



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE MONITOREADO CON SENSORES PASIVOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Laura Susana Cocha Telenchana¹
Nelly Patricia Perugachi Cahueñas²
Arquímides Xavier Haro Velasteguí^{3,4}

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Laura Susana Cocha Telenchana, Nelly Patricia Perugachi Cahueñas y Arquímides Xavier Haro Velasteguí (2018): "Análisis estadístico de gases contaminantes del aire monitoreado con sensores pasivos en la ciudad de Riobamba", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (octubre 2018). En línea

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/10/gases-contaminantes-aire.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/10/gases-contaminantes-aire.html)

Resumen

La contaminación del aire es un problema que preocupa a la humanidad, en este trabajo se realiza un análisis estadístico de la calidad del aire de la zona urbana de la ciudad de Riobamba usando sensores pasivos, de los gases dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, (BTEX) y ozono (O₃), en los años 2008 al 2016 en tres estaciones existentes, con la finalidad de plantear alternativas de prevención y control de la calidad del aire, sin incurrir a altos costos o sistemas de monitoreo complejos, que permitan mejorar la calidad del aire, obteniendo como resultados del análisis que el promedio de SO₂, NO₂, tolueno, xileno y etilbenceno en todos los años de monitoreo no registra un índice mayor al establecido en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, ni supera los estándares establecidos en las Guías de la Organización Mundial para la Salud, en el caso del Benceno, se registró los máximos valores en el año 2009, con una concentración de 6,86 µg/m³ en la estación R-Norte-AME (noroeste de la ciudad) y de 8,36 µg/m³, en la estación R-Sur-EMAPAR (sureste de la ciudad) la más alta del período de monitoreo, superando la norma que establece la legislación Ecuatoriana que es de 5 µg/m³.

Palabras claves. Calidad del aire, contaminantes atmosféricos, sensores pasivos, red de monitoreo.

Abstract

1. Maestría en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental, Universidad Técnica de Ambato, laurasusan_c@yahoo.es.
2. Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ingeniera Ambiental, MsC en Matemática nperugachii@yahoo.com.
3. Docente Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, PhD, arquimidesharo@yahoo.es.
4. Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, PhD, arquimidesharo@yahoo.es.

The Air pollution is a problem that worries humanity, in this work a statistical analysis of the air quality of the urban area of the Riobamba city using passive sensors is made of the gases sulfur dioxide (SO₂), dioxide nitrogen (NO₂), benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, (BTEX) and ozone (O₃), in 2008 to 2016 in three existing stations, in order to propose alternatives for prevention and control of air quality, without incurring high costs or complex monitoring systems, which allow to improve air quality, obtaining as a result of the analysis that the average of SO₂, NO₂, toluene, xylene and ethylbenzene in all years of monitoring does not register an index higher than the established in the Ecuadorian Standard of Air Quality, nor exceeds the standards established in the Guidelines of the World Health Organization, in the case of Benzene, the maximum values were recorded in 2009, with concentration of 6.86 µg / m³ in the R-North-AME station (northwest of the city) and 8.36 µg / m³, in the R-South-EMAPAR station (southeast of the city) the highest of the period of monitoring, surpassing the norm that establishes the Ecuadorian legislation that is of 5 µg / m³.

Key Words. Air quality, atmospheric pollutants, passive sensors, monitoring network.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es la presencia en el ambiente de agentes físico, químico, biológico o de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Chile, Instituto de Salud Pública de Chile, 2016).

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Siempre ha existido contaminación atmosférica de origen natural, por erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arena, descomposición de la materia orgánica o polen (Aránquez et al, 1999).

La contaminación del aire representa un importante riesgo ambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. Cuantos más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo (Salud O. M., Organización Mundial de la Salud, 2016).

La Organización Panamericana de la Salud manifiesta que la Calidad del Aire se está deteriorando en varias ciudades del mundo “Datos de las Américas sugieren que el 95% de los residentes en áreas urbanas de países de bajos y medianos recursos estarían expuestos a contaminación del aire que excede los niveles señalados por la OMS” (Salud O. P., 2014).

La calidad del aire en la mayoría de las ciudades del mundo que monitorean su contaminación atmosférica no alcanzan los niveles de seguridad señalados por los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que pone a las personas ante un riesgo adicional de enfermedades respiratorias y otros problemas de salud (Salud O. P., 2014).

La base de datos sobre la calidad del aire de la OMS cubre a 1600 ciudades a lo largo de 91 países y revela que más ciudades en el mundo están monitoreando la calidad del aire, lo cual refleja un reconocimiento creciente de los riesgos para la salud de la contaminación atmosférica. Sólo el 12% de las personas que viven en ciudades que reportan sobre la calidad del aire, residen en ciudades que cumplen con los niveles aceptados por las Directrices de la OMS sobre Calidad del Aire. Cerca de la mitad de la población urbana que está siendo monitoreada está expuesta a contaminación atmosférica que es al menos 2,5 veces más alta que los niveles recomendados por la OMS, lo cual supone un riesgo adicional y a largo plazo para su salud (Salud O. M., Organización Mundial de la Salud, 2016).

En Ecuador las primeras normas de calidad del aire se expidieron en 1980, el 2003 se incluyeron los límites de emisiones y desde el mismo año se implementó una norma ambiental en la cual se regula los parámetros de calidad del aire y emisiones. Ecuador empezó a medir la calidad de su aire, como parte de Panair, una red promovida por la Organización Panamericana de la Salud, Quito estableció una red de monitoreo en el 2003 con Corpaire. En Cuenca como Cuencaire con el objetivo de poner en marcha un sistema de revisión vehicular (Cocha, 2017).

La gestión de la calidad del aire en el país tiene como referente la ciudad de Quito, como resultado de la problemática de la contaminación en la ciudad. La red de monitoreo dispone de información validada mediante respaldo procedimental y documental, compuesta por seis subsistemas que registran la concentración de los contaminantes del aire, las principales variables meteorológicas y ruido ambiental (Páez, 2008).

En Riobamba, el GAD Municipal de la ciudad en colaboración con varias instituciones ha emprendido estudios relacionados con el medio ambiente, así, en convenio interinstitucional entre la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Universidad Nacional de Chimborazo y el Parque Industrial Riobamba, en el año de 1999 emprendieron un estudio de difusión de contaminantes aéreos en el Parque Industrial Riobamba (Haro 2016 et al, Cocha 2017, Perugachi 2018 et al).

Desde el año 2008 se realiza el monitoreo de algunos contaminantes atmosféricos como son SO₂, NO₂ y BTEX en convenio con la Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, cuyos resultados se realiza un análisis estadístico y compara mediante análisis de varianza los niveles medido de concentración de contaminantes respecto a las normas nacionales, para ver el nivel de significancia de las muestras y su potencial efecto en el medio (Páez, 2008).

2. Metodología

2.1. Monitoreo atmosférico

Monitoreo atmosférico son las metodologías para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

El monitoreo de la calidad del aire es importante porque permite: a) formular los estándares de calidad de aire, b) llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, c) especificar tipos y fuentes emisoras, d) llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, y e) desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire, se requiere de una base de datos que aporte información para la realización de todos estos estudios la cual se genera a partir del monitoreo atmosférico (Andrés D. 1997) .

Debido a la heterogénea distribución de las fuentes de emisión dentro de un área de interés, y la influencia de las variables meteorológicas y los procesos fotoquímicos en la concentración de los contaminantes en la atmósfera, la tarea de generar información objetiva y confiable sobre la calidad del aire se presenta bastante compleja, por lo que se requiere de una estrategia de monitoreo.

Para investigar la presencia de una sustancia contaminante en la atmosfera existen variadas formas técnicas de monitoreo de aire cada una con sus ventajas y desventajas en función de sus costos de instalación y mantenimiento, de su operatividad, de personal y grado de capacitación para el mismo (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

Las metodologías para muestreo dentro del monitoreo atmosférico pueden ser divididas en cinco tipos: muestreadores pasivos, activos, analizadores automáticos en línea, sensores remotos y bioindicadores.

2.2. Monitoreo con sensores pasivos

Los sistemas de monitoreo pasivo se basan en la absorción del contaminante sobre un sustrato específico que retenga a la sustancia que se quiere analizar. Luego de la exposición las muestras son llevadas al laboratorio donde se adsorbe la sustancia y se analiza cuantitativamente. Los muestreadores se basan en la difusión de los contaminantes del aire en un medio absorbente. La fuerza impulsora es el gradiente entre el aire circundante y la superficie de absorción de la concentración del contaminante es cero.

Debido a su bajo costo inicial operativo, pueden instalarse un número significativo de muestreadores y obtenerse una importante información sobre la distribución espacial y geográfica del contaminante (Centro de Recursos Ambientales de Navarra (CRANA), 2016).

Los contaminantes presentes en el aire son determinados por análisis utilizando técnicas estándares tales como espectrofotometría, cromatografía gaseosa o cromatografía iónica. La fuerza impulsora es un gradiente entre el aire circundante y la superficie de absorción, donde la concentración del contaminante es cero (González Ramírez C., 2011).

Este movimiento se puede expresar por la ley de Fick donde el diámetro, largo del tubo y coeficiente de difusión son constantes para un sistema de muestreo y expresan cantidad relativa de muestreo del muestreo pasivo. Son sistemas simples, sobre todo en la toma de muestra. Necesitan de un laboratorio químico.



Figura 1. Muestreadores Pasivos, Tubo de O_3 y de SO_2 y NO_2 Estos muestreadores tienen un costo inicial muy bajo, dependiendo de los sustratos de absorción específicos para cada contaminante.

El muestreador pasivo provee los datos de calidad de aire de resolución geográfica, mientras que los otros instrumentos ofrecen información relacionada con el tiempo, como variaciones diurnas de la concentración y sus picos. Estudios de este tipo pueden ser económicamente muy convenientes y un ejemplo de ellos es el uso de muestreadores de tubo de difusión para coleccionar NO_2 , en el barrido de áreas y selección de sitios de monitoreo en varios países europeos (Páez Pérez, 2008).

3. RESULTADOS

3.1. Descripción general de la zona

Los datos como coordenadas geográficas, orografía, red vial son recogidos del Instituto Geográfico Militar (Susana Cocha, 2017).

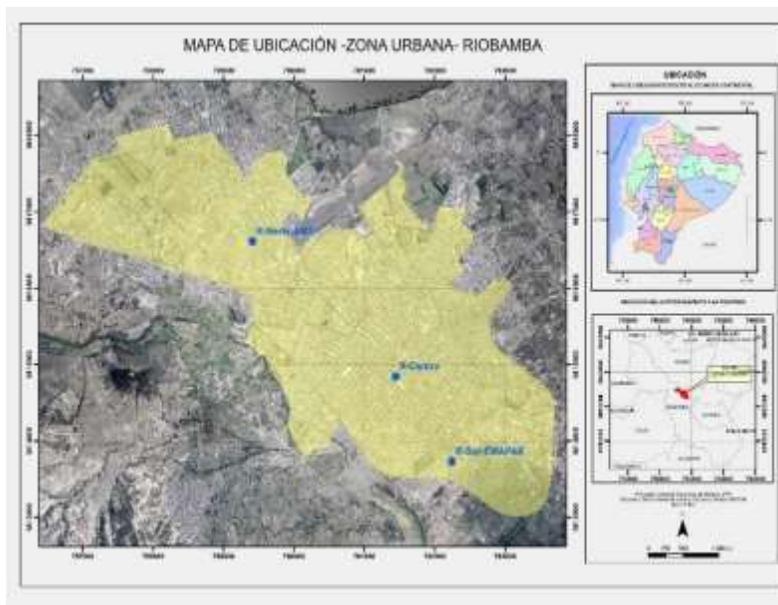


Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio y localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, (R-Norte AME, R-Centro y R-Sur-EMAPAR) (Susana Cocha 2017)

Como se observa en la Figura 2, actualmente existen tres estaciones de monitoreo ubicados en el área urbana de norte a sur de la ciudad, codificados como: R-Norte-AME; R-Centro y R-Sur-EMAPAR.

Mensualmente se obtiene una concentración de los gases dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno por medio del método de monitoreo pasivo. Los sitios de ubicación y el equipo de monitoreo que se encuentra en cada estación son observados en las Figuras 3,4,5.



Figura 3. Estación R-Norte-AME

En la Figura 3, se observa el equipo de monitoreo pasivo en la estación R-Norte-AME, el cual se encuentra ubicado al noroeste de la zona de estudio, en la terraza de una vivienda, en la calle: Canónigo Ramos. Las coordenadas UTM (+3m) son: 759408E; 9816613N. A una altura: 2807 msnm. Este sector es una zona de alto tráfico vehicular y densidad poblacional.



Figura 4. Estación R-Sur EMAPAR y R-Centro

En la Figura 4, se observa el equipo de monitoreo pasivo en la estación R-Centro, el cual se encuentra ubicado en el centro de la zona de estudio, en la terraza del Mercado Mariano Borja Colón, entre las calles: Guayaquil y Cristóbal Colón. Las coordenadas UTM (+-3m) son: 761445E; 9814846N. A una altura: 2765 msnm. Se caracteriza por su amplio desarrollo comercial de diversos tipos, entre las cuales están servicios artesanales, de vivienda, entre otros y de tráfico vehicular.



Figura 5. R-Sur-EMAPAR

En la Figura 5, se observa el equipo de monitoreo pasivo en la estación R-Sur-EMAPAR, el cual se encuentra ubicado al sureste de la zona de estudio, en la terraza de una vivienda, entre las calles: Félix Proaño y Londres. Las coordenadas UTM (+3m) son: 762244E; 9813731N. A una altura: 2761 msnm. Este sector es de alta densidad poblacional, ubicado el Hospital Regional y afluencia vehicular

Con el fin de facilitar la comprensión del análisis de los datos obtenidos en las estaciones pasivas se debe mencionar que existe dos periodos de monitoreo debido a que entre el año 2011 a 2013 no se cuenta con los datos del muestreo, esto se debe a que no se gestionó y coordinó adecuadamente esta actividad entre las instituciones involucradas.

3.2. Análisis de datos de dióxido de azufre (SO₂).

Para el análisis se tiene presente que el dióxido de azufre se descarga a la atmósfera principalmente de las emisiones de industria, fuentes móviles y por las emisiones de los volcanes activos.

Estación R-Norte-AME (Noroeste de la ciudad).

La variación de los niveles de contaminación de dióxido de azufre (SO₂) en este punto de monitoreo se muestra en la Figura 6.

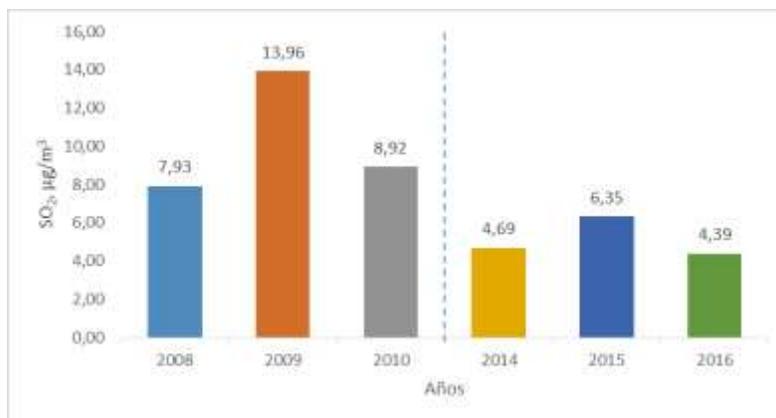


Figura.6. Promedio anual de dióxido de azufre (SO₂) µg/m³ en R-Norte-AME

Se puede observar en la Figura 6 el valor más alto de dióxido de azufre (SO₂) en la estación R-Norte-AME, que se registró en el año 2009 con un valor de 13,96 µg/m³, y en el año 2016 un valor de 4,39 µg/m³ el cual es el más bajo de todo el periodo de monitoreo registrado.

Al efectuar el análisis y al dividir los valores en dos periodos se observa que en el primero (2008-2010) las concentraciones son mayores que las que se registran en el segundo periodo (2014-2016).

Los datos anteriores pueden obedecer a que en el año 2009 la ciudad se vio afectada por episodios de erupción del volcán Tungurahua, que se manifestó a lo largo del año, con mayor intensidad desde Enero a Junio, se toma como referencia la información publicada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en los boletines especiales del volcán Tungurahua No. 01 de enero y el No. 05 de septiembre del 2009.

Estación R-Centro (Centro de la ciudad)

Los niveles de concentración de dióxido de azufre (SO₂), se muestra en la siguiente figura.

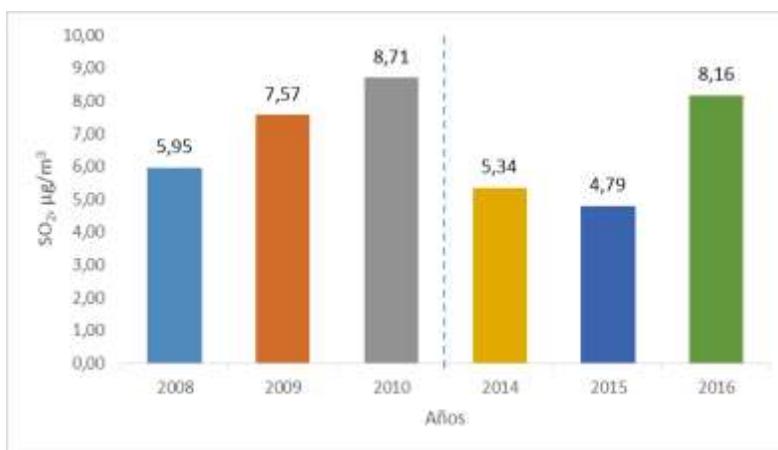


Figura 7. Promedio anual de dióxido azufre (SO₂) µg/m³ en R-Centro.

Se observa en la Figura 7, que el año 2010, en la Estación R-Centro, se registra una mayor concentración del contaminante dióxido de azufre (SO₂) que equivale a 8,71 µg/m³; seguido de 8,16 µg/m³ en el año 2016.

Los valores más altos se registraron en el 2010, este fenómeno puede ser a causa de que en ese año la circulación vehicular en esta zona fue alterada por instalaciones de nuevas redes de agua potable por los alrededores del centro de la ciudad, proyecto ejecutado por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP EMAPAR).

Se menciona además que la contaminación en el primer periodo (2008-2010) es mayor que el segundo (2014-2016), la disminución de la contaminación en el en el segundo período puede ser producto del combustible de mejor calidad, esto se puede manifestar en base a la información publicada por el Ministerio de Hidrocarburos.

Estación R-Sur-EMAPAR (Sureste de la Ciudad)

Los niveles de concentración en este sector se presentan a continuación.

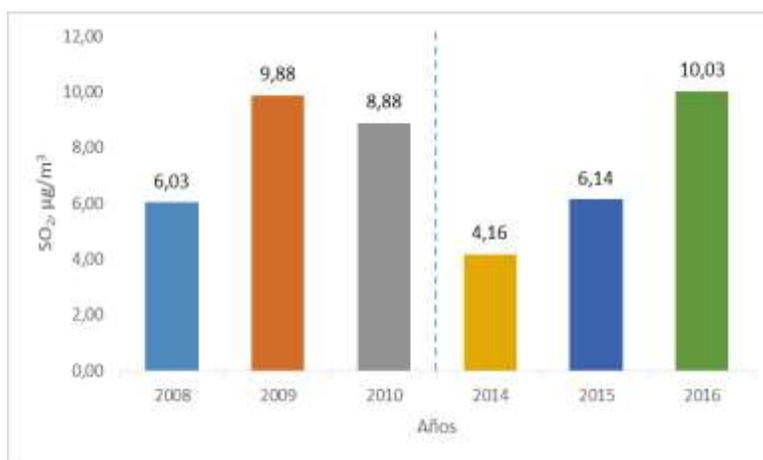


Figura 8. Promedio anual de dióxido de azufre (SO₂) µg/m³ en R-Sur-EMAPAR.

En la Figura 8, se observa que en la Estación R-Sur-EMAPAR, el parámetro dióxido de azufre (SO₂), registró un promedio de 10,03 µg/m³ en el año 2016, el más alto del período de monitoreo.

La concentración que se obtiene en el año 2016, puede estar influenciada por la actividad eruptiva del volcán Tungurahua, que se manifestó con más intensidad a inicios del año (Instituto Geofísico, 2016). Y por la instalación del muestreador en otro sitio.

Comparación de las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂), con la Norma y Guías de la OMS

Para conocer si existe violación de Norma se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de SO₂ (µg/m³) con la Norma y Guías de la OMS

AÑO	R-Norte- AME	R- Centro	R-Sur- EMAPAR	TULSMA	OMS	EXECEDE LOS LIMITES
2008	7,93	5,95	6,03	60	50	NO
2009	13,96	7,57	9,88	60	50	NO
2010	8,92	8,71	8,88	60	50	NO
2014	4,69	5,34	4,16	60	50	NO
2015	6,35	4,79	6,14	60	50	NO

2016	4,39	8,16	10,03	60	50	NO
-------------	------	------	-------	----	----	----

Nota: Comparación de las concentraciones de dióxido de azufre anual y por estación con Normas y Guías de Calidad del Aire (Cocha, 2017, Ministerio del Ambiente 2012).

Como se observa en la Tabla 1., los niveles más altos de contaminación obtenidos, se señala de la siguiente manera: 13,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que se registró en el año 2009 en la estación R-Norte-Ame, y en el año 2016 con un promedio de 10, 03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en la Estación R-Sur-EMAPAR, estos son los valores más alto de todo el tiempo de monitoreo.

El promedio de SO_2 en todos los años de monitoreo en las estaciones Norte, Centro y Sur de la zona urbana de la ciudad de Riobamba no registra un índice mayor al establecido en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, ni supera los estándares establecidos en las Guías de la Organización Mundial para la Salud.

Según los datos del segundo periodo de monitoreo los niveles de concentración de este gas disminuyen en comparación a los valores registrados en el primer período, posiblemente por influencia de los episodios de erupción del Volcán Tungurahua que se manifestaron (Boletines especiales del volcán Tungurahua No. 01 de enero y el No. 05 de septiembre del 2009, publicados por el Instituto Geofísico).

Otra razón puede ser, por el uso de combustible que se comercializa, de mejor calidad es decir de mayor octanaje a partir del año 2012, en este año se anunció una mejora en la calidad de la gasolina extra de 81 a 87 octanos, mientras que la súper pasaba de 90 a 92 octanos (Ministerio de Hidrocarburos).

3.3. Análisis de concentración de nitrógeno (NO_2)

Para efectuar el análisis se toma como referencia las principales fuentes de emisión se producen en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles.

Estación R-Norte-AME (Noroeste de la ciudad).

Las concentraciones registradas en esta estación se muestran en la Figura 9.

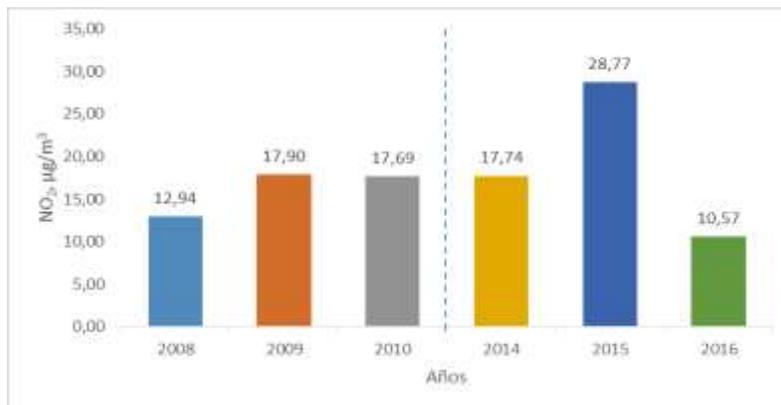


Figura 9. Promedio anual de dióxido de nitrógeno (NO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en R-Norte-AME

En la Figura 9, se observa que en la estación R-Norte- AME el dióxido de nitrógeno (NO_2) presenta un incremento en el año 2015 con un promedio anual de 28,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor es el más alto de todo el período de monitoreo en esta estación

Considerando la fuente principal de emisión de este gas y al relacionar con la del dióxido de azufre, la principal fuente de emisión de estos es la de los tubos de escape de los vehículos, que para el año 2015 los dos contaminantes presentan una elevación en la concentración, lo que permite

indicar que una de las causas de este incremento puede ser el aumento de la circulación de todo tipo de vehículo por las vías cercanas a la estación de monitoreo. Se menciona también que en este sector la Av. Lizarzaburu vía principal de descongestionamiento hacia el norte de la ciudad se vio alterada por la rehabilitación de esta y la construcción del paso a desnivel, que en ese mismo año fue inaugurado, estas obras se encuentran dentro del proyecto de rehabilitación de vías de la ciudad de Riobamba, de longitud 22 km, que realizo del Ministerio de Transporte y Obras públicas.

Estación R-Centro (Centro de la ciudad).

Los niveles de concentración de dióxido de azufre (NO_2), se muestra en la siguiente figura.

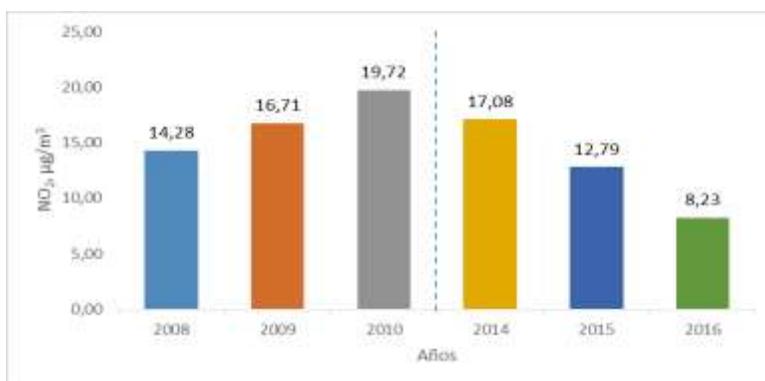


Figura 10. Promedio anual de dióxido de nitrógeno (NO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en R-Centro

En la Figura 10, en la estación R-Centro para el año 2016 se observa una disminución de este contaminante comparado con los demás años de monitoreo, el mayor valor registrado es de 19,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2010. El segundo periodo de monitoreo registra una disminución de la concentración de este contaminante, llegando al año 2016 con un valor registrado de 8,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estación R-Sur-EMAPAR (Sureste de la Ciudad)

Los niveles de concentración en este sector se presentan a continuación.

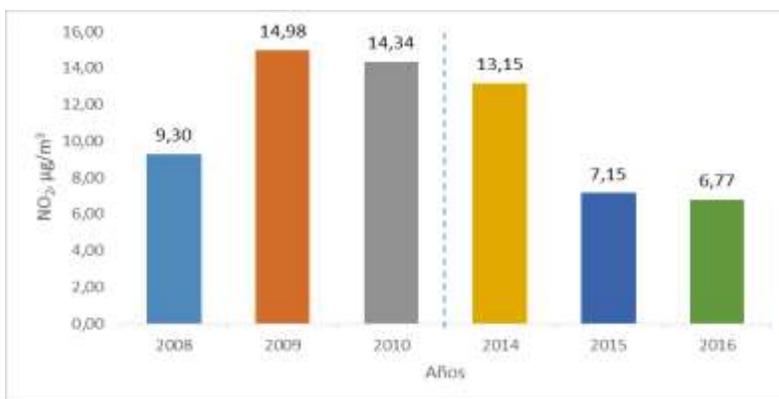


Figura 11. Promedio de dióxido de nitrógeno (NO_2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en R-Sur-EMAPAR

En la Figura 11., se observa que en la estación R-Sur-EMAPAR la contaminación por dióxido de nitrógeno (NO_2), presenta valores promedio máximo de 14,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2009, 14,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 2010 y de 13,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 2014, se tiene una baja para los años 2015 con 7,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 2016 de 6,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Esta tendencia a disminuir la contaminación puede ser a causa de la mejora en la calidad del combustible que se expende en el Estado Ecuatoriano, ya que un combustible de bajo índice de octano se queman más rápido y en forma menos controlada, por lo que se tiene mayor formación de NO_x, (NO, NO₂). Como se menciona anteriormente el Ministerio de Hidrocarburos expende un combustible mejorado desde el año 2012.

Comparación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂), con la Norma y Guías de la OMS.

Para conocer si existe violación de Norma se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de NO₂ (µg/m³) con Norma Nacional y Guía Internacional

AÑO	R-Norte-AME	R-Centro	R-Sur-EMAPAR	NORMA NACIONAL y OMS	EXECEDE LOS LÍMITES
2008	12,94	14,28	9,30	40	NO
2009	17,90	16,71	14,98	40	NO
2010	17,69	19,72	14,34	40	NO
2014	17,74	17,08	13,15	40	NO
2015	28,77	12,79	7,15	40	NO
2016	10,57	8,23	6,77	40	NO

Nota: Comparación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno anual y por estación con Normas y Guía de Calidad del aire (Ministerio del Ambiente, 2012).

La Tabla 2., muestra que en el período de monitoreo (2008-2010), presentan promedios más elevados que el segundo período de monitoreo (2014-2016). En el año 2015 se registra la mayor concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en la estación R-Norte-AME que es de 28,77 µg/m³. Esta estación registra los más altos niveles de NO₂.

El promedio de NO₂ en todos los años de monitoreo en las estaciones Norte, Centro y Sur de la de la zona de estudio, no supera el límite permisible de 40 µg/m³ estipulado en la Norma de Calidad del Aire y en las Guías de la Organización Mundial de la Salud.

3.4. Análisis de las concentraciones del Ozono (O₃)

El ozono troposférico (O₃) se forma por reacciones químicas en el aire entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

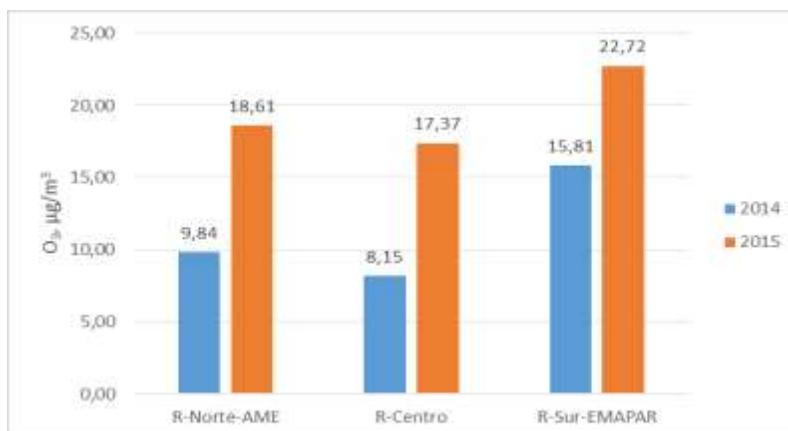


Figura 12. Concentración de Ozono (O₃) µg/m³

Como se observa en la Figura 12., este parámetro registra en el año 2014 un promedio de 11,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en el año 2015 presento una concentración de 19,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración más alta se presentó en la estación R-Sur-EMAPAR con un valor de 22,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2015.

Para este contaminante existe un límite máximo establecido por la Norma de calidad del Aire octohorario que es 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, razón por la cual no se compara con el nivel promedio registrado para este contaminante ya que el valor es mensual. Sin embargo los valores encontrados están muy por debajo del límite máximo permisible octohorario.

3.5. Análisis de las concentraciones del Benceno, Tolueno, Xileno y Etilbenceno

Benceno

Las emisiones se deben principalmente al tráfico vehicular, por autos a gasolina, se produce por la combustión incompleta de los combustibles, el aceite lubricante del motor y adicionalmente por la evaporación de los combustibles del sistema del vehículo, esto ocurre cuando se realiza una conducción alborotada o luego de finalizar la conducción cuando el vehículo está caliente. Otra fuente de emisión es la erupción de volcanes. En la Figura 13., se muestra las concentraciones de benceno.

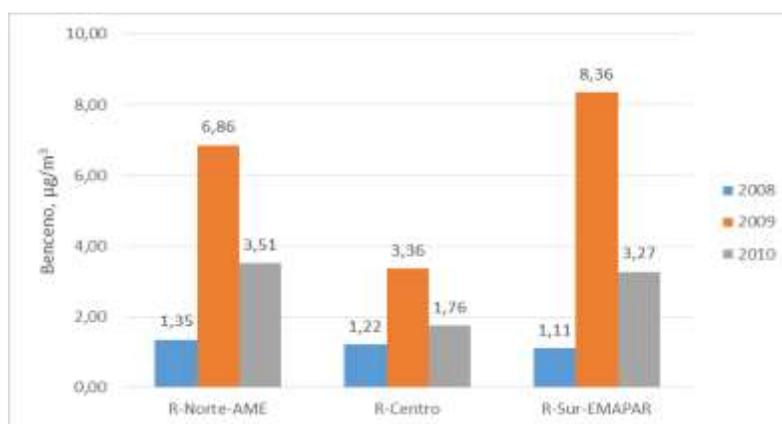


Figura 13. Concentración de Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

En la Figura 13, se observa que los valores con mayores concentraciones de este contaminante en el aire ambiente corresponden al año 2009, con una concentración de 6,86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación R-Norte-AME y de 8,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación R-Sur-EMAPAR la más alta en este período de monitoreo.

Este incremento en las concentraciones puede estar influenciadas por episodios del volcán Tungurahua que se presentó en el año 2009, (Boletines especiales del volcán Tungurahua No. 01 de enero y el No. 05 de septiembre del 2009).

Comparación de las concentraciones de Benceno con la Norma Nacional

Para conocer si existe violación de Norma se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con la Norma Nacional

AÑO	R-Norte-AME	R-Centro	R-Sur-EMAPAR	NORMA ECUATORIANA
2008	1,35	1,22	1,11	5

2009	6,86	3,36	8,36	5
2010	3,51	1,76	3,27	5

Nota: Comparación de las concentraciones de benceno anual y por estación con Normas de calidad del Aire

La Tabla 3., muestra que en el año 2009 se superó el límite permisible en la estación R-Norte-AME con un valor de 6,86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 8,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación R-Sur-EMAPAR. Pudo deberse a las emisiones producidas por el parque automotor ya que en esta zona se registró una mayor concentración tanto de dióxido de azufre como de dióxido de nitrógeno en el mismo año y a las emisiones producidas por la actividad del volcán Tungurahua.

Tolueno

Este contaminante se monitorea desde el año 2008 al 2010, en las tres estaciones.

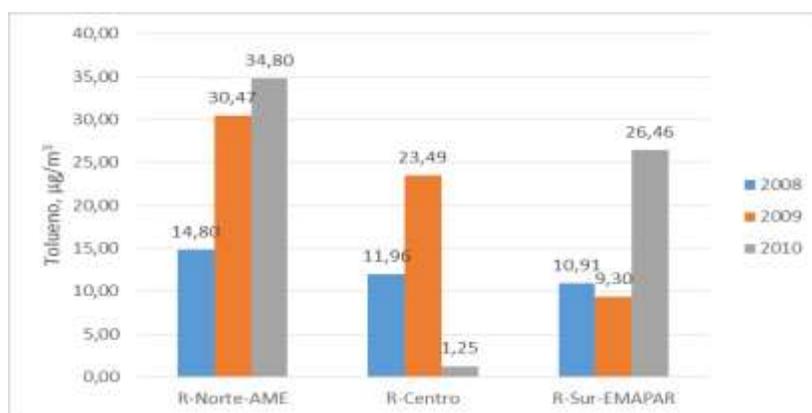


Figura 14. Promedios anuales de Tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Como se observa en la Figura 14., la estación R-Norte-AME muestra el nivel más alto de este contaminante que es de 34,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Y el año de mayor concentración es en el año 2009 con un promedio de 21,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para conocer si se supera los valores guías establecido en los estándares de la OMS, se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentración de Tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

AÑO	R-Norte-AME	R-Centro	R-Sur-EMAPAR
2008	14,80	11,96	10,91
2009	30,47	23,49	9,30
2010	34,80	1,25	26,46

Nota: Concentraciones de tolueno anual y por estación

La Tabla 4., muestra que de acuerdo a los valores guía para contaminantes del aire no cancerígenos recomendados por la OMS que es de 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre los cuales hay efectos sobre el Sistema Nervioso Central de los trabajadores en un tiempo de exposición de una semana, no registra superación de valores en ningún año.

Xileno

El año que registra mayor concentración es el 2009 en las tres estaciones, y al igual que el tolueno es en la estación R-AME es donde se registra mayor concentración.

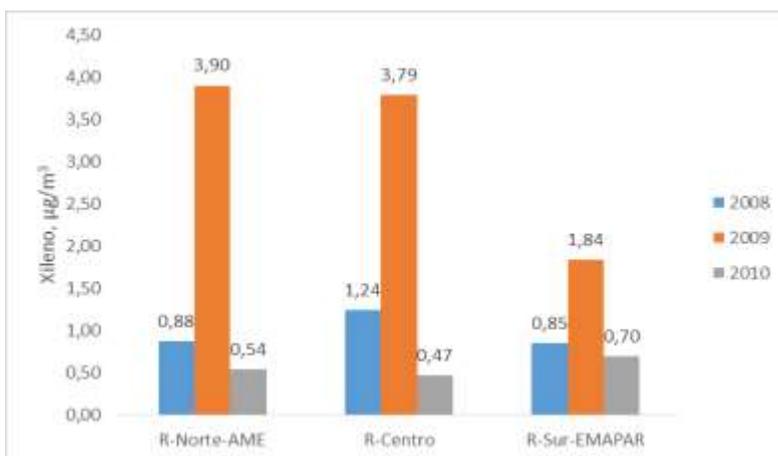


Figura 15. Concentración de Xileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

De acuerdo a la Figura 15., en el año 2009 se observó una mayor concentración con un valor de $3,18\mu\text{g}/\text{m}^3$ y es en la estación R-Norte-AME donde se registró un valor de $3,90\mu\text{g}/\text{m}^3$ que corresponde al valor más alto de este contaminante en el período de muestreo.

Para conocer si se supera los valores guías establecido en los estándares de la OMS, se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Concentración de Xileno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

AÑO	R-Norte-AME	R-Centro	R-Sur-EMAPAR
2008	0,88	1,24	0,85
2009	3,90	3,79	1,84
2010	0,54	0,47	0,70

Nota: Concentraciones de xileno anual y por estación

La Tabla 5., muestra que de acuerdo a los valores guía para contaminantes del aire no cancerígenos recomendados por la OMS que es $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre los cuales hay efectos en la salud en un tiempo de exposición de un año, no se observa superación.

Etilbenceno

Este contaminante al igual que tolueno, xileno registra una mayor concentración en el año 2009, y es en la estación R-AME donde se observa un mayor nivel.

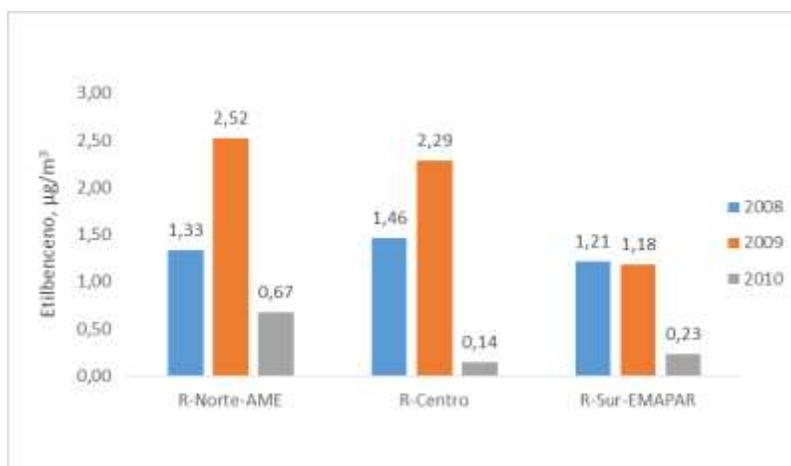


Figura 16. Concentración de Etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Como se observa en la Figura 16., la mayor concentración de la contaminación por etilbenceno se presenta en la Estación R-Norte-AME, con un valor de $2,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2009, el más alto.

Para conocer si se supera los valores guías establecido en los estándares de la OMS, se compara el resultado promedio anual de cada estación como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Concentración de Etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

AÑO	R-Norte-AME	R-Centro	R-Sur-EMAPAR
2008	1,33	1,46	1,21
2009	2,52	2,29	1,18
2010	0,67	0,14	0,23

Nota: Concentraciones de etilbenceno anual y por estación

Según los valores guía para contaminantes no cancerígenos recomendados por la OMS, el etilbenceno tiene como efectos sobre la salud el incremento de peso de los órganos, el valor de concentración tolerable $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un tiempo promedio de exposición de 1 año y de acuerdo a los valores registrados en todo el período monitoreado no existe excedencia de este contaminante.

3.6. Análisis de varianza del dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂)

Se realiza un análisis de varianza (ANOVA), el cual permite ver si hay diferencia significativa entre las concentraciones de las tres estaciones de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂) desde el año 2008 al año 2016.

En la Tabla 7., al aplicar análisis de varianza se obtiene una probabilidad de 0,356 y comparando es mayor al nivel de significancia de 0,05 esto quiere decir que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) en las estaciones de monitoreo de la zona de estudio desde del año 2008 al 2016.

Tabla 7. Análisis de varianza por estaciones de dióxido de azufre (SO₂)

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F

Entre grupos	89,756	2	44,878	1,039	0,356	3,056
Dentro de los grupos	6477,007	150	43,180			
Total	6566,764	152				

Nota: Este análisis muestra la diferencia que existe entre los datos de concentración de SO₂ de las tres estaciones de monitoreo calidad del aire

Análisis de varianza dióxido de azufre (SO₂) en el período monitoreado

Tabla 8. Análisis de varianza del dióxido de azufre (SO₂) en el período de monitoreo

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	646,741	5	129,348	3,211	0,008	2,275
Dentro de los grupos	5920,022	147	40,272			
Total	6566,764	152				

Nota: Este análisis muestra la diferencia que existe entre los datos de concentración de SO₂ en el periodo de monitoreo Calidad del Aire

En la Tabla 8., al aplicar análisis de varianza se obtiene una probabilidad de 0,008 y comparando es menor al nivel de significancia de 0,05 esto quiere decir que al comparar la contaminación de dióxido de azufre (SO₂) de los dos periodos; 2008-2010 y 2014-2016, se obtiene que al menos un año es diferente en el promedio de concentración en el período de monitoreo. Debido a dicho resultado se procede a realizar la prueba de Tuckey.

Tabla 9. Análisis de Tuckey por año de dióxido de azufre (SO₂)

	Año	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			Grupo 1	Grupo 2
TukeyB^{a,b}	2014	25	4,7563	
	2015	27	5,7623	5,7623
	2008	33	6,6383	6,6383
	2016	12	7,5270	7,5270
	2010	20	8,8332	8,8332
	2009	36		10,4703

Nota: La prueba de Tuckey demuestra los niveles más altos de SO₂ reportados en el período de monitoreo de Calidad del Aire

En la Tabla 9., observamos dos grupos de homogeneidad, el primer grupo lo conforman el promedio de concentraciones de los años 2014, 2015, 2008, 2016, 2010. El segundo grupo conformado por las concentraciones de los años 2015, 2008, 2016, 2010, 2009. Esto quiere decir que los valores de contaminación son similares en la mayoría de años.

El año 2014 presenta un promedio inferior a los demás años de concentración y el 2009 es el año que tiene mayor promedio de concentración con relación a los años analizados.

Tabla 10. Análisis de Varianza de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el período de monitoreo

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1034,889	5	206,977	2,061	0,073	2,275
Dentro de los grupos	14755,653	147	100,378			
Total	15790,543	152				

Nota: Este análisis muestra la diferencia que existe entre los datos de concentración de NO₂ en el periodo de monitoreo Calidad del Aire.

En la Tabla 10., al aplicar análisis de varianza se obtiene una probabilidad de 0,073 y comparando es mayor al nivel de significancia de 0,05 esto quiere decir que no existe diferencia significativa al comparar la contaminación de dióxido de nitrógeno (NO₂) de los dos periodos; 2008-2010 y 2014-2016.

3.7. Análisis de varianza dióxido de nitrógeno (NO₂) por estación de monitoreo

Tabla 11. Análisis de varianza por estaciones de dióxido de nitrógeno (NO₂)

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1188,029	2	594,014	6,101	0,0028	3,056
Dentro de los grupos	14602,513	150	97,350			
Total	15790,543	152				

Nota: Este análisis muestra la diferencia que existe entre los datos de concentración de NO₂ de las tres estaciones de monitoreo Calidad del Aire.

La Tabla 11., al aplicar análisis de varianza se obtiene una probabilidad de 0,0028 y comparando es menor al nivel de significancia de 0,05 esto comprueba que al menos en una estación de monitoreo las concentraciones de dióxido de azufre (NO₂) desde 2008 al 2016 es diferente; posteriormente se aplica la prueba de Tuckey.

En base al resultado del análisis de varianza del NO₂ se aplica la prueba de Tukey, los resultados se muestra en la Tabla 12, donde se observa dos grupos con concentraciones de NO₂ homogéneas, el primer grupo está compuesto por las emisiones registradas en las estaciones R-Sur-EMAPAR y R-Centro, y el segundo grupo está compuesto de las emisiones registradas en las estaciones R-Centro y RNorte-AME, esto permite diferenciar los niveles de contaminación en las estaciones. De acuerdo a este análisis estadístico, se observa que la estación R-Sur-EMAPAR tiene un promedio inferior a las demás estaciones de concentración y el R-Norte-AME es la estación que tiene mayor promedio de concentración con relación a las demás estaciones analizados y la estación R-Centro tiene una homogeneidad con cada estación.

Tabla 12. Prueba Tuckey para estaciones de dióxido de nitrógeno (NO₂)

	Estación	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			Grupo 1	Grupo 2
TukeyB^{a,b}	R-Sur-EMAPAR	50	11,2954	

R-Centro	52	15,3349	15,3349
R-Norte-AME	51		18,1201

Nota: La prueba de Tuckey demuestra los niveles más altos de NO₂ reportados en la estación de monitoreo de Calidad del Aire .

4. CONCLUSIONES

- ✓ El promedio estadístico de SO₂, NO₂, tolueno, xileno y etilbenceno en todos los años de monitoreo no registra un índice mayor al establecido en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, ni supera los estándares establecidos en las Guías de la Organización Mundial para la Salud.
- ✓ De los análisis del monitoreo de dióxido de azufre (SO₂) se obtiene los resultados de los niveles contaminación de la siguiente manera: en el año 2016 un promedio de 10,03 µg/m³, en la Estación R-Sur-EMAPAR y de 13,96 µg/m³ registrado en el año 2009 en la estación R-Norte-Ame, valores más altos desde el año 2008 al 2016.
- ✓ El año de mayor emisión de Tolueno, Xileno y Etilbenceno es en el año 2009 con un promedio de 21,09 µg/m³, 3,18 µg/m³ y 2,52 µg/m³ respectivamente. En la estación R-Norte-Ame donde se concentran los niveles más altos de este contaminante con valores de 34,80 µg/m³ de Tolueno, 3,90 µg/m³ de Xileno y 2,00 µg/m³ de Etilbenceno.
- ✓ En el caso del Benceno, se registró los máximos valores en el año 2009, con una concentración de 6,86 µg/m³ en la estación R-Norte-AME (noroeste de la ciudad) y de 8,36 µg/m³, en la estación R-Sur-EMAPAR (sureste de la ciudad) la más alta del período de monitoreo, superando la norma que establece la legislación Ecuatoriana que es de 5 µg/m³.

5. AGRADECIMIENTO

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Riobamba, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y al proyecto "Programa integrado de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba", de la Universidad Nacional de Chimborazo; por contribuir con los datos y el personal académico.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Andrés, D., Ferrero, E., & Mackler, C (2000). Monitoreo de contaminantes del aire en la ciudad de rosario-argentina. Información Tecnológica, 11, https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/investigacion/gese/publicaciones/gese_facchile.pdf, 27/07/14:00.
- Aránquez, E., Ordoñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I (1999). "Contaminantes Atmosféricos y su Vigilancia". Revista Española de Salud Pública, 123-132.
- Cocha L. Susana, (2017), Emisión de gases y su relación en la calidad del aire de la zona urbana de la ciudad de Riobamba, Tesis, Universidad Técnica de Ambato.
- Corona Zambrano, E. A., & Rojas Caldelas, R. I (2009). "Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana": Mexicali, Baja California, México. Scielo México, 79-102.
- González Ramírez C. (2011). Avances en Impacto, Tecnología y Toxicología Ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.
- Flores Rodríguez, J., & Albert Palacios, L. A (1997). Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de bvsde: <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-02a9.pdf>, 06/05/2016 a las 8:00.

- Haro, A (2017). Proyecto Calidad del Aire (A. Haro, Intérprete), Universidad nacional de Ingeniería, Riobamba, Chimborazo.
- Haro A. et al, (2014) "Thermal flows in the surface atmosphere of the Riobamba city", Atmospheric and Climate Sciences, 4, pp. 679-684.
- Instituto Geofísico (2016). Informe Especial Volcán Tungurahua - N°9. Quito.
- Jerves, R., & Armijos, F (2016). "Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca", Ecuador. . La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 25-34.
- Martínez, A. P., & Romieu, I (s.f.). Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/intromon/cap3.pdf> , 27/08/2016 a las 8:00.
- Ministerio del Ambiente (2012). Norma de Calidad el Aire o Nivel de Inmisión. En M. d. Ambiente, Anexo 4 del Texto Unificado de Legislación Secundaria Norma de Calidad el Aire o Nivel de Inmisión (pág. 13). Quito.
- Organización Mundial de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de who: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollutionestimates/es/> , 12/09/2016 a las 21:00.
- Organización Panamericana de la Salud (1997). Organización Panamericana de la Salud. En A. P. Martínez, & I. Romieu, Introducción al monitoreo atmosférico (págs. 1-36). Mexico: ECO. Obtenido de Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.
- Páez Pérez, C (2008). "Gestión de la Calidad del Aire". Quito: Ecuador. Palacios Espinoza, E., & Espinoza Molina, C (2014). Contaminación del aire exterior.cuenca - ecuador, 2009-2013. Posibles efectos en la salud. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas, 12.
- Perugachi N, Miño G, Haro A. (2018). Caracterización de la difusión de contaminantes atmosféricos bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de riobamba, usando modelos matemáticos, Revista Cariveña de Ciencias Sociales, pp.1-18.
- Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca de la EMOV EP (2015). Informe de la Calidad del Aire. Cuenca.
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste , M (2006). "La contaminación del aire: su repercusión como problema de la salud". Revista Cubana de Higiene y Epimediología, 44.
- Organización Mndial de la Salud. Obtenido de Organización Mndial de la Salud (2005): Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_spa.pdf , 26/06/2016 a las 22:00.