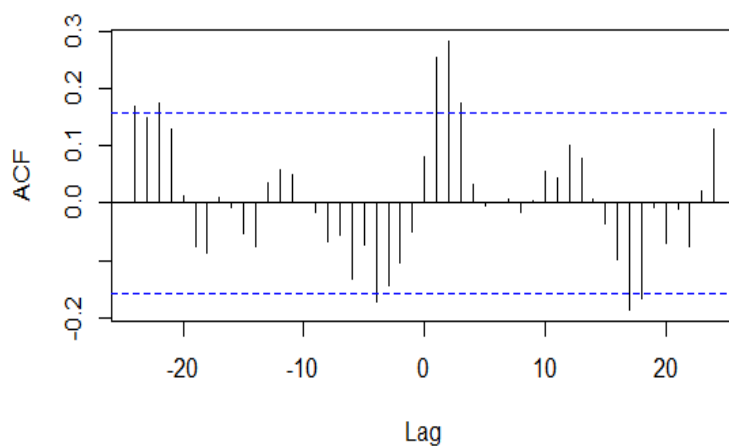


Figura 38. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 5.

En la Figura 38 se tiene que la mayor significancia estadística es débil y positiva con un coeficiente de 0.26, se encuentra en el desfase negativo de tiempo 2. Por lo que, el NO₂ lidera el proceso sobre el CO. Es decir, el CO aumenta o disminuye 2 horas antes de que del NO₂ aumente o disminuya. Este efecto es poco frecuente en el proceso.

3.3.4 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 6.

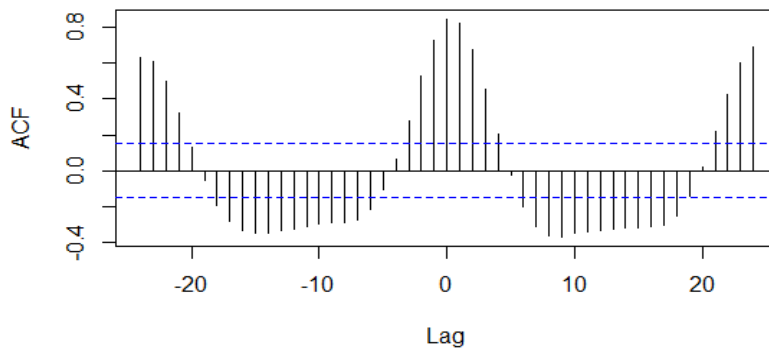


Figura 39. Correlograma del ozono en el punto 6.

En la Figura 39 se muestra que la mayor significancia estadística es muy fuerte positiva, y se encuentra en el desfase central, con un coeficiente mayor a 0.8. Y el ozono determinado por este trabajo de investigación se presenta una hora antes que el medido por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito con un efecto positivo si se considera las condiciones del

cálculo establecido por Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele suceder siempre.

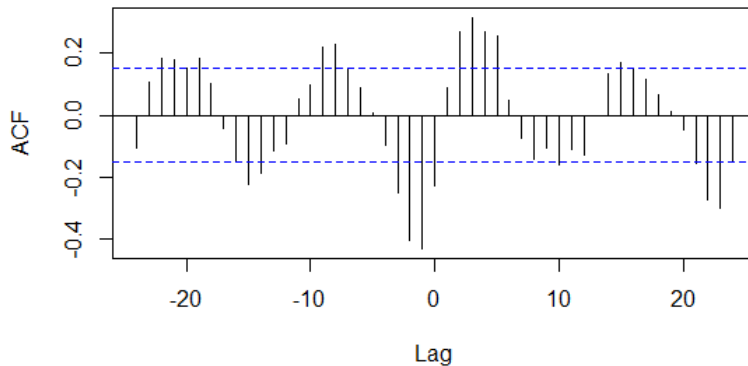


Figura 40. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 6.

En la Figura 40, la mayor significancia estadística es débil y negativa, se encuentra en el desfase negativo de tiempo 1 con 0.4 de referencia. Se tiene entonces que, el crecimiento o decrecimiento del CO determinado por este trabajo de investigación se da luego de 2 horas a lo máximo de que se presente algún decrecimiento o crecimiento en el CO muestreado por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele suceder pocas veces.

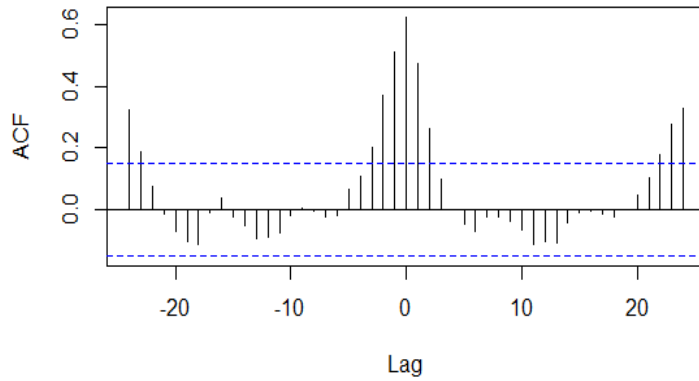


Figura 41. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 6.

En la Figura 41, la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva, se encuentra en el desfase central. Teniendo en cuenta que hay una significancia en el desfase negativo de tiempo 1 con referencia de 0.47. Por lo cual, al aumentar o disminuir el valor del NO_2 obtenido por este trabajo de investigación aumenta o disminuye simultáneamente o luego de una hora el indicador de NO_2 obtenido por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele pasar con frecuencia.

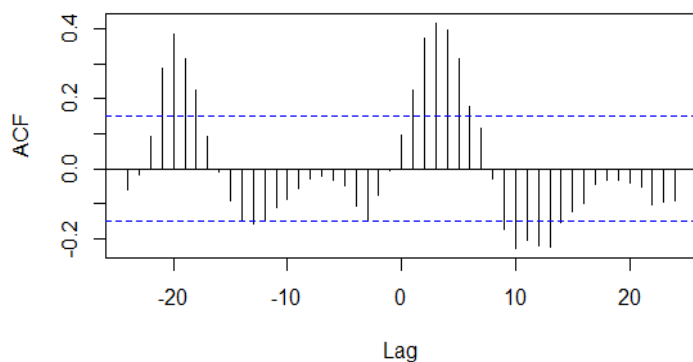


Figura 42. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 6.

En la Figura 42, en el desfase de tiempo 4 la significancia es débil y positiva 0.39 de referencia. Así, si el índice de SO₂ calculado por este trabajo de investigación crece o decrece 4 horas antes del crecimiento o decrecimiento del índice de SO₂ calculado por las condiciones de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto se da con poca frecuencia.

Ahora, veamos que sucede con las croscorelaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por este trabajo de investigación.

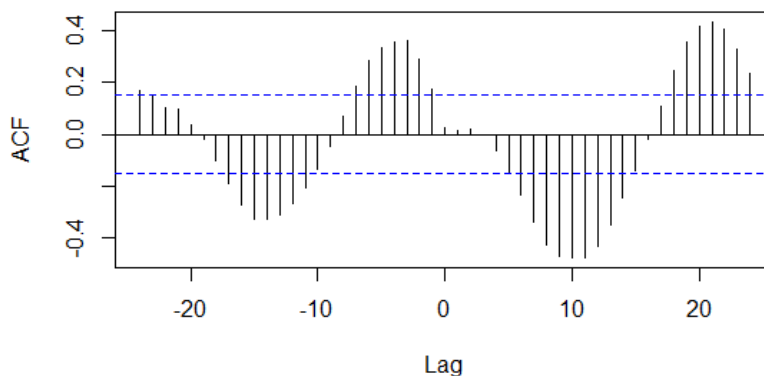


Figura 43. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 6.

En la Figura 43, se puede ver que la mayor significancia estadística es débil y negativa con referencia de 0.47 y se encuentra en el desfase de tiempo 10. Es decir, que el O_3 domina el proceso sobre el NO_2 y hay un efecto inverso. El O_3 aumenta o disminuye 10 horas antes de la disminución o aumento del NO_2 . Este efecto sucede con poca frecuencia en el proceso.

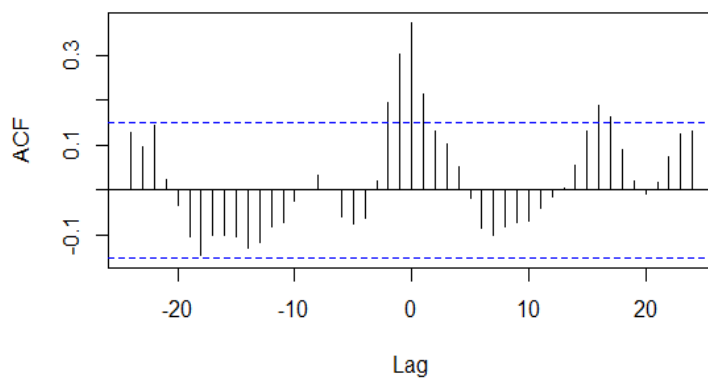


Figura 44. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 6.

En la Figura 44, se tiene que la mayor significancia estadística es débil y positiva con un coeficiente de 0.37 y se encuentra en el desfase central. Teniendo en cuenta que en el desfase negativo de tiempo 1 hay una significancia positiva con coeficiente 0.3. Por el contaminante que predomina es NO_2 sobre CO . Por lo cual, a medida que el índice diario de CO aumenta o disminuye a la par o una hora antes de que del índice diario del aire NO_2 aumente o disminuya. Este efecto poco frecuente en el proceso.

3.3.5 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 7.

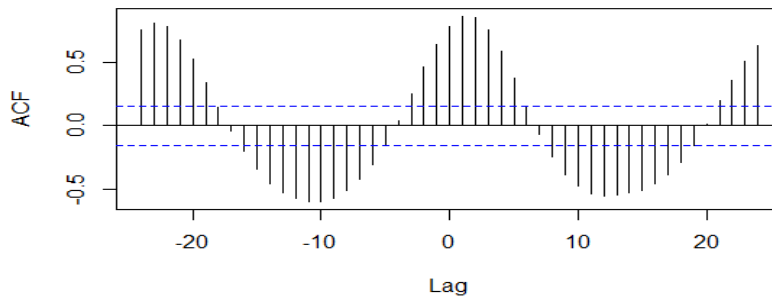


Figura 45. Correlograma del ozono en el punto 7.

De la Figura 45 se tiene que la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva en el desfase 1 con 0.92. Esto significa que, el crecimiento o decrecimiento del índice determinado por este trabajo de investigación precede en una hora a lo máximo al crecimiento o decrecimiento del índice proporcionado por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, con las condiciones en las cuales fueron tomados los datos. Esto sucede muy frecuentemente.

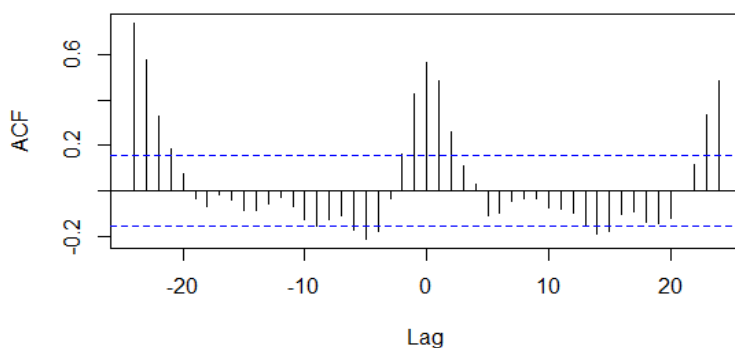


Figura 46. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 7.

Según la Figura 46 la mayor significancia estadística es fuerte y se encuentra en el desfase central con 0.8 como coeficiente. Teniendo en cuenta que en el desfase de tiempo 1 se tiene una referencia de 0.58. De manera que, el crecimiento o decrecimiento del índice muestreado en este trabajo de investigación precede en una hora a lo máximo al crecimiento o decrecimiento del índice determinado por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto sucede frecuentemente.

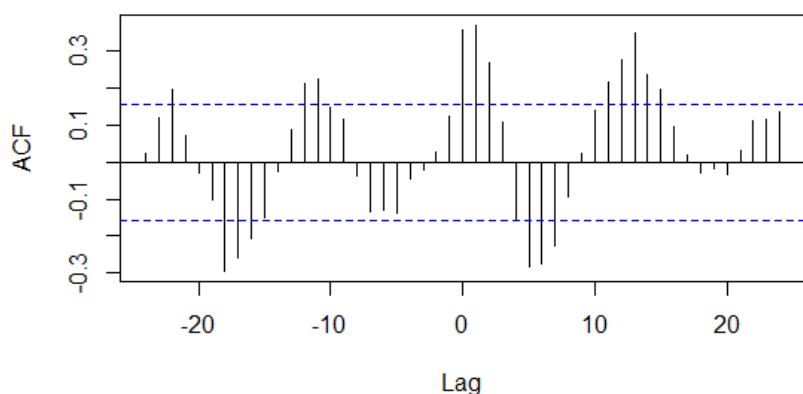


Figura 47. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 7.

Se observa en la Figura 46 que la mayor significancia estadística es débil y positiva, y se encuentra de tiempo 1 se tiene una referencia de 0.37. De manera que, el crecimiento o decrecimiento del índice calculado por este trabajo de investigación precede en una hora al crecimiento o decrecimiento al índice de la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante

las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto sucede con poca frecuencia en el proceso.

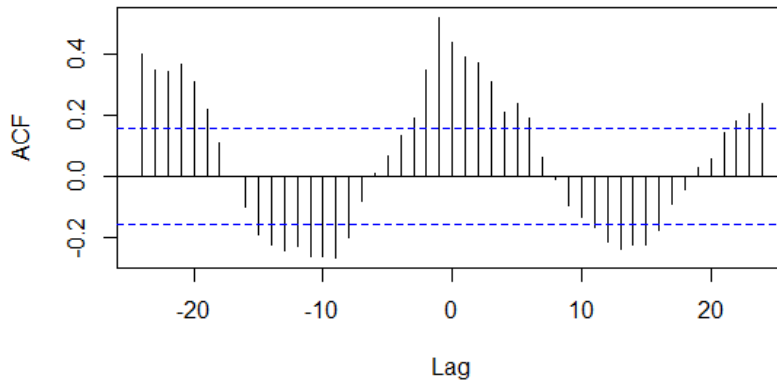


Figura 48. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 7.

En la Figura 48, se tiene en el desfase de tiempo 23 la significancia es débil y negativa con 0.31 de referencia. De manera que, el índice de SO_2 calculado por este trabajo de investigación crece o decrece antes de 23 horas del decrecimiento o crecimiento del índice de SO_2 calculado por las condiciones de la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto ocurre con poca frecuencia en el proceso.

Para las cros correlaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante a calculado por este trabajo de investigación. La variable

dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por este trabajo de investigación.

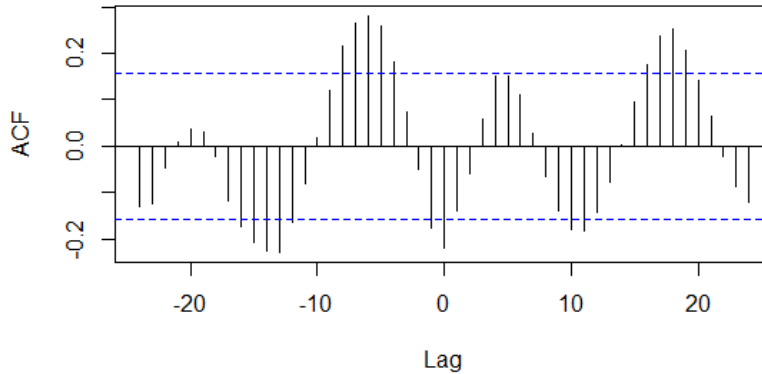


Figura 49. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 7.

En la Figura 49 se puede ver que la mayor significancia estadística es débil y positiva con referencia de 0.28, se encuentra en el desfase negativo de tiempo 6. Es decir, que se tiene un efecto directo, pues el índice de O_3 crece o decrece después de 6 horas del crecimiento o decrecimiento del índice NO_2 . Esto tiene poca frecuencia en el proceso.

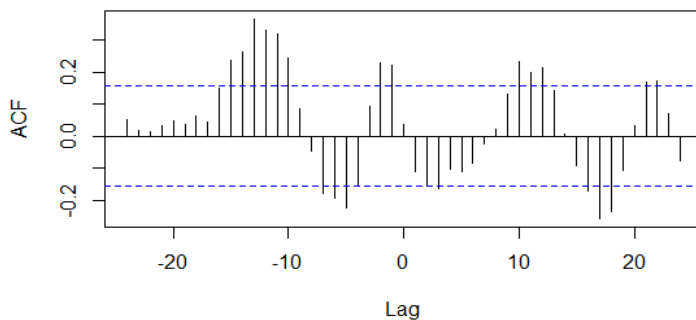


Figura 50. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 7.

En la Figura 50 se puede ver que la mayor significancia estadística es débil y positiva con un coeficiente de 0.37 y se encuentra en el desfase negativo de tiempo 13. Por lo que, el contaminante que predomina es NO₂ sobre CO. Así, el índice diario de CO aumenta o disminuye 13 horas antes de que del índice diario de NO₂ aumente o disminuya. Este efecto poco frecuente en el proceso.

3.3.6 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 8.

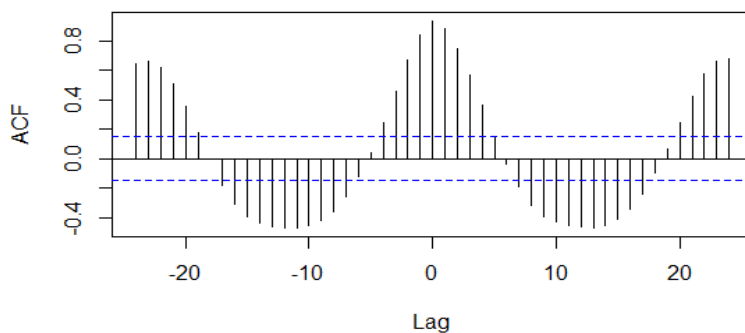


Figura 51. Correlograma del ozono en el punto 8.

Se puede observar en la Figura 51 que no existe una relación lineal entre las variables pues hay una tendencia muy marcada hacia la correlación cero. Es decir, que no hay efecto en los cálculos obtenidos por este trabajo de investigación sobre los proporcionados por la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito o viceversa para el contaminante ozono O₃.

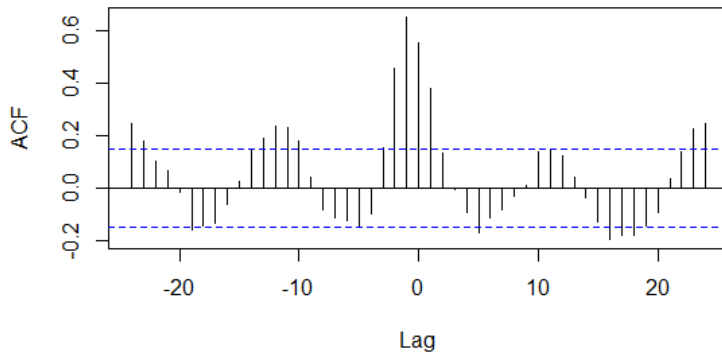


Figura 52. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 8.

En la Figura 52, se tiene una significancia estadística es débil y positiva, se encuentra en el desfase de tiempo 23 con 0.34 de referencia, siendo X_t la variable predominante del modelo. Mientras que, el crecimiento o decrecimiento del índice de este trabajo de investigación precede en tres horas al crecimiento o decrecimiento del índice de la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto suele suceder pocas veces en el proceso.

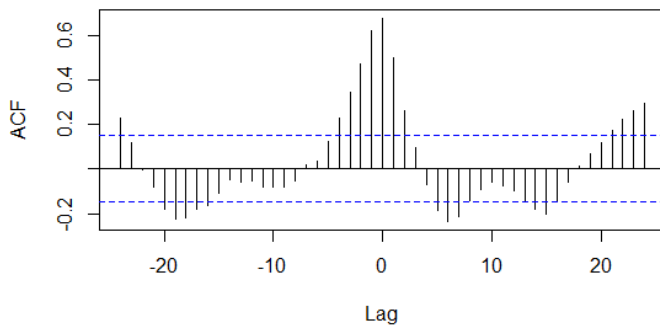


Figura 53. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 8.

Se tiene de la Figura 53 que la mayor significancia estadística es débil y positiva, y se encuentra de tiempo 1 se tiene una referencia de 0.29 por lo que la variable predominante del modelo es X_t . Así, el crecimiento o decrecimiento del índice de este trabajo de investigación precede en una hora al crecimiento o decrecimiento del índice de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, durante las condiciones en las cuales fueron hallados los datos. Esto sucede con poca frecuencia en el proceso.

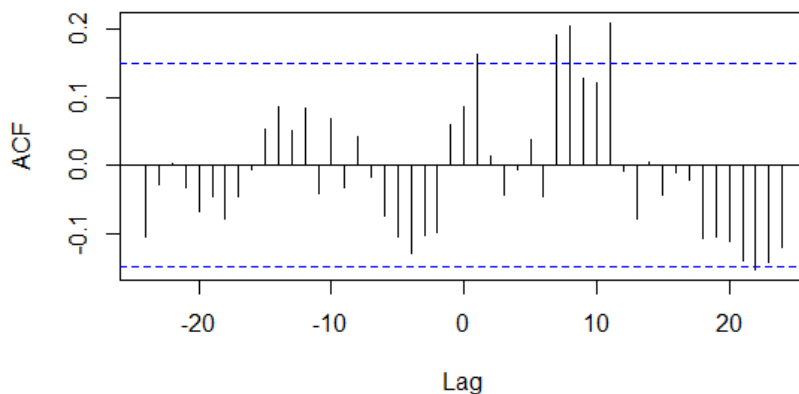


Figura 54. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 8.

En la Figura 54 se encuentra una significancia débil y positiva estadísticamente tal que el coeficiente es 0.33 en el desfase de tiempo 3. Así, la variable que predomina el proceso es X_t . Por lo que, el crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 calculado por este trabajo de investigación se da 3 horas antes del crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 calculado por las condiciones de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Este efecto pasa con poca frecuencia.

En la croscorelaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación la variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado este trabajo de investigación.

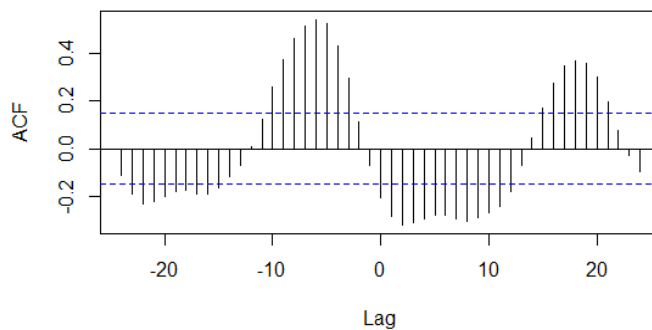


Figura 55. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 8.

La Figura 55 muestra que la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente de 1 y se encuentra en el desfase central. Por lo cual, a medida que el índice del O_3 aumenta o disminuye a la par del índice del NO_2 . Este efecto sucede siempre en el proceso.

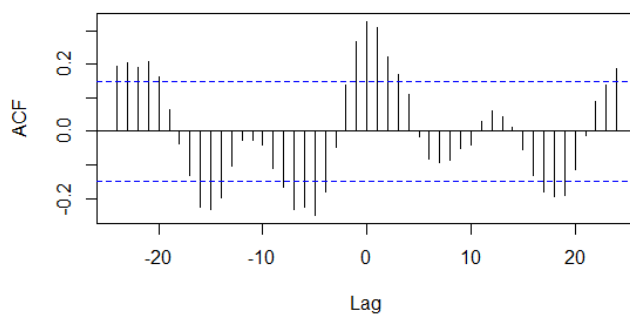


Figura 56. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 8.

En la Figura 56 la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente de 1 y se encuentra en el desfase central. Por lo cual, a medida que el índice de CO aumenta o disminuye a la par del índice de NO₂. Este efecto sucede siempre en el proceso.

3.3.7 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 9.

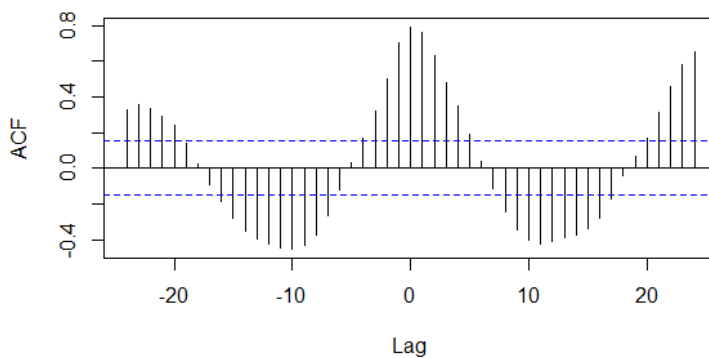


Figura 57. Correlograma del ozono en el punto 9.

En la Figura 57 la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente mayor a 0.7, se encuentra en el desfase central, y también se halla una fuerte significancia en el desfase 1. Esto significa que la variable que lidera el proceso es X_t . Así, a medida que el índice diario del ozono obtenido por este trabajo de investigación aumenta o disminuye a la par o se presenta una

hora antes si se considera las condiciones del cálculo establecido por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

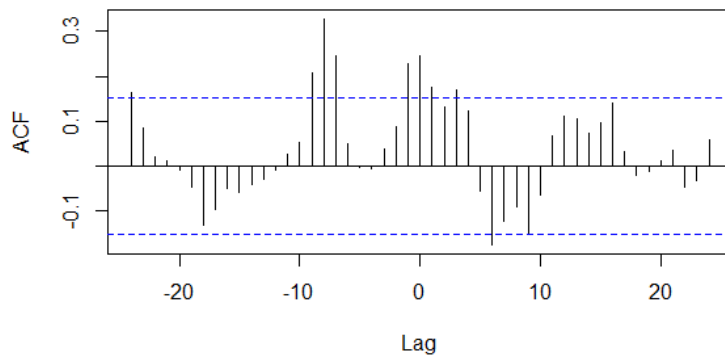


Figura 58. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 9.

La Figura 58 nos muestra en primer lugar, la mayor significancia estadística es escasa y positiva con referencia de 0.2, y se encuentra a la izquierda del centro en el desfase negativo de tiempo 9 por lo que la variable dominante es Y_t . Luego, se tiene que el aumento o disminución del índice de CO calculado por este trabajo de investigación se da luego de 9 horas de que haya aumentado o disminuido el valor establecido por las condiciones de la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Ambiente. Esto no suele pasar, es decir, es muy raro que suceda.

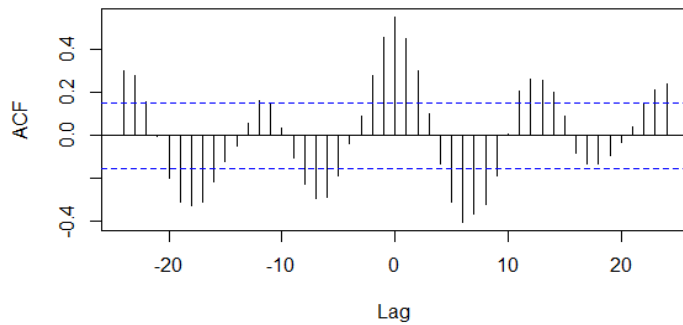


Figura 59. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 9.

En la Figura 59, la mayor significancia estadística es fuerte y positiva con un coeficiente de 0.55 en el desfase central. Así, la variable que predomina el proceso es Y_t . Por lo que, el índice diario de NO_2 calculado por este trabajo de investigación aumenta o disminuye simultáneamente si se considera las condiciones del cálculo establecido por Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto pasa frecuentemente en el proceso.

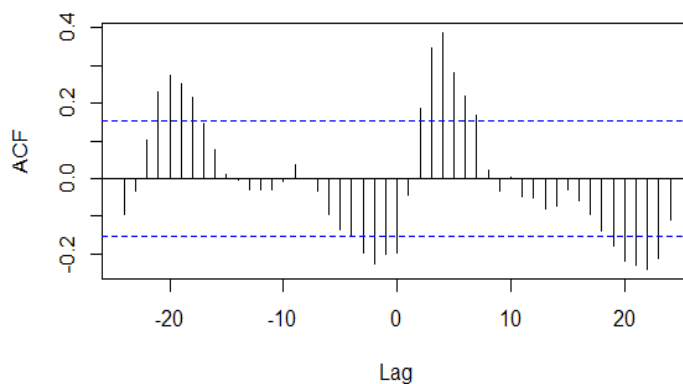


Figura 60. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 9.

En la Figura 60 se presenta una débil significancia estadística tales que la mayor significancia apenas alcanza 0.38 en el desfase de tiempo 4. Así, la variable que predomina el proceso es X_t . Se tiene entonces que, el crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 calculado por este trabajo de investigación precede en 4 horas al crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 dado por las condiciones de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Este efecto suele pasar con poca frecuencia.

En las croscorelaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por este trabajo de investigación.

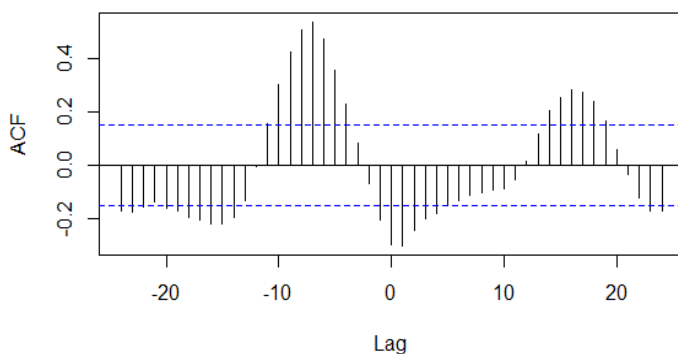


Figura 61. Correlograma del ozono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 9.

En la Figura 61, se muestra que la mayor significancia estadística es fuerte y positiva con referencia de 0.53, se encuentra en el desfase negativo de tiempo 7. Es decir, que la variable dominante es Z_t donde el contaminante que predomina es NO_2 sobre O_3 . Se tiene un efecto directo, pues el índice del O_3 crece o decrece después de 7 horas del crecimiento o decrecimiento del índice del NO_2 . Este efecto siempre pasa en el proceso.

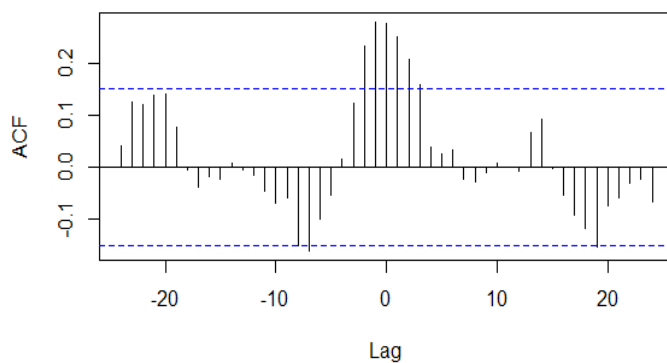


Figura 62. Correlograma del monóxido de carbono vs el dióxido de nitrógeno en el punto 9.

De la Figura 62, la mayor significancia estadística es débil y positiva con un coeficiente de 0.28 y se encuentra en el desfase negativo de tiempo 1. Por lo que, la variable que lidera el proceso es Z_t . Así el contaminante que predomina es el NO_2 sobre el CO . De donde, el índice diario del NO_2 aumenta o disminuye luego de una hora del aumento o disminución del índice del CO . Este efecto poco frecuente en el proceso.

3.3.8 CORRELACIÓN CRUZADA DEL PUNTO 10.

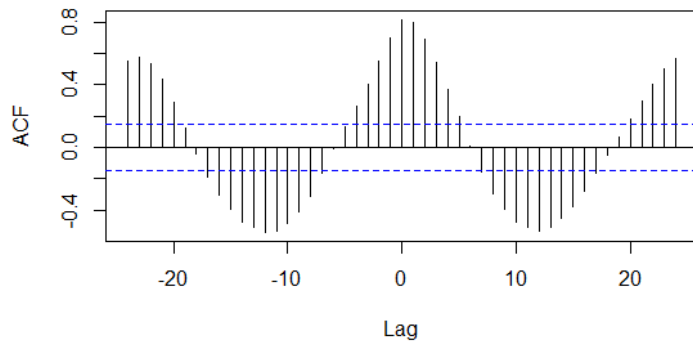


Figura 63. Correlograma del ozono en el punto 10.

En la Figura 63 se puede ver que la mayor significancia estadística es muy fuerte y positiva con un coeficiente de 0.81, se encuentra en el desfase central, y también se halla una fuerte significancia en el desfase 1. Esto significa que la variable que lidera el proceso es X_t . Se tiene que, a medida que el índice diario del ozono calculado por este trabajo de investigación aumenta o disminuye a la par o se presenta una hora antes si se considera las condiciones del cálculo establecido por la Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Siempre sucede en el proceso.

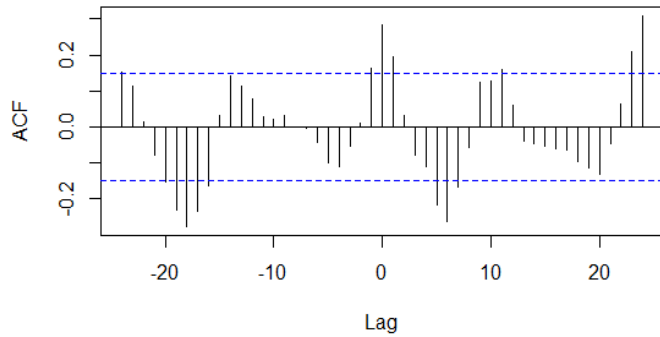


Figura 64. Correlograma del monóxido de carbono en el punto 10.

En la Figura 64 se evidencia la mayor significancia estadística es débil y positiva con referencia de 0.26, y se encuentra a la izquierda del centro en el desfase negativo de tiempo 22 por lo que la variable dominante es Y_t . Luego, se tiene que el aumento o disminución del indicador de calidad del aire CO obtenido por este trabajo de investigación se da luego de 22 horas de que haya aumentado o disminuido el indicador establecido por las condiciones de Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Esto suele pasar con poca frecuencia.

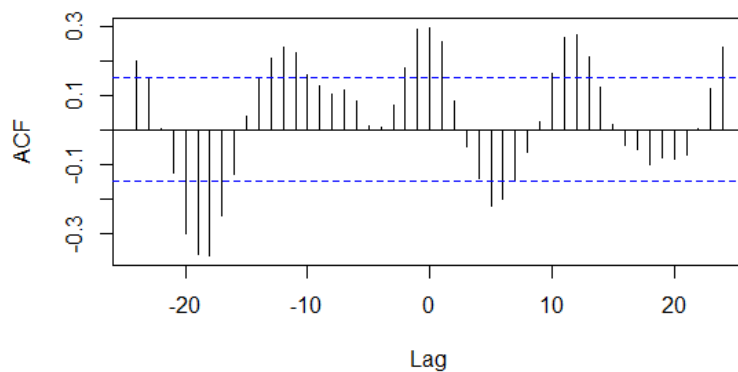


Figura 65. Correlograma del dióxido de nitrógeno en el punto 10.

De la Figura 65, se observa que no hay una relación lineal entre los datos obtenidos por este trabajo de investigación y la Secretaria Metropolitana de Ambiente. Es decir, que no hay ningún efecto o causa del uno sobre el otro.

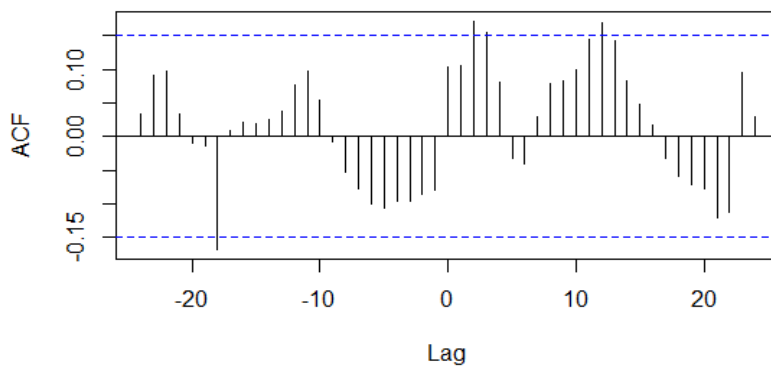


Figura 66. Correlograma del dióxido de azufre en el punto 10.

Se puede ver en la Figura 66 que la significancia es escasa y positiva estadísticamente tal que el coeficiente es 0.17 en el desfase de tiempo 1. Así, la variable que predomina el proceso es X_t . Por lo que, el crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 muestreado por este trabajo de investigación se da una hora antes del crecimiento o decrecimiento del índice de SO_2 calculado por las condiciones de Secretaria Metropolitana de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Este efecto no suele suceder.

Ahora, veamos que sucede con las croscorelaciones entre variables distintas calculados solo por este trabajo de investigación.

La variable independiente, W_t , es el índice diario de calidad del aire de un contaminante **a** calculado por este trabajo de investigación. La variable dependiente, Z_t , es el índice diario de calidad del aire del contaminante **b** calculado por este trabajo de investigación.

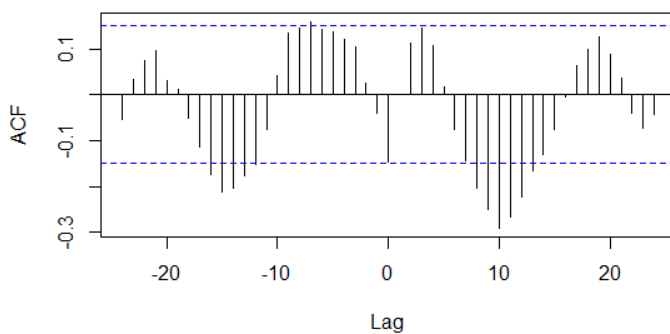


Figura 67. Correlograma del ozono vs dióxido de nitrógeno en el punto 10.

En la Figura 67 se puede observar que no hay ninguna relación lineal entre las variables, Por lo que, no hay efecto alguno de O_3 sobre el NO_2 o viceversa.

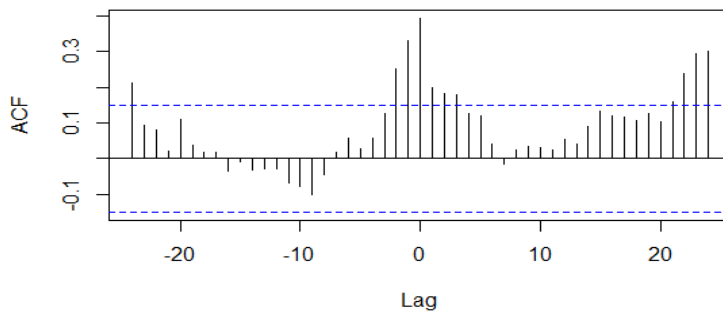


Figura 68. Correlograma del monóxido de carbono vs dióxido de nitrógeno en el punto 10.

* El color rojo representa la transgresión de la normativa correspondiente.

La Tabla 6, muestra el contraste de los datos del muestreo de este trabajo de investigación y lo establecido en la normativa nacional como límite máximo permisible. El punto 3 presenta una concentración mayor al límite máximo permisible de SO₂ en la normativa nacional.

Además, se tomó como referencia a la OMS al ser el organismo que controla la salud a nivel global. Se comparó los datos promedio de cada uno de los contaminantes con los límites máximos permitidos contenidos en la Tabla 3.

Tabla 7. Cumplimiento de los datos de la investigación con la OMS.

CONTAMINANTE CRITERIO	PUNTO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O ₃										
NO ₂										
SO ₂										
CO										

* El color verde representa el cumplimiento de la norma y el color rojo la transgresión de la misma.

En la Tabla 7, se observa el contraste de los datos de este trabajo de investigación con los límites máximos permisibles de la OMS. Del análisis de la tabla se obtiene que el punto 3, punto 9 y punto 10. En el punto 9 incumplen la normativa.

En el punto 3 se trasgrede la norma 13 de junio en el promedio de las 24 horas, siendo este el valor más alto de este contaminante registrado en esta investigación y en el punto 10 se observa la mayor concentración del contaminante el 26 de junio de 09h26 a 09h36.

4. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron los perfiles horarios de los contaminantes a filo de calle encontrándose picos dentro en las horas de mayor tráfico vehicular en la ciudad (06h00 a 08h00 y de 16h00 a 18h00).
- El factor determinante en la contaminación del aire en Quito es generado por la alta circulación del parque vehicular en la ciudad y la alta radiación solar que provoca que existan reacciones atmosféricas que favorezcan la formación de contaminantes secundarios.
- Al comparar los valores promedio de los diferentes contaminantes criterio con la normativa nacional (TULSMA) y la normativa de la OMS se tiene que en casi todos los puntos se cumple con los límites permisibles de CO, NO₂ y O₃ excepto en la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad de Municipio de Quito y la Escuela Sucre, Gonzaga y Cumbayá donde el SO₂ está fuera de los límites máximos permisibles. Siendo la Unidad Educativa San Luis Gonzaga el punto con mayor concentración de SO₂ debido a la presencia de la Central Termoeléctrica de Guangopolo y la Escuela Sucre por el alto flujo vehicular que busca llegar o salir del Terminal "Playón de la Marín".
- El correcto análisis estadístico fue clave para obtener resultados confiables en el presente trabajo de investigación. Se realizaron series de tiempo para obtener diferentes perfiles diarios y horarios de las concentraciones de los contaminantes en las zonas de muestreo para luego ser comparados y cotejados con la normativa nacional correspondiente, se efectuó el análisis de componentes principales o PCA para establecer la correlación o la falta de correlación entre los diferentes parámetros medidos en este estudio, además se procedió a utilizar correlaciones cruzadas para establecer el grado de concordancia entre los niveles de concentración de los contaminantes criterio obtenidos por las estaciones de monitoreo de la REMMAQ y las mediciones a filo de calle de zonas de alto tráfico en la ciudad de Quito.

- Los datos reportados por la Secretaría de Ambiente el Distrito Metropolitano de Quito y este trabajo de investigación son comparables.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio a profundidad sobre el material particulado presente en el aire de la ciudad de Quito.
- Realizar un estudio sobre el efecto del uso de combustible ecológicos en la contaminación del aire de Quito.
- Realizar un monitoreo de la calidad del aire a filo de calle otras ciudades del Ecuador como Guayaquil y Cuenca.
- Desarrollar e implementar un proyecto que permita conservar la vegetación dentro del Distrito Metropolitano de Quito debido al incremento desmedido del parque automotriz en la Capital de los Ecuatorianos conforme lo descrito en el Capítulo Segundo de Biodiversidad y recursos naturales, sección séptima Biosfera, ecología urbana y energías alternativas.
- Realizar un estudio a profundidad de la afectación en la salud de las personas que laboran a filo de calle.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Ambiente. (2015). *Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma De Calidad Del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión* . Quito.

AEROQUAL. (2018). *USER GUIDE*. .

Albuja, M. L. (2008). *Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano. Obtenido de https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf

Bart, M. W. (2014). *High Density Ozone Monitoring Using Gas Sensitive Semi-Conductor Sensors in the Lower Fraser Valley*. . British Columbia.

Castaño, E., & Martínez, J. (2008). *Uso de la función de correlación cruzada en la identificación de modelos ARMA*. *Revista Colombiana de Estadística*.

Clark, L. P. (2018). *Air Quality and Urban Form in u.s. Urban Areas: Evidence from Regulatory Monitors*.

Contreras Juárez, A., Atziry Zuñiga, C., Martínez Flores, J. L., & Sánchez Partida, D. . (2016). *Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos*.

- CORPAIRE. (2009). *Primer Congreso Ecuatoriano sobre Gestión de la Calidad del Aire*. Quito: CORPAIRE.
- Díaz, V. (2017). *Informe de la calidad del aire-2016 Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Secretaría de ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.
- Domènech, X. (2000). *Química ambiental: el impacto ambiental de los residuos*. Madrid: MIRAGUANO.
- EPA. (2018). *40 CFR - Protection of Environment*. .
- Fabara, C. (2018). *Reporte de Economía Laboral*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Fernández, R. (2007). *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*. Obtenido de X. Metodología de evaluación de la calidad: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/view/606/623>
- Franco, J. F., Rojas, N. Y., Sarmiento, O. L., & Behrentz, E. (2013). *Urban air pollution in school-related microenvironments in Bogota, Colombia*.
- Google Earth. (2018). Google. Obtenido de https://www.google.es/intl/es_es/earth/download/thanks.html#os=mac#version=pro#intel=yes#updater=yes
- Guevara José. (2014). *Uso correcto de la correlación cruzada en Climatología: el caso de la presión atmosférica entre Taití y Darwin*. . Scielo.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México. (s.f.). *Equipos para la Medición de la Calidad del Aire*. . México.

- Junta de Andalucía. (2004). *Guía de Arquitectura de la ciudad de Quito Volumen 1*. Quito-Sevilla: Junta de Andalucía.
- Lanza-Espino, G. . (1999). *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Plaza y Valdes.
- Martínez, E., & Díaz, Y. (2004). *Contaminación atmosférica*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España. (s.f.). *Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>
- OMS. (2018). *Organización Mundial de la Salud. Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Obtenido de Comunicado de prensa: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- OMS. (2019). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Onursal, B., & Gautam, S. (1997). *Contaminación atmosférica por vehículos automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de*. Washington, D.C.: Banco Mundial-Departamento Técnico.
- Prefectura de Pichincha. (2002). *Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>

Radojevic, M., & Bashkin, V. (2015). *Practical Environmental Analysis*. RSC PUBLISHING.

Ramírez, L. G. . (2014). *Sensores y Actuadores* . Patria.

Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito. (febrero de 02 de 2015). *Plan Metropolitano de desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/interactivos/movilidad/files/assets/downloads/publication.pdf>

Selva, X. (1999). *DETECTORES DE GASES: NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL INFRARROJO*. . Conferencia de la Sección Española de ISA, 12.

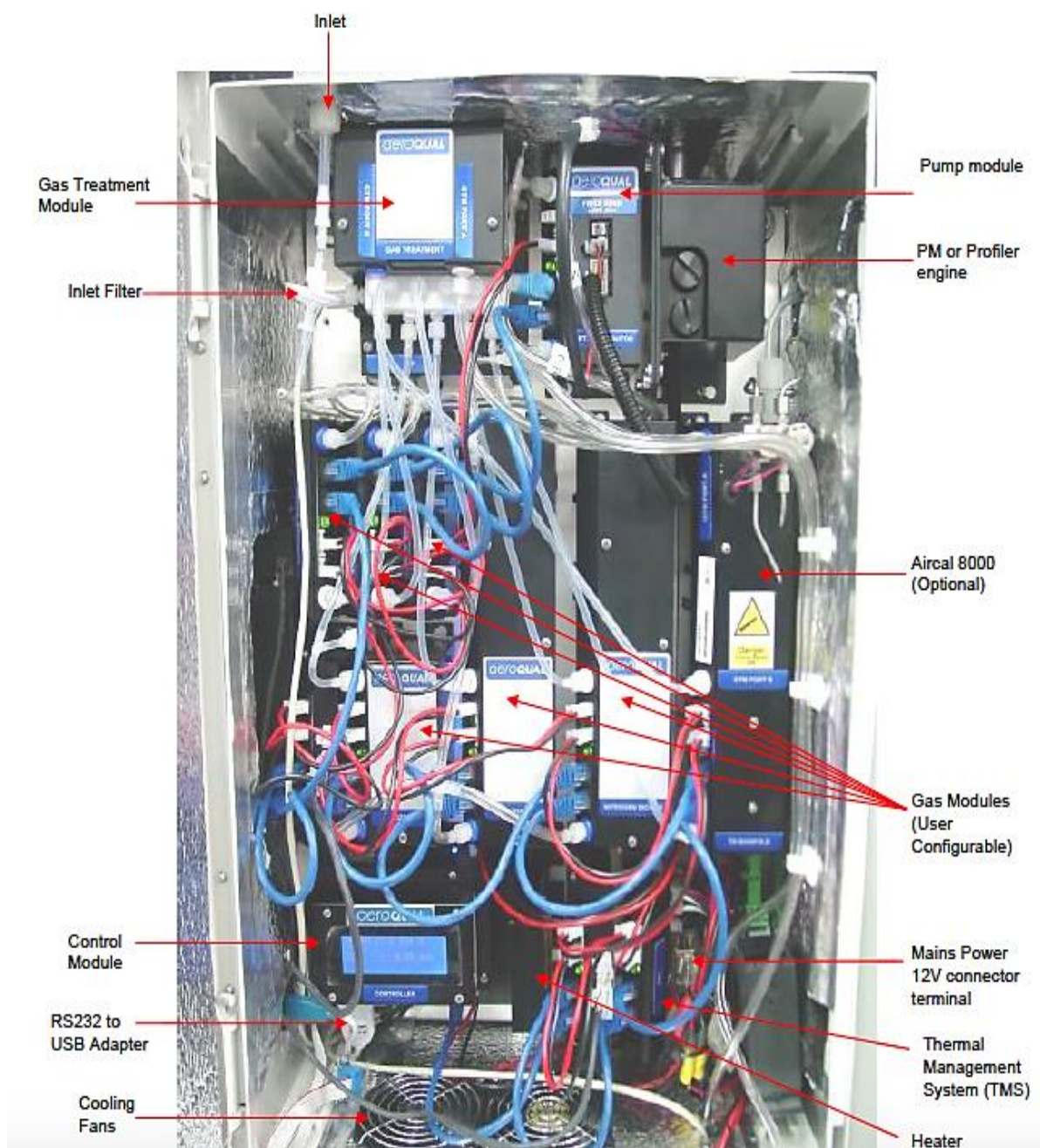
SMA. (2019). *Red de Monitoreo Atmosférico*. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Vargas, S.; Onatra, W.; Osorno, L.; Páez, E.; Sáenz, O. (2008). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y EFECTOS RESPIRATORIOS EN NIÑOS, EN MUJERES EMBARAZADAS Y EN ADULTOS MAYORES*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v11n1/v11n1a06.pdf>

XLSTAT. (2017). *Análisis de Componentes Principales (ACP)*.

XLSTAT. (2017). *Análisis de Componentes Principales en Excel*.

7. ANEXOS



Anexo 1. Muestreador de monitoreo para la calidad del aire AQM60 (AEROQUAL, 2018).

Tabla 8. Sensores presentes en el muestreador y algunas especificaciones técnicas de los mismos (AEROQUAL, 2018).

Modulo del Gas	Principio de detección	de	Rango	Límite mínimo de detección	Precisión	Resolución
Ozono	Semiconductor Sensible a Gas (GSS)		0-0.15 ppm	0.001 ppm	0.002 ppm	0.001 ppm
Dióxido de nitrógeno	GSS		0-0.2 ppm	0.001 ppm	0.005 ppm	0.001 ppm
Óxidos de nitrógeno	GSS		0-0.5 ppm	0.001 ppm	0.005 ppm	0.001 ppm
Monóxido de carbono	Infrarrojo dispersivo	no	0-25 ppm	< 0.04 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm
Dióxido de Carbono	GSS		0-2000 ppm	< 10 ppm	10 ppm	1 ppm
Dióxido de azufre	GSS		0-10 ppm	< 0.03 ppm	0.05 ppm	0.01 ppm

Anexo 2. Sensores presentes en el muestreador y algunas especificaciones técnicas de los mismos.

Tabla 9. Calibración en diferentes meses del muestreador.

Sensores	Mes					
	<i>Marzo</i>		<i>Mayo</i>		<i>Junio</i>	
	<i>Ganancia</i>	<i>Offset</i>	<i>Ganancia</i>	<i>Offset</i>	<i>Ganancia</i>	<i>Offset</i>
O₃	1,000	0,004	1,000	0,004	1,000	0,004
CO	1,380	-0,03	1,380	-0,03	1,440	0,16
NO₂	1,000	0,000	1,000	0,000	0,900	0,000
SO₂	1,610	-0,04	1,610	-0,04	1,550	-0,07
CO₂	1,000	19	1,000	19	1,000	19
PM	1,000	0,00	1,000	-46,36	1,000	-0,84
WS	1,000	0,00	1,000	0,00	1,000	0,00
WD	1,000	0,0	1,000	0,0	1,000	0,0
ITEMP	1,000	0,0	1,000	0,0	1,000	0,0
TEMP	1,000	0,00	1,000	0,00	1,000	0,00
RH	1,000	0,0	1,000	0,0	1,000	0,0

Anexo 3. Calibración del Monitor AQM60 en diferentes meses.

```
remove(list=ls()) #remueve todo#
setwd( "C:/Escritorio/TESIS/punto3/ ")
data <- read.csv("crosscorrelacion escuela sucre.csv")
head(data)
summary (data)
cor(data)
cor(data, method="spearman")
#crosscorrelaciones entre parametros iguales medidos por puce y sma#
ccf1 <- ccf(data$Promedio_O3.ppm.,data$O3_ppm,lag=24)
ccf1
```

Anexo 4. Ejemplo de programación en R Studio para crosscorrelation.

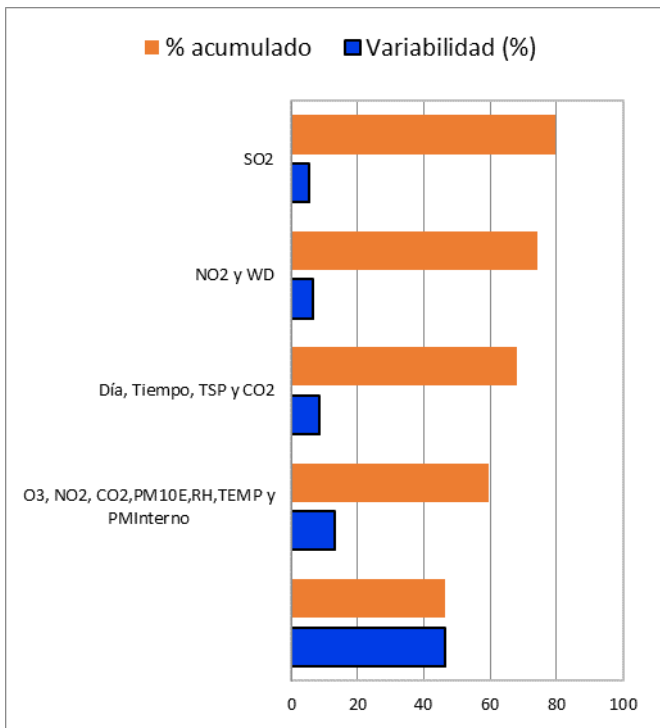


Figura 69. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 1.

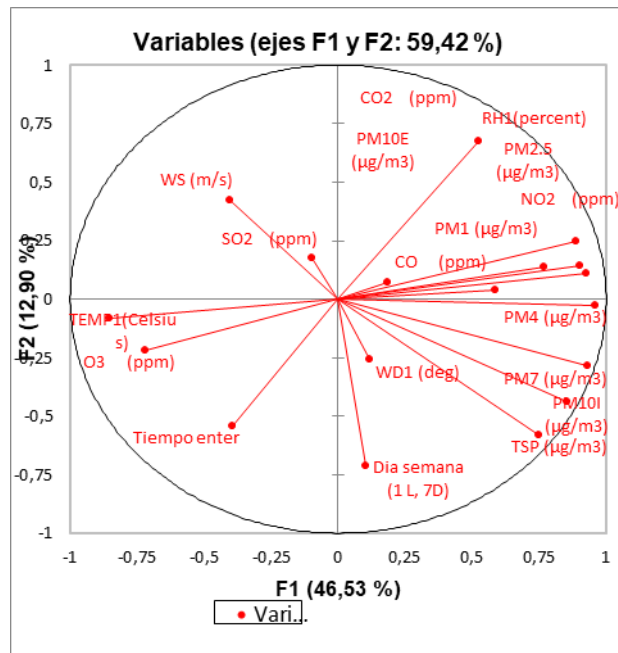


Figura 70. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 1.

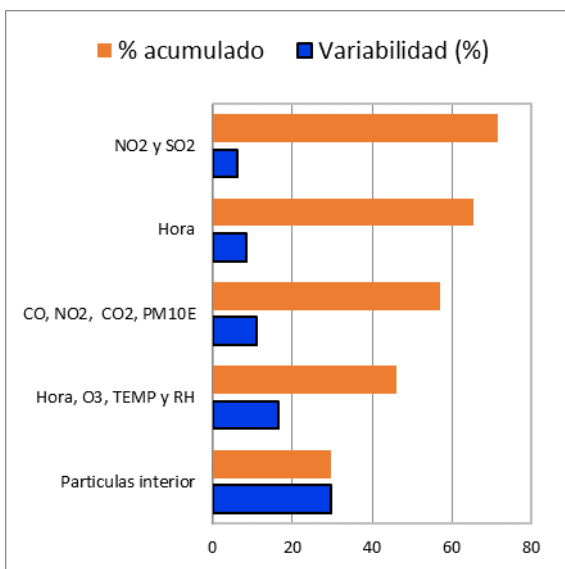


Figura 71. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 2.

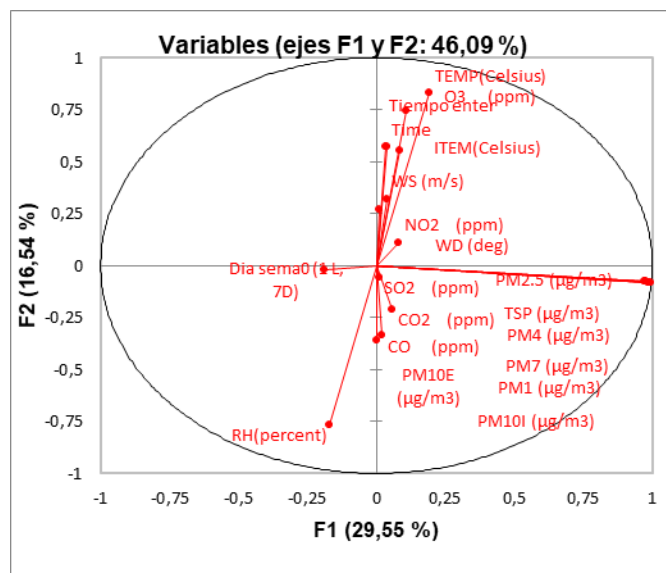


Figura 72. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 2.

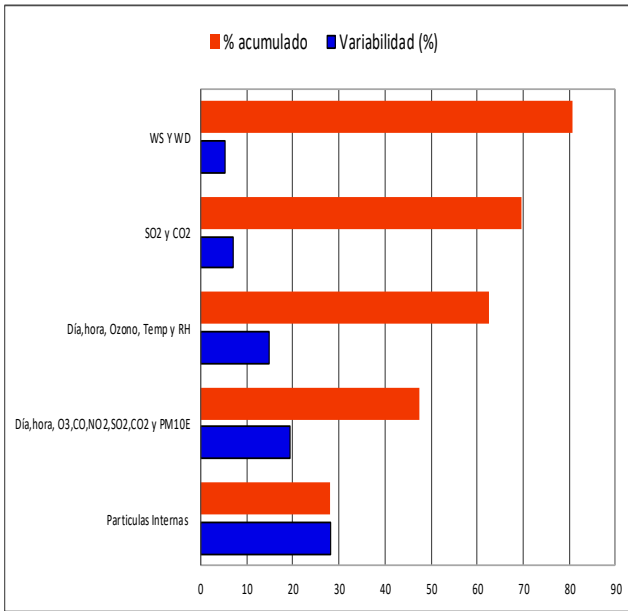


Figura 73. Contribución de componentes principales en el punto 3.

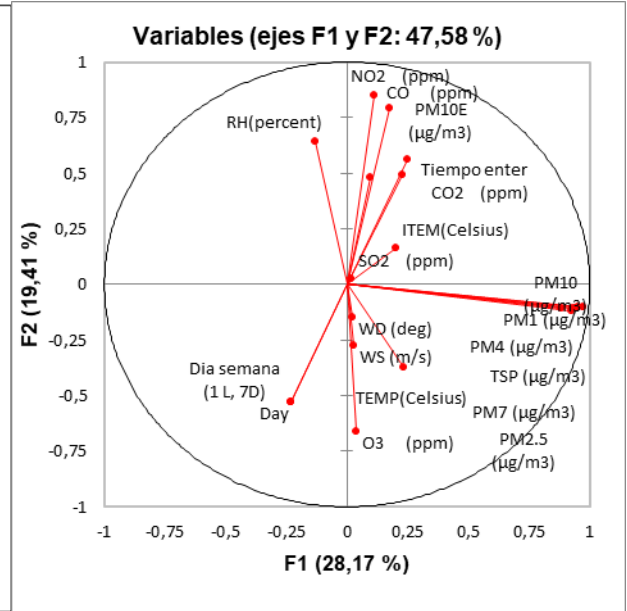


Figura 74. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 3.

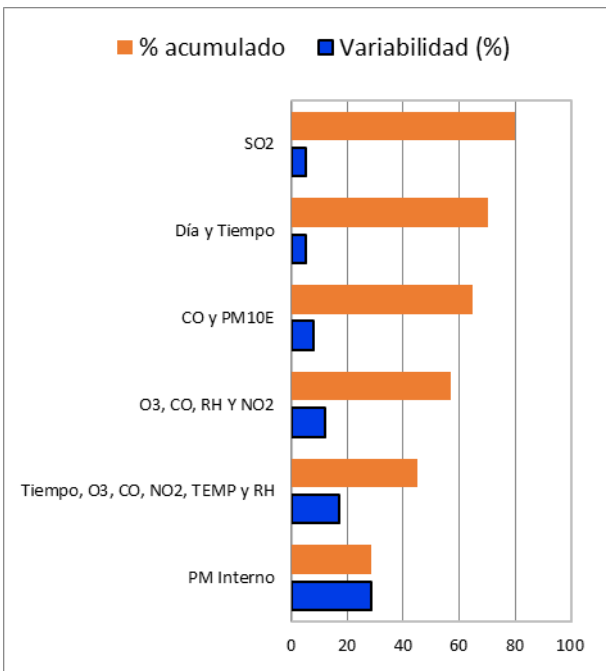


Figura 75. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 4.

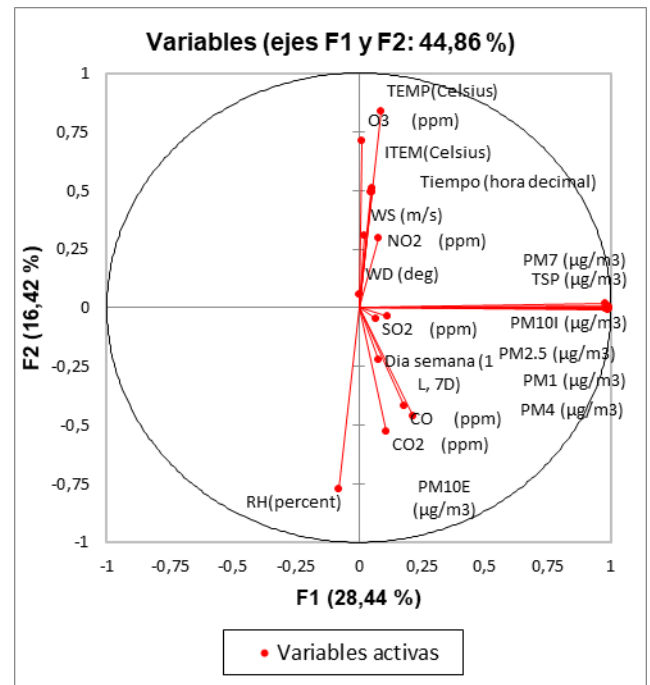


Figura 76. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 4.

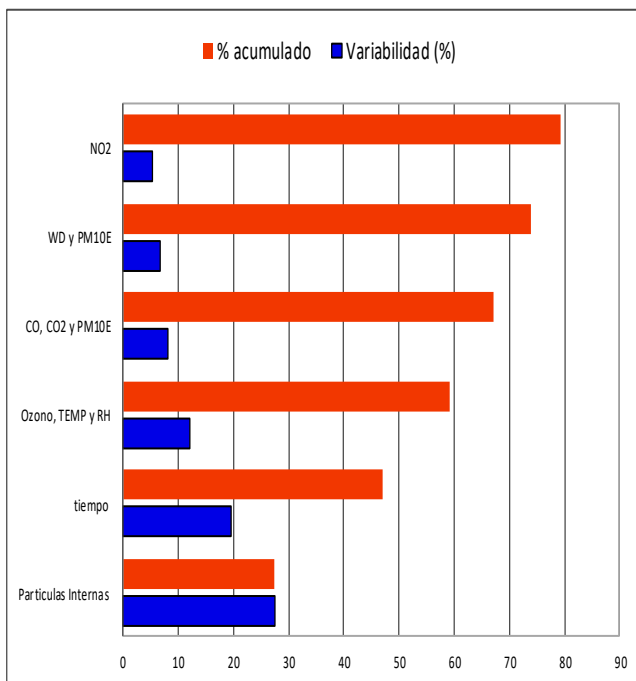


Figura 77. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 5.

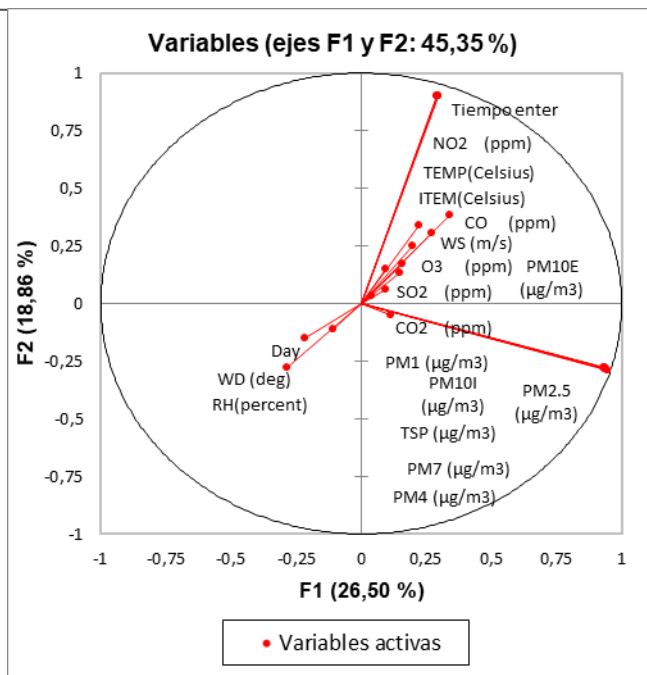


Figura 78. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 5.

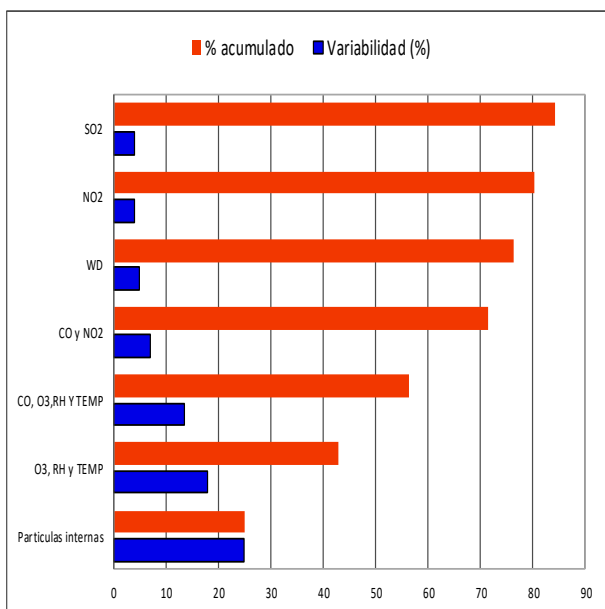


Figura 79. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 6.

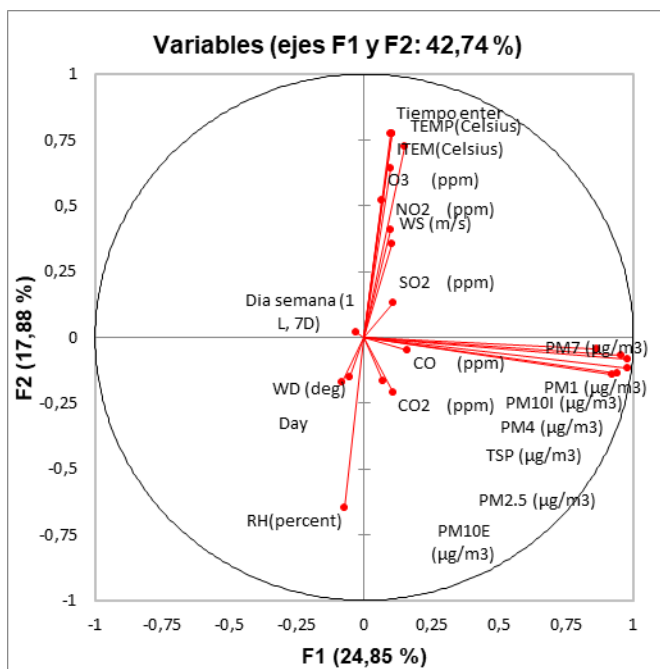


Figura 80. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 6.

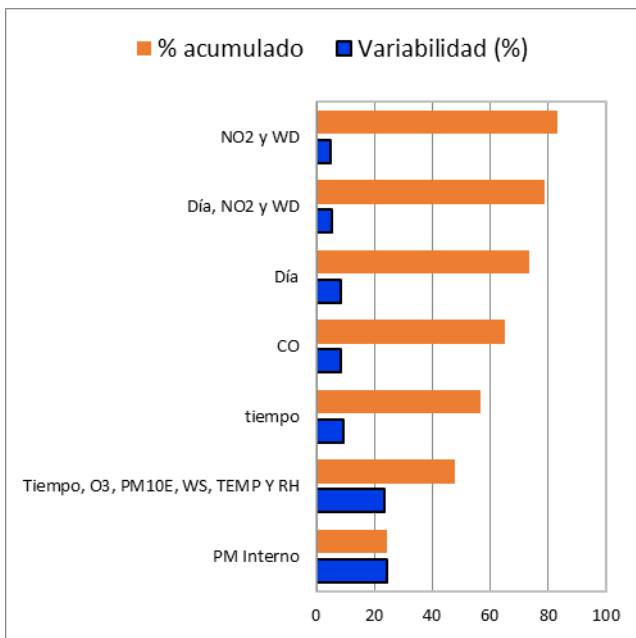


Figura 81. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 7.

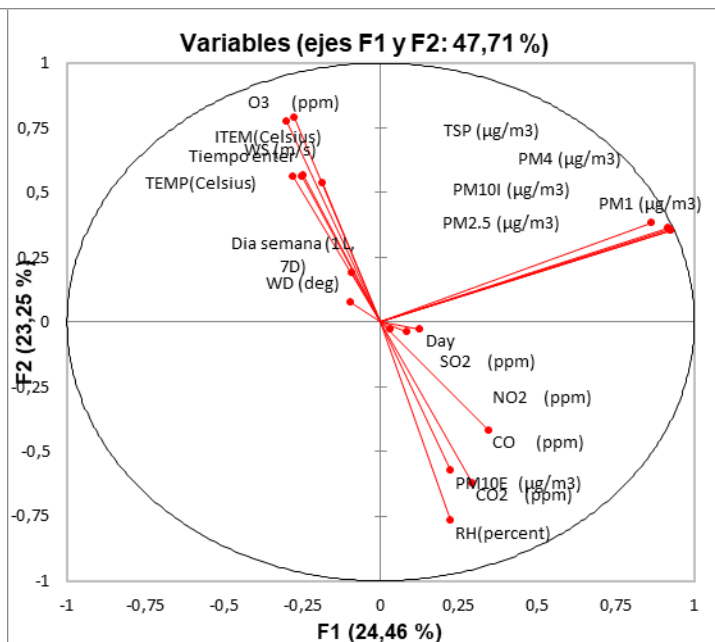


Figura 82. Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 7.

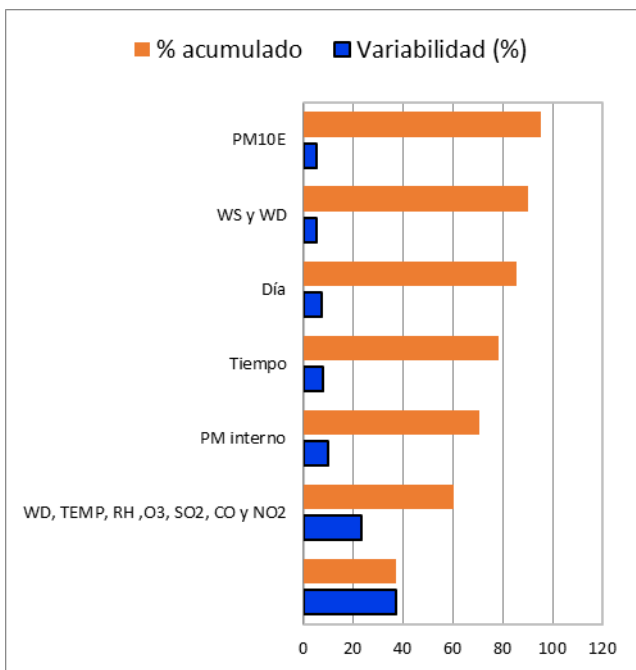


Figura 83. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 8.

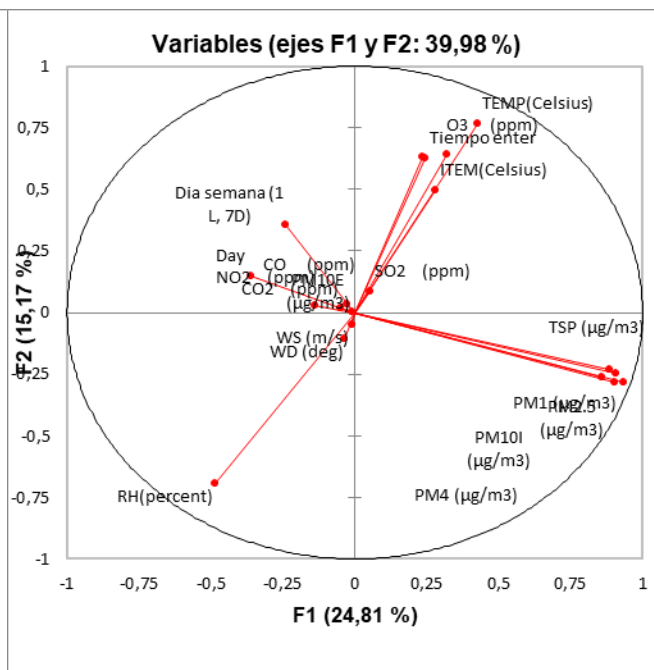


Figura 84. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 8.

Anexo 5 Gráficas del análisis de Componentes Principales.

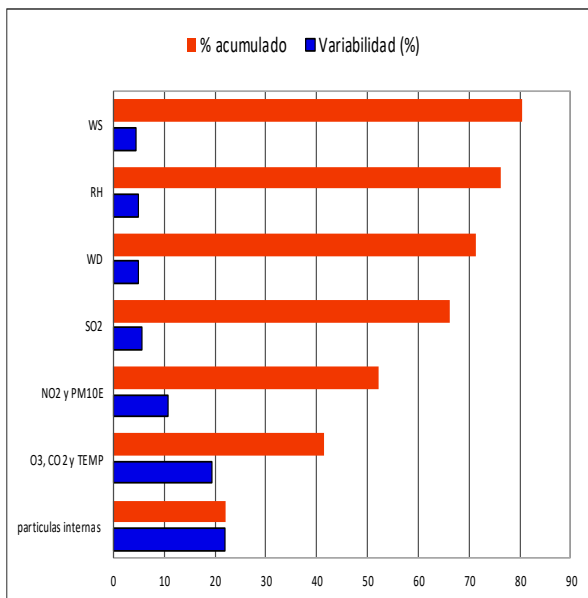


Figura 85. Contribución de componentes principales a la variabilidad de los datos en el punto 9.

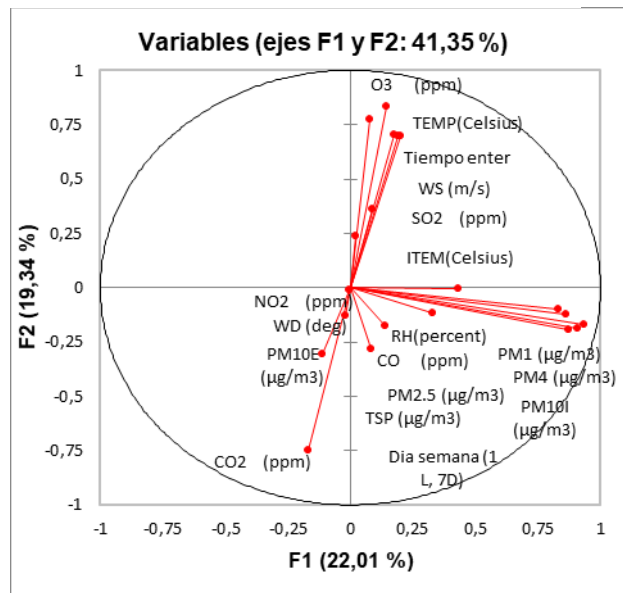


Figura 87 Circulo de correlación del análisis de componentes principales en el punto 9.

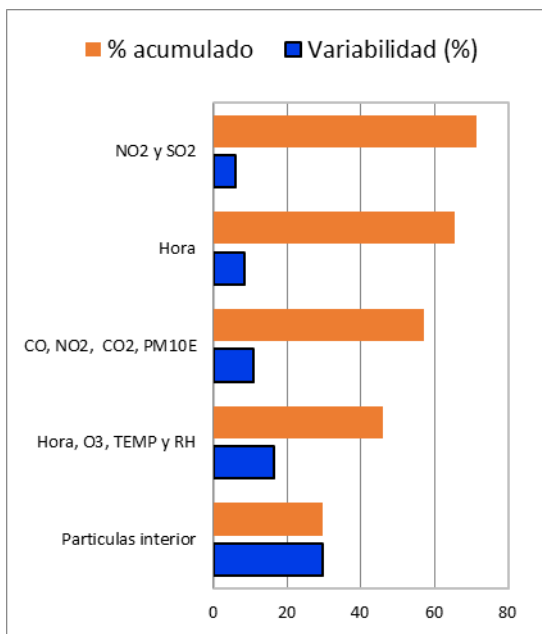


Figura 86. Contribución de componentes principales a la variabilidad en el punto 10.

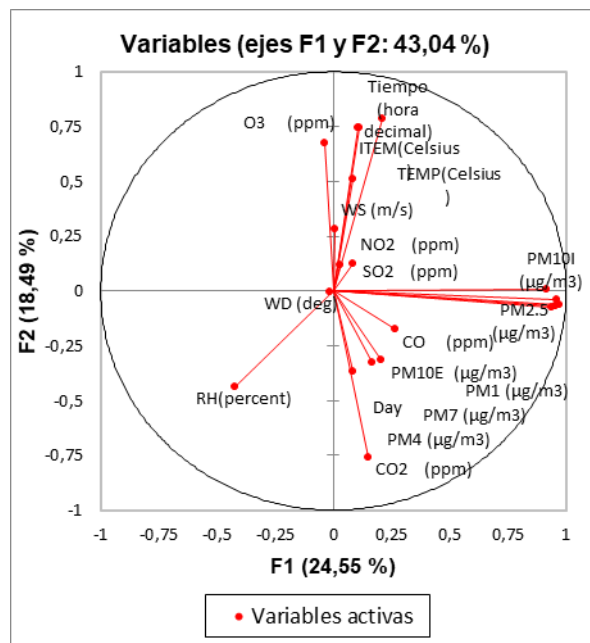


Figura 88. Circulo de correlación del análisis de componentes principales e el punto 10.

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Carolina Cecibell Puertas De la cruz con c.i 1726479189, autor del trabajo de disertación titulado: “Determinación de la concentración de contaminantes del aire a filo de calle en el Centro Histórico de Quito y el Valle de los Chillos”, previo a la obtención del grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENECYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorización a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 29 de abril del 2019

Srta. Carolina Cecibell Puertas De la cruz
C.I. 1726479189

