

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO
EN EL AIRE EN EL ÁMBITO DE LA ESTACIÓN LA
COLMENA CAJAMARCA EN EL PERÍODO 2012 – 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Celis Guevara, Jose Marino
Vasquez Oliva, Juan Carlos

Asesor:

M. Sc. Marieta Cervantes Peralta

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

CELIS GUEVARA, José M.

Dedico esta tesis a Dios quien es el forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mis continuos tropiezos, a mis padres quien me regalaron la vida, a mis dos hijos quienes son el motor que me impulsan a seguir adelante en el día a día y sobre todo a todas las personas que a pesar de las adversidades siguen queriendo ser diferentes y luchan contra aquellos que desean que seamos iguales.

VASQUEZ OLIVA, Juan C.

Dedico este proyecto de tesis, a Dios, a mi familia y amigos. A Dios, porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar con mis metas.

A mi familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar siendo mi apoyo en todo momento de mi vida, a mis amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada. Gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad, es por ello que soy lo que soy.

AGRADECIMIENTO

CELIS GUEVARA, José M.

Con la presente le agradezco a Dios quien supo guiarme, darme fuerzas para seguir adelante, a mi madre, mis hijos, a mis maestros por sus esfuerzos para que pueda graduarme como un profesional y lograr mi meta propuesta.

VASQUEZ OLIVA, Juan Carlos.

Agradecer a Dios, a mi familia, y compañeros, para darme fuerzas y seguir adelante en cada momento de mi vida y enseñarme que no hay límites cuando uno se propone algo. A mi asesora por el apoyo brindado que implicó tiempo y dedicación en el proyecto de tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO.....	03
TABLA DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
SUMMARY	08
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	09
1.2. Realidad problemática.....	09
1.3. Formulación del problema	29
1.4. Objetivos	29
1.5. Hipótesis.....	30
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	31
2.1. Tipo de investigación	31
2.2. Población y muestra	31
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	31
2.4. Procedimiento.....	32
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	33
3.1. Tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico	33
3.2. Comparación de los resultados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental	41
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	43
4.1. Discusión	43
4.2. Conclusiones	44
REFERENCIAS	45
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Estándares de calidad ambiental para aire	24
TABLA 2. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2012.....	33
TABLA 3. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2013.....	34
TABLA 4. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2014.....	35
TABLA 5. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2015.....	36
TABLA 6. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2016.....	37
TABLA 7. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2017.....	37
TABLA 8. Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2018.....	38
TABLA 9. Promedio de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el período 2012 – 2018.....	39
TABLA 10. Variación anual y tasa de variación anual de la concentración de plomo atmosférico, durante los años de estudio.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Comportamiento anual de la concentración de plomo atmosférico, durante los años 2012 – 2018.....	40
FIGURA 2.	Comportamiento de la tasa de variación anual, durante los años 2012 – 2018.....	41
FIGURA 3.	Comparación de los valores de plomo obtenidos con los expresados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	42

RESUMEN

El presente estudio de investigación titulado “Evaluación de la concentración de plomo del aire en el ámbito de la Estación la Colmena Cajamarca en el período 2012 – 2018”, tiene como objetivo evaluar el porcentaje de plomo del aire registrado en estación la Colmena, en el periodo 2012-2018, para compararlos con los estándares de calidad ambiental emitidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Los datos analizados fueron facilitados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, de la concentración de plomo en la estación la Colmena de los últimos siete años. Al comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental de Aire (D.S. N° 003 – 2017 – MINAM), se halló que aún no exceden los valores recomendados. También se halló que la tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico anual tiende a disminuir, siendo el año 2015, en donde el descenso fue más marcado. Se concluye que la calidad del aire de la zona de estudio es de óptima calidad, si consideramos la concentración de plomo atmosférico.

Palabras clave: Evaluación, concentración, plomo, estándares de calidad ambiental.

SUMMARY

The present research study entitled “Evaluation of the concentration of lead in the air in the beehive Cajamarca Station in the period 2012 - 2018”, aims to evaluate the percentage of lead in the air registered in the beehive station, in the 2012-2018 period, to compare them with the environmental quality standards issued in the Supreme Decret No. 003-2017-MINAM. The analyzed data were provided by the Provincial Municipality of Cajamarca, of the concentration of lead in the hive station of the last seven years. When comparing the results with the Environmental Air Quality Standards (D.S. No. 003 - 2017 - MINAM), it was found that they do not yet exceed the recommended values. It was also found that the annual atmospheric lead concentration variation rate tends to decrease, being 2015, where the decline was most marked. It is concluded that the air quality of the study area is of optimum quality, if we consider the concentration of atmospheric lead.

Keywords: Evaluation, concentration, lead, environmental quality standards.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.2. Realidad problemática

El hombre tras la necesidad de sobrevivir en sociedad ha colocado en punto de riesgo al medio ambiente; puesto que, para poder cubrir dichas necesidades, éste modifica y deteriora el ambiente que lo rodea, originando su contaminación.

Es por ello que el ambiente ha sido objeto de estudio desde hace muchos años, como los trabajos mencionados a continuación:

En el trabajo de investigación “Calidad de Aire en la Ciudad de Santa Fe”, llevado a cabo en Argentina, se proponen como objetivo, hacer un muestreo amplio de toda la zona de la ciudad, considerando bloques de zonas de vegetación y zonas de escasa vegetación, al mismo tiempo se tomaron encuestas para conocer también la percepción de los habitantes con respecto a los niveles de contaminación, factores contaminantes y la participación de las autoridades en la mitigación de este problema. Los resultados arrojaron que sus niveles de contaminación están todavía, por debajo de los permitidos, sin embargo, la tendencia es que vayan en aumento. Así mismo, la percepción de los habitantes es que se ha hecho muy poco por mitigar este problema, dado que los factores contaminantes como fábricas, siguen sus actividades con poco o ningún llamado de atención (Caminos et al, 2011).

Méndez (2017), en su trabajo de investigación titulado “Parque automotor y contaminación ambiental en el Centro Histórico de Lima” se propone como objetivo realizar un estudio sobre la contaminación del aire y el impacto ambiental que causa los gases de dióxido y monóxido de carbono producidos por el parque automotor en el

centro histórico de Lima. Para este trabajo de investigación se seleccionó el área más contaminada: cuerdas cinco, seis y siete de la Av. Abancay, donde el parque automotor se detiene más del tiempo permitido y con el motor encendido para recoger pasajeros, haciéndose más evidente la longevidad del parque automotor; así como también la utilización de combustibles compuestos y no aptos para el transporte público que al quemarse arrojan enorme cantidad de smog. De esta manera, se concluye que la avenida Abancay, sería una de las vías más contaminadas de la ciudad, no permisibles por estándares internacionales y la OMS (Organización Mundial de la Salud), especialmente por la presencia de un parque automotor obsoleto, con una longevidad de 40 años y móviles que usan combustible compuesto y alterado.

Condori (2013), en su estudio de la contaminación por material particulado PM_{10} en el distrito de Torata, Moquegua, resaltó la necesidad de monitorear la concentración másica de las partículas en mención, pues hay evidencias de que las partículas más finas tienen una mayor incidencia en los indicadores de mortalidad y morbilidad de la población y la naturaleza.

DIGESA (2005), afirmó que el material particulado es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire, el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño, en partículas con diámetro menor a 10 micras, 2.5 micras y 1 micra. Las partículas gruesas contienen usualmente material de la corteza terrestre y polvo de las carreteras y de la industria. La fracción fina contiene mayor acidez y actividad mutagénica. La mayor parte de las partículas se hallan como finos (entre 100 nm y 2.5 μm), pero hay otro porcentaje importante que están como ultrafinos (menores a 100 nm).

Desamparados (2012), afirma que los factores ambientales como la temperatura y el viento afectan a la dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados PM_{10} , pues durante los meses más fríos al existir un estancamiento de las masas de aire existe una disminución de los niveles de concentración de partículas en el aire y cuando se interrelacionan con el viento se observan que hay un alejamiento de las fuentes de emisión.

Herrera (2011), afirmó que la calidad del aire del medio atmosférico en la población de Segunda Jerusalén, en partículas PM_{10} , cumple las normas legales peruanas, cuyas cantidades en promedios son de $10.14 \mu g/m^3$ para la época de invierno y $13.37 \mu g/m^3$ para la época de verano. El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, menciona que los Límites Máximos Permisibles (LMP), para material particulado PM_{10} , corresponden a concentraciones de $150 \mu g/m^3$.

Fernández (2012), en su investigación concluyó que las fuentes que más contribuyen a los niveles y composición de las partículas PM_{10} en Huelva (España) son: combustión de hidrocarburos pesados en actividades industriales (30% del PM_{10}), emisiones de automóviles (17% del PM_{10}), y materia mineral (35% del PM_{10}); durante la mañana (07:00 – 09:00h) y tarde (18:00 – 20:00 h) de los días laborables.

Palacios (2010), manifiesta que la concentración de Partículas Totales Sólidas en la atmósfera del sitio de muestreo escogido, es superior en los días que tienen flujo vehicular normal comparado con los días que hubo restricción vehicular y que las concentraciones emitidas a la atmosfera tienen una condición de proporcionalidad.

Saldaña (2017), en su trabajo de investigación titulado “Emisión de gases por el parque automotor y su repercusión en la contaminación del aire en la ciudad de Iquitos en el

año 2015” busca determinar en qué medida la emisión de gases (CO, CO₂) generados por los vehículos que circulan por vías de la ciudad influye en la contaminación del aire. Con la información recolectada se determinaron el promedio de velocidad con las que circulan las unidades vehiculares en las zonas de estudio. Los resultados obtenidos nos muestran que el parque automotor de la ciudad de Iquitos está siendo un factor de contaminación de nuestro ambiente, teniendo una creciente emisión de gases de escape de monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Korc et al. (2014), en su trabajo de investigación titulado “Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de Lima y Callao” busca presentar un primer diagnóstico de las emisiones de las partículas totales en suspensión y plomo provenientes del parque automotor de Lima y Callao y las posibles medidas de acción que se podrían implementar para reducir estas emisiones. Un primer diagnóstico de las partículas totales en suspensión y plomo indica que los taxis y mototaxis representan casi el 70 % de las emisiones de CO y aproximadamente el 50 % de las emisiones de plomo y COV (Componentes Orgánicos Volátiles); y los camiones, buses y remolcadoras contribuyen entre el 60 % y 65 % de las emisiones de PTS (Total de partículas suspendidas), SO₂, y NO₂.

Quispe (2013), realizó una evaluación cuantitativa de material particulado, y determinó la relación expresada como el incremento de 10 µg/m³ en las concentraciones de partículas respirables (PM₁₀) con un aumento agudo a corto plazo y son las causas del incremento de la frecuencia de consultas por IRAS en los pobladores de Ate Vitarte.

Saavedra (2014), en su trabajo de investigación titulado “Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular” busca estimar las emisiones provenientes de los vehículos durante su recorrido en una sección de 1.41 kilómetros en una de las principales avenidas de la ciudad de Lima a la hora de mayor congestión vehicular. Se compararon las emisiones obtenidas con las producidas en un ambiente libre de congestión vehicular para cuantificar la magnitud de este fenómeno. De acuerdo a los resultados, las emisiones generadas en un ambiente de tráfico ascendieron a 18407.0 kg/año (902.3 kg/año más comparado con lo que se produce en un ambiente sin congestión vehicular). Del mismo modo, las emisiones comienzan a disminuir a razón que la velocidad promedio vehicular aumenta hasta llegar a un punto mínimo de emisión logrando una reducción del 31 por ciento a la velocidad de 60 km/hora, luego de esto, las emisiones aumentan nuevamente mientras la velocidad siguen en ascenso. Por último, las emisiones vehiculares descienden 2.7, 3.4 y 2.3 por ciento a razón que el 5 por ciento del parque automotor son reemplazados por vehículos a gas natural, vehículos híbridos y vehículos con convertidores catalíticos respectivamente.

Quispe (2018), en su trabajo de investigación titulado “Evaluación del monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca como una medida de diagnóstico y control del nivel de contaminación de la zona-2017” se propone como objetivo evaluar el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Cajamarca, como medida de diagnóstico y control del nivel de contaminación de la zona. El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Cajamarca, donde se realizan diversas actividades tanto mineras como no mineras, causantes de la contaminación atmosférica de la zona. Para la recolección de los datos se utilizaron las siguientes técnicas: observación, resultados del monitoreo calidad del

aire de la ciudad de Cajamarca correspondiente al año 2016, y una guía de observación con la finalidad de identificar las actividades causantes de la contaminación y los riesgos potenciales y reales a la salud de la población cajamarquina. Entre las principales conclusiones halladas, tenemos que los resultados de la guía de observación efectuada en la ciudad de Cajamarca presentan como actividad causal de contaminación a la presencia de una gran cantidad de parque automotor entre ellos están los taxis, motos, buses, como también maquinaria pesada que transita en ocasiones por la ciudad; y que emanan grandes cantidades de monóxido, polvo que causan daños a la salud humana y al medio ambiente.

Finalmente, Martos (2013), en su trabajo de investigación titulado “Monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca”, busca generar información sobre la calidad ambiental del aire de la ciudad de Cajamarca. Este trabajo se realizó en asociación con la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Entre sus principales conclusiones se encontró que el aire de Cajamarca está expuesto a contaminación por partículas del tipo PM 2.5 porque existen valores que sobrepasan los ECAS establecidos por el estado.

Con respecto a Cajamarca, desde el punto de vista de resultados de los inventarios hechos en esta ciudad, existen dos situaciones concretas respecto a la calidad del aire, agua y suelo. En primer lugar, en el caso de fuentes móviles, son estas las que generan las mayores emisiones de monóxido de carbono (88.21%), óxidos de nitrógeno (77.21%), plomo (Pb) y compuestos orgánicos volátiles (76.59%), mientras que las fuentes fijas, se constituyen como las mayores emisoras del material particulado (Partículas Totales en Suspensión – PTS) con 89.52% y dióxido de azufre (SO₂) con 86.82% (MPC, 2009). La congestión vehicular es un fenómeno en ascenso en la ciudad

de Cajamarca, debido a la oferta de vehículos más accesibles, el ritmo de aumento del ingreso per cápita, la demanda de movilidad urbana y la falta de reglamentos técnicos vehiculares estrictos inciden en forma positiva en la cantidad de vehículos que transitan hoy en día por nuestra ciudad, lo cual se traduce en una mayor congestión vehicular y un aumento significativo en las emisiones de gases que se descargan a la atmósfera. Es así que, según la Dirección de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente (2013), se le atribuye al parque automotor ser responsable del 70 por ciento de la contaminación atmosférica en nuestro país y el restante a la industria que se implanta en nuestra ciudad de manera creciente, la cual repercute directamente en la salud y malestar de las personas.

El Grupo de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire (GESTA), constituido en el año 2005 por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, ante la amenaza eventual de contaminación por el incremento de fuentes de emisión, como medida de protección a la salud de las personas, ha trabajado temas relacionados a la calidad del aire del distrito que se entra en proceso de deterioro progresivo y puede agravarse, si persiste la tendencia del crecimiento el número de vehículos o en la estructura del parque automotor (MPC, 2009).

Los resultados de los inventarios de emisiones que incluyen a fuentes móviles (parque automotor) indican que existe dentro del distrito de Cajamarca, un aporte considerable de monóxido de carbono (CO), a consecuencia del uso de combustible de mala calidad originando deterioro de la calidad del aire. El 80% de la contaminación atmosférica circunda al distrito de Cajamarca, sin que exista una entidad que tenga registrado exacto, a excepción de la partícula sólida en suspensión, donde las fuentes fijas tienen una participación elevada. El parque industrial esta escasamente desarrollado mientras que

el parque automotor, principalmente taxis, mototaxis en la ciudad, se encuentra sobre dimensionado (MTC, 2015).

Actualmente, no se conoce con precisión el efecto o correlación entre el servicio de transporte público y la concentración de plomo en la ciudad de Cajamarca en los últimos años por lo que este estudio de investigación aportará con resultados que sirvan para que las autoridades implanten decisiones de política y de gestión en mejora de la calidad del aire.

Los adelantos científicos o tecnológicos y el crecimiento demográfico acelerado, han originado una gran alteración del medio ambiente, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. No es que el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico no puedan coexistir o que exista una incompatibilidad absoluta entre ellos esto es posible siempre cuando el ser humano le dé la importancia que merece y sepa armonizarlos.

Pero para el cumplimiento de todos estos objetivos, es necesario conocer los conceptos básicos que nos permitan tener una mirada holística de la naturaleza y del ambiente. Conceptos como los concernientes a contaminación ambiental, y para ello debemos saber que en el Perú existen normas nacionales establecidas como el Reglamento Nacional para la aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, D.S N° 003 – 2017, MINAM, que establecen criterios de medición de los niveles de contaminación. Sin embargo, la falta de respeto al medio ambiente, derechos de las demás personas y el desconocimiento de la población sobre los daños que ocasionan a corto o largo plazo, con las emisiones producidas por el parque automotor, son factores contaminantes en el aire, que se deben medir en lugares dóciles

a vigilancia que son representativos a la exposición de las poblaciones (FONAM, 2004).

El transporte automotor en la ciudad de Lima consume más del 90% de material fósil en forma de petróleo o gasolina, la contaminación atmosférica de esta actividad tiene un impacto visible y significativo, las altas densidades de tráfico coinciden con altas concentraciones de poblaciones. Las emisiones de gases y material particulado se concentran en el funcionamiento de motores de combustión interna como: Monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), plomo (Pb), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y dióxido de carbono (CO₂) (Martos, 2013).

Se sabe que existe un convenio entre la Municipalidad Provincial y SENATI (Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial) – Cajamarca, firmado el año 2003, con el fin de realizar un proyecto piloto demostrativo ambiental, donde se planteaba determinar el incremento de la emisión de gases y material particulado (de acuerdo al tipo de combustible utilizado) de vehículos automotores de transporte de pasajeros. Se concluye, primero, que el inadecuado mantenimiento y/o reparación de sistemas de emisión de gases y humos particulados presentes en los vehículos automotores se debe que los mecánicos no tienen ninguna capacitación; y segundo, la escasa conciencia ambiental por los propietarios de vehículos (García, 2006).

Y si hablamos de la composición del aire, se sabe que los principales gases que conforman el aire son el Nitrógeno y el Oxígeno (con un porcentaje de 78.08% y 20.95% respectivamente), destacando el Argón entre los menos comunes, con 0.93%. Todos los componentes del aire deben encontrarse en equilibrio en la atmósfera de acuerdo a los porcentajes señalados. Si se agregara alguna sustancia en cantidades

mayores a las que normalmente posee, el aire se contaminaría. De la misma manera sucederá para el resto de gases (0.04%). Estos contaminantes incluyen: Ozono Troposférico (O₃), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO), óxidos de material particulado (PM), entre otras (SWISSCONTACT, 2004).

Según Roberts (2009) los problemas de calidad del aire están relacionados con diferentes factores: geofísicos, Meteorológicos y socioeconómicos, éste último debido a la presión ejercida por el crecimiento de la economía y población. La población, el desarrollo industrial y la dependencia por los motores de combustión interna explican el incremento sostenido de las emisiones gaseosas y material particulado, los cuales han sobrecargado la capacidad natural del aire para diluirlos. Los contaminantes más importantes derivados de los combustibles fósiles (diésel, gasolina, petróleo y gas), que son los más usados por automóviles y buses antiguos en nuestro país y América latina son: el material particulado (PM), Dióxido de Azufre (SO₂), Plomo (Pb), los óxidos de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Todos estos compuestos componen lo que usualmente conocemos como humo negro vehicular.

El incremento de las emisiones de Material Particulado (PM), según la Organización Mundial de la Salud (2005a), es el principal problema del parque automotor, el cual consiste en sustancias sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera. El material particulado menor a 10 micrómetros de diámetro (PM₁₀) corresponde de uno a dos tercios de las emisiones totales de material particulado. La principal afectación a la salud que puede producir el PM₁₀ es su acumulación en los pulmones y daño de los

mismos (OMS, 2005b). De la misma manera generan daño a la infraestructura debido a su acumulación y asentamiento, como se verá más adelante.

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Para Meszaros, 1999).

Afirmaron que el material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang et al, 2006).

Sostuvo que la extracción de la atmósfera del material particulado en suspensión se produce por diversos mecanismos, bien sea por deposición seca o por deposición húmeda, cuya eficacia depende esencialmente del diámetro, composición química y propiedades termodinámicas de las partículas Viana (2003).

Afirmaron que el material particulado es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas y las partículas arrastradas por el viento, como el aerosol marino. Dentro de las actividades antropogénicas se encuentran las emisiones de gases de escape y partículas procedentes de los buques de navegación marítima (Toro et al, 2001).

Afirmó que el material particulado debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro

aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad, que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. De acuerdo a esto, pueden ser clasificadas como finas y gruesas. Por otra parte, el material particulado está asociado con compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica o carcinogénica (García, 2002).

Señaló que la evaluación del impacto en salud puede ser una importante aportación a la valoración de las políticas medioambientales. Las muertes prematuras atribuibles a la contaminación media anual de PM_{10} son por encima de $20 \mu g/m^3$ y son todavía necesarias investigaciones futuras para evaluar y comparar el impacto de distintos riesgos ambientales (Alonso, 2005).

Afirmaron que, según la normatividad colombiana, el material particulado no sedimenta en períodos cortos, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad. Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Billet et al 2007).

Se refiere al impacto producido por partículas en suspensión menores a 10 micras (PM_{10}) debido a emisiones de compuestos ocasionados por el parque automotriz (Moreano Bohórquez et al 2012).

Material particulado con diámetro aerodinámico igual o inferior a las $10 \mu m$. (Linares y Díaz, 2011).

Aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera y cuyo diámetro varía entre 2.5 y 10 μ m (1 micrómetro corresponde a la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados, entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Se caracterizan por poseer un pH básico debido a la combustión no controlada de materiales. (Ministerio de Agricultura y Pesca de España, 2013).

Otro contaminante importante es el plomo (Pb), que es un metal tóxico presente en la corteza terrestre de forma natural. El aumento en su uso ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública. Los niños de corta edad son principalmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo, las cuales pueden tener consecuencias graves y permanentes en su salud, afectando especialmente al desarrollo del cerebro y del sistema nervioso. El plomo además causa daños duraderos en los adultos aumentando el riesgo de hipertensión arterial y de lesiones renales. En mujeres en estado de embarazo, la exposición a concentraciones altas de plomo puede causar el aborto natural, muerte fetal, parto prematuro, y provocar malformaciones en el feto (Palacio y Mejía, 2014).

En los motores de los autos que trabajan con combustible, al quemarse la gasolina con Plomo, que sigue siendo uno de los carburantes más utilizados en todo el Perú debido a su precio en comparación de otros que no lo contienen. Allí se producen sales de Plomo como los cloruros, bromuros y óxidos que ingresan al ambiente a través de los tubos de escape (Aguilar, 1997) y que tienen efectos abrasivos en distintos materiales.

Entre las principales fuentes de contaminación en Cajamarca, tenemos al parque automotor, seguida de las fuentes puntuales, fuentes de área y fuente natural. Todas estas contribuyen al sesgo en la calidad de aire que se respira. Y esto toma sentido prioritario en Cajamarca porque está considerada, por Resolución Ministerial N° 339 – 2012 – MINAM, dentro de como una de las 18 Zonas de Atención Prioritarias (ZAP) (MINAM, 2013). Todo ello debido probablemente al crecimiento en las actividades económicas que ha tenido esta ciudad en los últimos años, que generalmente viene a la par del crecimiento económico y que como en todo el país, viene influyendo en la calidad del aire, puesto que demanda un mayor uso de energía, recursos y servicios por parte de la población y de las industrias, lo que conlleva a la liberación de contaminantes del aire y gases del efecto invernadero (GEI), que modifican la calidad del aire y generan situaciones de riesgo para la salud de la población expuesta, produce daños en el ambiente (flora, fauna y ecosistemas) y el deterioro de los bienes como los edificios, monumentos y otras estructuras. Para Cajamarca, sus principales fuentes de contaminación están dadas por el parque automotor (vehículos), fuente de área y fuente natural (MINAM, 2013).

Representación y calificación del estado de la calidad del aire tomando en cuenta los conceptos ya posicionados en la población como son los colores del semáforo y del espectro de luz como el arco iris. Considerando los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA) vigentes y los Niveles de Estado de Alerta, el INCA se divide en 4 categorías. La banda de color verde significa que la calidad del aire es buena, la banda de color amarillo indica una calidad moderada del aire, la banda de color anaranjado indica que la calidad del aire es mala, finalmente el color rojo de la cuarta banda indica

que la calidad del aire se encuentra en el umbral de cuidado, el cual corresponde a la aplicación de los estados de alerta por parte de la autoridad de Salud. (MINAM, 2014).

Todas las metodologías diseñadas 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. Es importante porque permite conformar una base de datos que aporte información para la realización de estudios necesarios para: a) formular los estándares de calidad de aire, b) realizar investigaciones epidemiológicas 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.(Escalona et al 2008).

Existe una Normativa para la calidad de aire, que está regida por el Decreto Supremo N° 003 – 2017 dictada por el Ministerio del Ambiente y en ella busca regular los indicadores de calidad de aire a través de los límites máximos permisibles, que podemos observar en la tabla 1. En el caso del plomo (Pb en PM10), el valor arrojado es de $0.5 \mu\text{m}^3$ anual, y esa será nuestra referencia para comparar los datos de nuestro análisis y ver si estamos por debajo o encima del valor recomendado.

Tabla 1.

Estándares de calidad ambiental para aire.

Parámetros	Período	Valor (microgramo por metro cúbico)	Criterios de evaluación	Método de análisis*
Benceno	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de azufre	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de nitrógeno	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
Material Particulado (PM) con diámetro menor a 2.5 micras	Anual	100	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	
Material Particulado (PM) con diámetro menor a 10 micras	Anual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)**	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman (Métodos Automáticos)

“Evaluación de la concentración de plomo en el aire en el ámbito de la Estación la Colmena Cajamarca en el período 2012 – 2018”

Monóxido de carbono	1 hora	30000	NE más de una vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono	8 horas	100	Máxima media diaria	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
			NE más de 24 veces al año	
Plomo (Pb) en PM con diámetro menor a 10 micras	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método de PM con diámetro menor a 10 micras
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No exceder.

* o método equivalente aprobado.

** El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseosos Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MINAM.

Es importante también definir algunos términos básicos que nos permitan tener un mejor entendimiento del tema en sí.

Aire: La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre” (OMS, 2005a).

Contaminante: Se considera contaminante toda materia, sustancias, energía, organismo vivo o sus derivados; que, al incorporarse a los componentes del ambiente, alteran sus características y obstaculiza apreciar la naturaleza, dañando los bienes o perjudicando la salud de las personas, animales o plantas (FONAM, 2004).

Contaminación ambiental: La contaminación ambiental es la presencia en el ambiente, de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que degraden la calidad del aire, tierra o recursos naturales en general (FONAM 2004).

Fuentes de área: Las fuentes de área son las fuentes de contaminación que emiten menos de 10 toneladas anuales de un solo contaminante peligroso del aire o menos de 25 toneladas anuales de una combinación de contaminantes peligrosos del aire en un área específica. Esto incluye la quema de combustible de origen estacionario, estaciones de servicio, operaciones de pintura, uso de solventes, procesamiento de residuos y a la industria ligera (salones de uñas, tintorerías, talleres de reparación de autos). También incluidos en las fuentes de área están una amplia gama de actividades de los ciudadanos, como el mantenimiento del césped, uso de disolventes de pintura, gas y carbón para barbacoas, y calefacción del hogar. Las

fuentes de área de la contaminación del aire pueden contribuir a los mismos riesgos de salud y ambientales que las fuentes de transporte (Caminos et al., 2011).

Fuentes móviles: Emiten contaminantes mientras se encuentran en movimiento. Las toxinas atmosféricas de fuente móvil son emitidas por los automóviles, camiones, aviones, cortadoras de césped y equipos agrícolas. Las fuentes móviles contaminan el aire a través de la combustión y evaporación del combustible. Estas emisiones contribuyen significativamente a la contaminación del aire, los tóxicos del aire y gases de efecto invernadero (Caminos et al., 2011).

Fuentes naturales: Comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geósfera, biósfera e hidrósfera. Entre las cuales se encuentran erupciones volcánicas, incendios forestales, actividades de los seres vivos, descargas eléctricas, el mar (Mcgraw, 2009).

Fuentes puntuales o fijas: Son fuentes individuales y únicas que emiten gases y partículas a la atmósfera. Están localizadas en un punto y permanecen fijas en el tiempo (centrales termoeléctricas, industrias, fundiciones, refinerías) (Caminos et al., 2011).

Material Particulado: Es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire (aerosoles), el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño, en partículas con diámetro menor a 10 micras (MINAM, 2013).

Plomo elemental: Metal gris inodoro e insoluble en agua, altamente maleable, dúctil, relativamente pobre conductor de electricidad y resistente a la corrosión. Su punto de fusión es de 327 °C y su punto de ebullición es de 1740 °C. El Plomo existe en los estados de valencia +2 y +4 y sus isótopos naturales son: 204, 206, 207y 208

(National Toxicology Program, 2004).

Plomo atmosférico: Los compuestos orgánicos primarios de tetraalquilplomo como el tetraetilplomo ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) y tetrametilplomo ($\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$), son utilizados como aditivos antidetonantes en el combustible para automóviles, actualmente en desuso. Los compuestos de tetraalquilplomo son insolubles en agua y están sometidos a la fotólisis y a la volatilización. Cuando son expuestos a la luz del sol se descomponen en la atmósfera a trialquilplomo y dialquilplomo y eventualmente se degradan a óxidos de plomo inorgánico (National Toxicology Program, 2004).

Zonas de Atención Prioritarias (ZAP): Zona que cuenten con centros poblados o poblaciones mayores a 250 000 habitantes o una densidad poblacional por hectárea que justifiquen su atención prioritaria o con presencia de actividades socioeconómicas con influencia significativa sobre la calidad del aire (MINAM, 2013).

Finalmente, debemos mencionar que la importancia del presente trabajo de investigación radica en que, en los últimos 30 años se evidencia el incremento progresivo del parque automotor, los resultados obtenidos del inventario de emisiones de fuentes móviles (13333 toneladas por año) y fijas (1250,79 toneladas por año), del proyecto de fortalecimiento de la gestión ambiental en la provincia de Cajamarca del 2009, muestra al monóxido de carbono (CO) como el mayor contaminante de emisiones, y no menos importantes el Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de nitrógeno (NO_2), Materiales particulados (PTS) y el Plomo (Pb). Situación que afecta la calidad del aire, por la emisión de monóxido de carbono (CO) en altas concentraciones cuyo estudio sistemático es necesario, y los resultados

comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) permita tomar decisiones oportunas para mitigar efectos negativos.

Los resultados permitirán analizar e interpretar las concentraciones de Plomo comparándolos con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y su relación con las fuentes móviles, generando información que ayude a resolver problemas de contaminación, así como la aplicación de políticas y acciones concretas que harán posible la mejora de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca.

1.3. **Formulación del problema**

¿La concentración de plomo en el aire, registrado en Estación la Colmena – Cajamarca, está dentro los límites permitidos con los estándares de calidad ambiental durante el periodo 2012-2018?

1.4. **Objetivos**

1.1.1. **Objetivo general**

Determinar de la concentración de plomo presente en el aire en Estación la Colmena, en el periodo 2012-2018, utilizando los Estándares de Calidad Ambiental para Aire del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

1.1.2. **Objetivos específicos**

- Calcular la tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico, en la Estación la Colmena - Cajamarca.
- Comparar la concentración de plomo en el aire con los estándares de

calidad ambiental del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

1.5. Hipótesis

1.1.3. Hipótesis general

- La calidad del aire en la Estación la Colmena, en la ciudad de Cajamarca, se encuentra dentro los estándares de calidad ambiental, con respecto a la concentración de plomo.

1.1.4. Hipótesis específicas

- La tasa de incremento de concentración de plomo en el aire de la Estación la Colmena se incrementa progresivamente, en el período 2012 – 2018.
- La concentración de plomo en el aire, registrado en Estación la Colmena – Cajamarca, no sobrepasan los estándares de calidad ambiental durante el periodo 2012-2018.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, descriptiva, tipo correlacional, con diseño Transversal.

2.2. Población y muestra

La población está establecida por todas las mediciones de plomo, durante los años 2012 al 2018, de la estación de monitoreo “La Colmena”. A sí mismos, está comprendido los estándares de calidad ambiental (ECA).

La muestra va a coincidir con la población porque la evaluación, comparación, descripción y análisis se realizará con todos los datos de la concentración del plomo.

La unidad de estudio está constituida por el punto de monitoreo, de la concentración de plomo, como los estándares de calidad ambiental (ECA).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para recopilación de la data

Con respecto a la presencia de plomo atmosférico, la data fue facilitada por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, a través de la Gerencia de Desarrollo Ambiental – Sub Gerencia de Protección y Control Ambiental. Esta data comprendía la información recopilada por esta institución, de manera mensual, desde el año 2012 al año 2018.

Con respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA), fue obtenida del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

Tanto para la variable independiente como para la dependiente, se determinó el promedio anual para poder calcular la evaluación entre las variables.

2.4. Procedimiento

Los resultados obtenidos de los datos recolectados de plomo en el aire de la Estación la Colmena fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire que rigen en nuestro país (D.S. N° 003 – 2017 – MINAM). Esto nos permitió evaluar si los niveles de plomo en el aire están por encima o no de los niveles permitidos y por lo tanto si su presencia es nociva para nuestra salud.

Los datos serán reportados de manera anual, considerando todas las muestras tomadas cada año; así mismo, se reportará un promedio de cada año.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico

3.1.1. Concentración anual de plomo atmosférico

El número de registros de datos de cuantificación de plomo atmosféricos fue bastante heterogéneo durante el período tomado para el análisis de datos, dado que la Estación registró más datos para algunos años (2013 y 2015) que para los otros años. Eso se puede observar en el informe de registros que se ve a continuación (tabla 2 a tabla 8).

Tabla 2.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2012.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
28/06/2012	0.0093
05/07/2012	0.0097
21/07/2012	0.0087
06/08/2012	0.0055
22/08/2012	0.0055
07/09/2012	0.0073
09/10/2012	0.0090
25/10/2012	0.0100
13/07/2012	0.0060
14/08/2012	0.0087
30/08/2012	0.0062
15/09/2012	0.0057
01/10/2012	0.0057
17/10/2012	0.0108
02/11/2012	0.0041
10/11/2012	0.0060
19/11/2012	0.0040
25/11/2012	0.0020
04/12/2012	0.0040

12/12/2012	0.0040
20/12/2012	0.0040
28/12/2012	0.0050
Promedio	0.0064

Tabla 3.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2013.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
01/01/2013	0.0250
21/01/2013	0.0036
12/02/2013	0.0038
19/02/2013	0.0023
06/03/2013	0.0043
13/03/2013	0.0029
28/03/2013	0.0024
04/04/2013	0.0093
19/04/2013	0.0047
26/04/2013	0.0032
11/05/2013	0.0074
25/05/2013	0.0032
02/06/2013	0.0051
09/06/2013	0.0161
24/06/2013	0.0076
01/07/2013	0.0034
16/07/2013	0.0050
23/07/2013	0.0050
07/08/2013	0.0234
14/08/2013	0.0039
29/08/2013	0.0059
05/09/2013	0.0032
20/09/2013	0.0051
27/09/2013	0.0030
12/10/2013	0.0054
19/10/2013	0.0049
03/11/2013	0.0043
17/11/2013	0.0061
25/11/2013	0.0043

11/12/2013	0.0682
19/12/2013	0.0619
24/12/2013	0.0514
26/12/2013	0.0537
28/12/2013	0.0385
Promedio	0.0135

Tabla 4.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2014.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
01/01/2014	0.2772
20/01/2014	0.0046
27/01/2014	0.0034
11/02/2014	0.0072
18/02/2014	0.0035
05/03/2014	0.0049
12/03/2014	0.0046
03/04/2014	0.0084
10/04/2014	0.0052
02/05/2014	0.0069
09/05/2014	0.0028
31/06/2014	0.0046
10/12/2014	0.0025
15/12/2014	0.0031
25/12/2014	0.0116
Promedio	0.0233

Tabla 5.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2015.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
02/01/2015	0.0111
10/01/2015	0.0044
20/01/2015	0.0026
30/01/2015	0.0034
09/02/2015	0.0057
19/02/2015	0.0048
01/03/2015	0.0045
11/03/2015	0.0120
21/03/2015	0.0023
31/03/2015	0.0026
10/04/2015	0.0022
20/04/2015	0.0086
30/04/2015	0.0057
10/05/2015	0.0053
20/05/2015	0.0053
19/06/2015	0.0142
19/07/2015	0.0049
29/07/2015	0.0055
05/08/2015	0.0116
15/08/2015	0.0078
25/08/2015	0.0038
07/09/2015	0.0060
17/09/2015	0.0046
27/09/2015	0.0051
07/10/2015	0.0042
17/10/2015	0.0069
27/10/2015	0.0026
06/11/2015	0.0061
16/11/2015	0.0021
26/11/2015	0.0013
Promedio	0.0056

Tabla 6.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2016.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
02/01/2016	0.0235
14/01/2016	0.0032
26/01/2016	0.0044
07/02/2016	0.0024
26/03/2016	0.0067
07/04/2016	0.0055
19/04/2016	0.0062
01/05/2016	0.0034
13/05/2016	0.0056
25/05/2016	0.0032
06/06/2016	0.0042
18/06/2016	0.0038
30/06/2016	0.0050
05/08/2016	0.0052
29/08/2016	0.0029
10/09/2016	0.0148
22/09/2016	0.0042
28/10/2016	0.0081
23/11/2016	0.0053
05/12/2016	0.0048
25/12/2016	0.0063
Promedio	0.0061

Tabla 7.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2017.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
03/01/2017	0.0052
23/01/2017	0.0213
04/02/2017	0.0038

24/02/2017	0.0026
03/03/2017	0.0048
20/03/2017	0.0033
01/04/2017	0.0033
28/04/2017	0.0069
13/05/2017	0.0041
24/05/2017	0.0043
08/06/2017	0.0108
18/06/2017	0.0055
02/08/2017	0.0054
10/08/2017	0.0049
24/08/2017	0.0065
08/09/2017	0.0172
18/09/2017	0.0033
01/10/2017	0.0029
14/10/2017	0.0050
22/10/2017	0.0039
22/11/2017	0.0064
18/12/2017	0.0034
Promedio	0.0061

Tabla 8.

Registros de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el año 2018.

Fecha de muestreo	Plomo-$\mu\text{g}/\text{m}^3$
01/01/2018	0.0060
19/05/2018	0.0056
21/06/2018	0.0070
18/07/2018	0.0049
16/08/2018	0.0044
13/09/2018	0.0056
02/10/2018	0.0052
17/11/2018	0.0048
06/12/2018	0.0060
Promedio	0.0055

3.1.2. Comportamiento de la concentración anual de plomo atmosférico

En la tabla 9 y en la figura 1 podemos observar que la concentración anual de plomo se comportó de manera muy homogénea, salvo en los años 2013 ($0.0135 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2014 ($0.0233 \mu\text{g}/\text{m}^3$) donde se observan marcados ascensos en este indicador.

Tabla 9.

Promedio de concentración de plomo atmosférico en Cajamarca, tomados durante el período 2012 - 2018.

Año de muestreo	Plomo- $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2012	0.0064
2013	0.0135
2014	0.0233
2015	0.0056
2016	0.0061
2017	0.0061
2018	0.0055

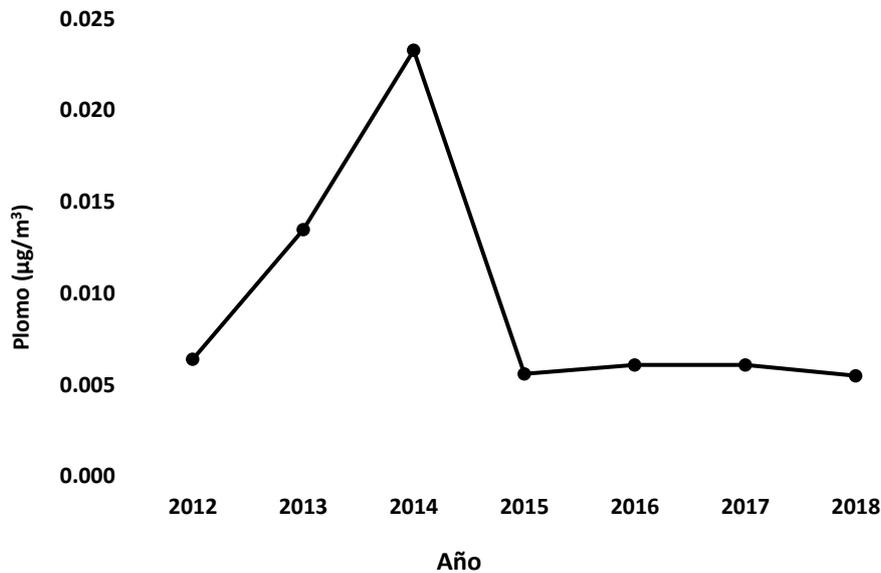


Figura 1. Comportamiento anual de la concentración de plomo atmosférico, durante los años 2012 – 2018.

3.1.3. Tasa de variación (%)

En la tabla 10 podemos observar que la variación anual de la concentración de plomo atmosférico fue negativa para los años 2015 y 2018, dado que en estos años se dieron descensos de la concentración de este indicador, -75.97 % y -9.84 %; respectivamente. Así mismo, en la figura 2 vemos que la tasa de variación anual, generalmente, tuvo un comportamiento descendente, siendo más marcado para el año 2015.

Tabla 10.

Variación anual y tasa de variación anual de la concentración de plomo atmosférico, durante los años de estudio.

Años	Variación anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tasa de variación anual (%)
2013	0.0071	110.94
2014	0.0098	72.59
2015	-0.0177	-75.97
2016	0.0005	8.92
2017	0.0000	0.00
2018	-0.0006	-9.84

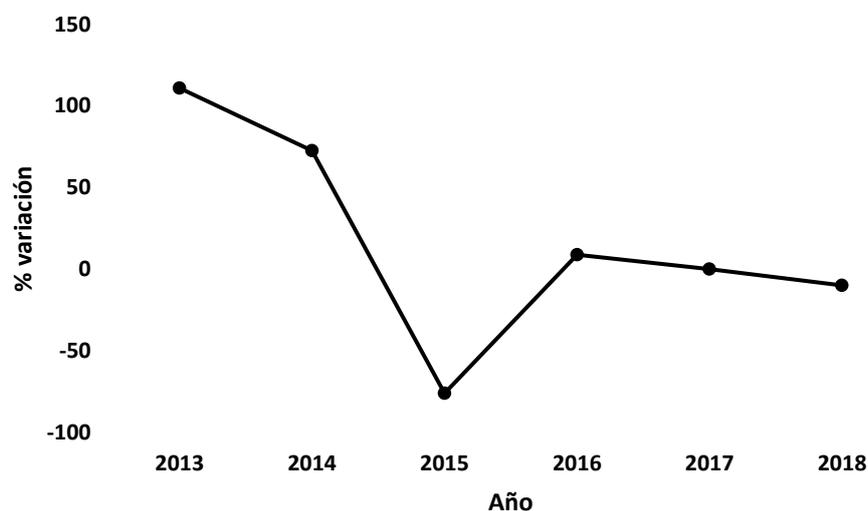


Figura 2. Comportamiento de la tasa de variación anual, durante los años 2012 – 2018.

3.2. Comparación de los resultados con los Estándares Nacionales de Calidad

Ambiental

Al comparar nuestros resultados con la normativa actual vigente (figura 3), dada por el Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MINAM , vemos que los promedio anuales de presencia de plomo, expresado en $\mu\text{m}/\text{m}^3$, aún no han superado el valor recomendado

del ECA, por lo que podemos afirmar que la presencia de plomo en el aire de nuestra ciudad aún no llega a ser perjudicial para la salud humana.

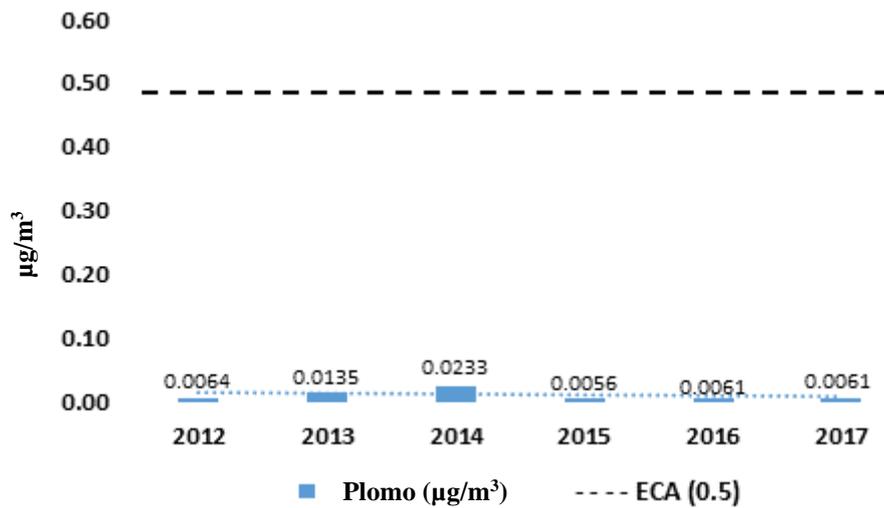


Figura 3. Comparación de los valores de plomo obtenidos con los expresados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA – D.S. N° 003 – 2017 – MINAM).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico

Se puede observar que las mayores concentraciones de plomo atmosférico se dieron durante primeros años de estudio, donde también se dan las mayores tasas de variación de este indicador. Esto, probablemente, se deba a que, en estos primeros años de estudio, se reportaron mayor cantidad de vehículo en nuestra ciudad, en comparación a los demás años: 2012: 8626 vehículos inscritos, 2013: 7173 vehículos inscritos; según el reporte de vehículos de transporte público reportados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca (MPC, 2019; C.P.) y por la Dirección Regional de Transportes (DRT, 2019; C.P.).

4.1.2. Comparación de los resultados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental

Se comparó los resultados con el Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MINAM, y se observó que los promedios anuales de presencia de plomo, expresado en μm^3 , aún no han superado el valor recomendado del ECA, por lo que podemos afirmar que la presencia de plomo en el aire de nuestra ciudad aún no llega a ser perjudicial para la salud humana. Estos resultados coinciden con los encontrados por Araujo (2016), quien al igual que este estudio, también encuentra una tendencia al aumento de este indicador, en el tiempo.

4.2 Conclusiones

- Se llegó a determinar que la calidad de aire de la Estación La Colmena, aún es considerada óptima, con relación a la concentración de plomo atmosférico, haciendo una comparación con los ECA del Decreto Supremo N° 003 – 2017 - MINAM.
- Se determinó la tasa de variación de la concentración de plomo atmosférico, de los años 2012 – 2018, y en general ésta tiende a disminuir a lo largo de los años, siendo el año 2015, donde se obtuvo ($0.0056 \mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo el descenso más marcado.
- Las concentraciones de plomo atmosférico registrados no exceden los parámetros exigidos por los ECA, según D.S. N° 003 – 2017 – MINAM.

REFERENCIAS

- Aguilar, S. (1997). *El reto del medio ambiente*. Alianza. Madrid.
- Alonso, E. y Gómez, F. (2005). *Caracterización experimental de los niveles de la concentración de partículas correspondientes a la fracción submicrométrica y del “black carbón” en PM₁₀ y PM_{2.5} en aire ambiente en la Urbanización “El Quiñón” (Seseña). Madrid, España.*
- Araujo, C. (2016). *Costos externos de la contaminación ambiental del aire en la ciudad de Cajamarca. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Cajamarca.*
- Balcázar, D. V. (2013). *Análisis del nivel de contaminación atmosférica ocasionado por la emisión de gases de escape del parque automotor en la ciudad de Loja (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay), Cuenca – Ecuador.*
- Billet, S. et al. (2007). *Ambient Particulate Matter (PM_{2.5}): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549) Environmental Research 105, 212-223.*
- Caminos, J. A., Enrique, C., Ghirardi, R., Graizaro, A., Rusillo, S. L., Pacheco, C. G. (2011). *Calidad de Aire en la Ciudad de Santa Fe. Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Editorial UTN, 1-42.*
- Collazos, J. (2008). *Manual de Evaluación Ambiental de Proyectos Editorial San Marcos E.I.R.L. Editor- Primera Edición: 2003, Segunda Edición: 2009.*
- Condori, L. et al. (2013). *Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM₁₀), en Cunduacán, Tabasco, Universidad y Ciencia: 26(2), 151- 162.*

- Desamparados, R. (2012). *Contaminantes atmosféricos particulados: Evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón*. (Tesis de pregrado) Universidad JAUME I. Castellón, España.
- Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*.
http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf
- Fernández, R. (2012). *Origen y características de las partículas finas y ultra finas en el aire ambiente de Huelva*. (Tesis doctoral) Universidad de Huelva, España.
- Fondo Nacional de Medio Ambiente (FONAM). (2004). *Estudio Transporte Urbano*. Lima- Perú. S.n.t. 158 p.
- García, F. (2002). *Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta, Colombia*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 24, 2.
- García, R. (2006). *Análisis del incremento de la emisión de gases y humos particulados por vehículos de automotores de transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Cajamarca*. Tesis Mag. Sc. UNC. 60 p.
- Herrera, J. (2011). *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 2011*. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 48(2), 5-19.
- Huamán, S. (2007). *Estudio del congestionamiento vehicular en la zona monumental de la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca - Perú: S/E, 2007. 1.
- Juárez Bringas, D. M., Osorio Villanueva, R. R. (2018). *Modelamiento de la*

dispersión del plomo en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca, en los años, 2015-2017 (Tesis Parcial).

- Korc, M. E., Figari Bello, A., Bravo Ordóñez, A., Pareja, S., Ignacio, J. (2000). *Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de Lima y Callo*. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 27 (pp. 1-4). ABES.
- Maltoni, C., Scarnato, P. (1977). *En la unidad experimental Bientivoglio del Instituto de Oncología de Boloña, Italia*. S.n.t. 225 p.
- Martos, W. (2013). *Monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca*. Prácticas profesionales. Universidad Nacional de Cajamarca.
- McGraw, H. (2009). *Contaminación atmosférica*. (10): 234 – 262.
- Méndez Montoya, J. J. (2017). *Parque automotor y contaminación ambiental en el Centro Histórico de Lima*.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire*. Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MIMAM. Lima. Retrieved (<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>).
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2013). *Informe Nacional de la Calidad del aire 2013 – 2014*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC. (2006). *Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares*. Lima, Perú.

- Moreano, D. et al. (2012). *Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO*. (Tesis pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2009). *Proyecto: Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en la Provincia de Cajamarca*. Gerencia de Desarrollo Ambiental. Sub Gerencia de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cajamarca, Perú.
- National Toxicology Program (2004). *Lead and lead compounds*. [en línea] Report on Carcinogens. Background Documents & Public Comments for the Nominations to the 11th RoC. Disponible en: <http://ntp.niehs.nih.gov/index.cfm?objectid=03CA0BBE-9561-1E86-6438319191108C7E>. Revisado: 23/02/2019
- Organismo Mundial de la Salud (OMS). (2005a). *Principales emisiones antropogénicas*. Consultado el 09 de oct. 2018. Disponible <http://www.mediacentre/oms.html>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Guías para la calidad del aire*, Lima, p.5 en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>
- Palacios, F. (2010). *Medidas de Inmisión para Partículas Totales Suspendidas y Metales Pesados en Muestras de Aire av. Mariscal sucre, sector el tejlar, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador*: Universidad Internacional SEK.
- Palacio, S.C.; Mejía, J.E. (2014). *Determinación de las concentraciones de plomo presentes en el material particulado (TSP, PM10), y correlación con los casos de*

enfermedades respiratorias en grupos etarios sensibles de la localidad de los Mártires.

- Quispe, A. (2013). *Grado de exposición a contaminantes ambientales y frecuencia a consultas por IRAS en menores de 5 años, distrito de Ate Vitarte, Lima Perú. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.*
- Quispe, L. A. (2018). *Evaluación del monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca como una medida de diagnóstico y control del nivel de contaminación de la zona-2017.*
- Restrepo, Á. H., Izquierdo, S., López, R. A. (2007). *Estimación de factores que inciden sobre la contaminación ambiental generada por fuentes móviles en Pereira. Scientia et technica, 1(37).*
- Roberts, A. (2009). *Manual de Control de la Calidad del Aire. México, Tomo I, p.2,5*
- Saavedra, J. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular. Lima: Universidad Agraria La Molina.*
- Saldaña Ramírez, R. (2017). *Emisión de gases por el parque automotor y su repercusión en la contaminación del aire en la ciudad de Iquitos en el año 2015.*
- Toro, M. et al. (2001). *Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión corinair. Grupo de Investigaciones Ambientales – GIA. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Acodal, 191, 42-49.*

- SWISSCONTACT. (2004). *Manual de Gestión de la Calidad del aire*. Lima, p.7
- Viana, M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. (Tesis Doctoral), Universidad de Barcelona, España.*

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de operacionalización de variables.

Definición conceptual de las variables/categorías	Variables	Dimensiones	Indicadores
Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes.	Fuente móvil	Servicio del transporte público	Número de vehículos del transporte público
La concentración de plomo hace referencia a la proporción de plomo disuelto o presente en la atmósfera.	Concentración de Plomo	Gases de Plomo en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. D.S. N° 003 – 2017 – MINAM

Variable independiente: Fuente Móvil

Variable independiente: Concentración de Plomo

Anexo 2. Data proporcionada por la Municipalidad Provincial de Cajamarca (Plomo atmosférico).

Análisis: Plomo			Método: EPA IO - 3.4		
Código de laboratorio	Descripción de la muestra	Fecha de la muestra	Límite de cuantificación	Resultados (microgramos por metro cúbico)	Fecha de análisis
1301065-33	E-LC	28/06/2012	0.0005	0.0093	11/01/2013
1301065-34	E-LC	05/07/2012	0.0005	0.0097	11/01/2013
1301065-36	E-LC	21/07/2012	0.0005	0.0087	11/01/2013
1301065-37	E-LC	06/08/2012	0.0005	0.0055	11/01/2013
1301065-39	E-LC	22/08/2012	0.0005	0.0055	11/01/2013
1301065-41	E-LC	07/09/2012	0.0005	0.0073	11/01/2013
1301065-44	E-LC	09/10/2012	0.0005	0.0090	11/01/2013
1301065-46	E-LC	25/10/2012	0.0005	0.0100	11/01/2013
1301065-35	E-LC	13/07/2012	0.0005	0.0060	11/01/2013
1301065-38	E-LC	14/08/2012	0.0005	0.0087	11/01/2013
1301065-40	E-LC	30/08/2012	0.0005	0.0062	11/01/2013
1301065-43	E-LC	01/10/2012	0.0005	0.0057	11/01/2013
1301065-45	E-LC	17/10/2012	0.0005	0.0057	11/01/2013
1301065-47	E-LC	02/11/2012	0.0005	0.0108	11/01/2013
1301057-01	E-LC	10/11/2012	0.0005	0.0060	10/01/2013
1301057-02	E-LC	19/11/2012	0.0005	0.0040	10/01/2013
1301057-03	E-LC	25/11/2012	0.0005	0.0020	10/01/2013
1301057-04	E-LC	04/12/2012	0.0005	0.0040	10/01/2013
1301057-05	E-LC	12/02/2012	0.0005	0.0040	10/01/2013
1301057-06	E-LC	20/12/2012	0.0005	0.0040	10/01/2013
1301057-07	E-LC	28/12/2012	0.0005	0.0050	10/01/2013

Código de laboratorio	Descripción de la muestra	Fecha de la muestra	Límite de cuantificación	Resultados (microgramos por metro cúbico)	Fecha de análisis
1301057-08	E-LC	01/01/2013	0.0005	0.025	10/01/2013
1305213-01	1	21/01/2013	0.0005	0.0036	21/05/2013
1305213-02	2	12/02/2013	0.0005	0.0038	21/05/2013
1305213-03	3	19/02/2013	0.0005	0.0023	21/05/2013
1305213-04	4	06/03/2013	0.0005	0.0043	21/05/2013
1305213-05	5	13/03/2013	0.0005	0.0029	21/05/2013
1305213-06	6	28/03/2013	0.0005	0.0024	21/05/2013
1305213-07	7	04/04/2013	0.0005	0.0093	21/05/2013
1305213-08	8	19/04/2013	0.0005	0.0047	21/05/2013
1305213-09	9	26/04/2013	0.0005	0.0032	21/05/2013
1309323-14	Muestra 14	11/05/2013	0.0005	0.0074	19/09/2013
1309323-15	Muestra 15	25/05/2013	0.0005	0.0032	19/09/2013
1309323-16	Muestra 16	02/06/2013	0.0005	0.0051	19/09/2013
1309323-17	Muestra 17	09/06/2013	0.0005	0.0161	19/09/2013
1309323-18	Muestra 18	24/06/2013	0.0005	0.0076	19/09/2013
1309323-19	Muestra 19	01/07/2013	0.0005	0.0034	19/09/2013
1309323-20	Muestra 20	16/07/2013	0.0005	0.005	19/09/2013
1309323-21	Muestra 21	23/07/2013	0.0005	0.005	19/09/2013
1309323-22	Muestra 22	07/08/2013	0.0005	0.0234	19/09/2013
1309323-23	Muestra 23	14/08/2013	0.0005	0.0039	19/09/2013
1309323-24	Muestra 24	29/08/2013	0.0005	0.0059	19/01/2013
130718-01	E-LC-1	05/09/2013	0.0005	0.0032	04/11/2013
130718-02	E-LC-2	20/09/2013	0.0005	0.0051	04/11/2013
130718-03	E-LC-3	27/09/2013	0.0005	0.003	04/11/2013
130718-04	E-LC-4	12/10/2013	0.0005	0.0054	04/11/2013
130718-05	E-LC-5	19/10/2013	0.0005	0.0049	04/11/2013
1312188-01	1	03/11/2013	0.0005	0.0043	28/12/2013
1312188-02	2	17/11/2013	0.0005	0.0061	28/12/2013
1312188-03	3	25/11/2013	0.0005	0.0043	28/12/2013
1401148-01		11/12/2013	0.0005	0.06822	14/01/2014
1401148-02		19/12/2013	0.0005	0.06194	14/01/2014
1401148-03		24/12/2013	0.0005	0.05139	14/01/2014
1401148-04		26/12/2013	0.0005	0.05365	14/01/2014
1401148-05		28/12/2013	0.0005	0.03848	14/01/2014

Código de laboratorio	Descripción de la muestra	Fecha de la muestra	Límite de cuantificación	Resultados (microgramos por metro cúbico)	Fecha de análisis
1401148-06		01/01/2014	0.0005	0.2772	14/01/2014
1403484-01	1	20/01/2014	0.0005	0.0046	28/03/2014
1403484-02	2	27/01/2014	0.0005	0.0034	28/03/2014
1403484-03	3	11/02/2014	0.0005	0.0072	28/03/2014
1403484-04	4	18/02/2014	0.0005	0.0035	28/03/2014
1403484-05	5	05/03/2014	0.0005	0.0049	28/03/2014
1403484-06	6	12/03/2014	0.0005	0.0046	28/03/2014
S-00010522443	1-E-LC	03/04/2014	NTP-900.030.2003	0.0084	10/07/2014
S-00010522444	2-E-LC	10/04/2014	NTP-900.030.2003	0.0052	10/07/2014
S-00010522445	3-E-LC	02/05/2014	NTP-900.030.2003	0.0069	10/07/2014
S-00010522446	4-E-LC	09/05/2014	NTP-900.030.2003	0.0028	10/07/2014
S-00010522447	5-E-LC	31/6/2014	NTP-900.030.2003	0.0046	10/07/2014
S-0001118304	E-LC	10/12/2014	EPA Method IO-3.4 June 1999	0.0025	20/01/2015
S-0001118305	E-LC	15/12/2014	EPA Method IO-3.4 June 1999	0.0031	20/01/2015
S-0001118306	E-LC	25/12/2014	EPA Method IO-3.4 June 1999	0.0116	20/01/2015
S-0001118307	E-LC	01/01/2015	EPA Method IO-3.4 June 1999	0.0111	20/01/2015
S-0001118302	E-LC	10/01/2015	EPA Method IO-3.4 June 1999	0.0044	20/01/2015

Fecha de la muestra	Concentración de plomo (microgramos por metro cúbico)	Límite de cuantificación	ECA (microgramos por metro cúbico)
26/01/2016	0.0044	0.0005	1.5
07/02/2016	0.0024	0.0005	1.5
26/03/2016	0.0067	0.0005	1.5
07/04/2016	0.0055	0.0005	1.5
19/04/2016	0.0062	0.0005	1.5
01/05/2016	0.0034	0.0005	1.5
13/05/2016	0.0056	0.0005	1.5
25/05/2016	0.0032	0.0005	1.5
06/06/2016	0.0042	0.0005	1.5
18/06/2016	0.0038	0.0005	1.5
06/12/2016	0.005	0.0005	1.5
30/06/2017	0.0052	0.0005	1.5
29/08/2016	0.0029	0.0005	1.5
10/09/2016	0.0148	0.0005	1.5
22/09/2016	0.0042	0.0005	1.5
28/10/2016	0.0081	0.0005	1.5
23/11/2016	0.0053	0.0005	1.5
06/12/2016	0.0048	0.0005	1.5
25/12/2016	0.0063	0.0005	1.5
01/01/2017	0.0213	0.0005	1.5

Identificación de muestreo	Fecha de muestreo	Método de análisis	Resultados ug/m3	Fecha de análisis	Hora de muestreo
INFORME DE ENSAYO N° J-00290566					
E-LC	01/01/2018	NTP 900.030-2003	60	15/01/2018	0:00
INFORME DE ENSAYO N° J.-00301701					
E-LC	19/05/2018	NTP 900.030-2003	56	30/06/2018	0:00
E-LC	21/06/2018	NTP 900.030-2003	70	30/06/2018	0:00
INFORME DE ENSAYO N° J-00306903					
E-LC	18/07/2018	NTP 900.030-2003	49	11/09/2018	0:00
E-LC	16/08/2018	NTP 900.030-2003	44	11/09/2018	0:00
INFORME DE ENSAYO N° J-00309651					
E-LC	13/09/2018	NTP 900.030-2003	56	22/10/2018	0:00
E-LC	02/10/2018	NTP 900.030-2003	52	22/10/2018	0:00
INFORME DE ENSAYO N° J-00325878					
E-LC	17/11/2018	NTP 900.030-2003	48	10/01/2019	0:00
E-LC	06/12/2018	NTP 900.030-2003	60	10/01/2019	

LISTA DE ABREVIATURAS

DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental
ECA:	Estándar de Calidad Ambiental.
EPA:	Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
INCA:	Índice de Calidad del aire
LMP:	Límite Máximo Permisible
MINAM:	Ministerio del Ambiente.
MP:	Material Particulado
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS:	Organización Mundial de Salud.
SINIA:	Sistema Nacional de Información Ambiental
SNGA:	Sistema Nacional de Gestión Ambiental
ZAP:	Zona de Atención Prioritaria