



DETERMINATION OF THE CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS PRESENT IN THE PARTICULAR MATERIAL PM₁₀ OF THE MUNICIPALITY OF SAN JOSE DE CUCUTA, NORTE DE SANTANDER

DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL MATERIAL PARTICULADO PM₁₀ DEL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

Trujillo, J. E.*; Caballero, J. E.¹; Ramón, J. D.².

* M.Sc. Ingeniería Ambiental. Corporación Autónoma de la Frontera
Nororiental CORPONOR
e-mail: jetruc8@gmail.com

¹Ingeniería Ambiental. Universidad de Pamplona.
e-mail: jhon.caballero@unipamplona.edu.co

²PhD. Docente Investigador. Universidad de Pamplona.
e-mail: jarol.ramon@unipamplona.edu.co

Entidad

Ciudadela Universitaria. Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140
<http://www.unipamplona.edu.co/>

Resumen

El aumento drástico de la población y por consiguiente el aumento del consumismo es un problema que representa repercusiones a nivel global. Una de ellas es la disminución de la calidad del aire que presenta afectación por actividad antropogénica. Dentro de los principales contaminantes se encuentra el material particulado PM₁₀, el cual puede contener contaminantes como algunos tipos de hidrocarburos y metales pesados que, dependiendo de su concentración, tiempo de exposición y toxicidad pueden llegar a ser mortales o causar grandes problemas en la salud a corto o a largo plazo, cabe mencionar que no solo pueden afectar al cuerpo humano sino a todos los seres vivos en general. La calidad del aire se monitorea en el municipio de Cúcuta con el fin de vigilar los niveles de contaminación por material particulado (PM₁₀) en diferentes áreas que pueden ser influenciados por fuentes como flujo vehicular y procesos industriales. La Red de Calidad de Aire de Cúcuta cuenta con tres estaciones de monitoreo con equipos Hi-Vol para PM₁₀. En este contexto, se determinaron los metales pesados presentes en las muestras de material particulado PM₁₀, empleando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el





laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona. Se identificaron trazas de Plomo, Zinc, Manganeso, Cobre y Cromo en los filtros de material particulado PM₁₀, siendo el cobre el que presentó mayores concentraciones, detectándose los valores máximos en la estación Panamericana, a diferencia de la estación Cinera que presentó muy bajas concentraciones.

Palabras clave: Calidad de aire, espectrometría de absorción atómica, fracción respirable y sistemas de información geográfica.

Abstract

The drastic increase of the population and consequently the increase in consumerism is a problem that is having repercussions globally. One of them is the decrease in air quality that is being affected by anthropogenic activity. Among the main pollutants is the PM 10 particulate material, which may contain pollutants such as certain types of hydrocarbons and heavy metals that, depending on their concentration, exposure time and toxicity, can become deadly or cause major problems. short or long-term health, it should be mentioned that not only can affect the human body but all living beings in general. The air quality is monitored in the municipality of Cucuta in order to monitor the levels of particulate matter pollution (PM 10) in different areas that can be influenced by sources such as vehicular flow and industrial processes. The Air Quality Network of Cucuta has three monitoring stations with Hi-Vol equipment for PM 10. In this context, the heavy metals present in PM 10 particulate samples were determined, using the Atomic Absorption Spectrophotometry technique in the Control and Quality laboratory of the University of Pamplona. Traces of Lead, Zinc, Manganese, Copper and Chromium were identified in PM 10 particulate filters, with copper having the highest concentrations, detecting the maximum values in the Pan American station, unlike the Cinera station, which presented very low levels. concentrations.

Keywords: Air quality, atomic absorption spectrometry, breathable fraction and geographic information systems.

1. Introducción

La contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo o tercermundistas (Arciniegas et al., 2005). Dentro de los principales contaminantes se encuentra las partículas suspendidas totales (PST), así mismo el material particulado PM₁₀ y el PM_{2.5}, los cuales presentan su foco de emisión por fuentes móviles y puntuales, principalmente por la combustión no solo de combustibles fósiles sino en general cualquier tipo de combustible, siendo el PM₁₀ el de mayor repercusión sobre la contaminación global en general y la salud humana (OMS, 2014; Melo et al, 2017).

El material particulado puede contener otro tipo de contaminantes como algunos tipos de hidrocarburos y metales pesados que, dependiendo de su concentración, tiempo de exposición y toxicidad del mismo pueden llegar a ser mortales o causar grandes problemas en la salud a corto o a largo plazo, cabe mencionar que no solo pueden afectar al cuerpo humano sino a todos los seres vivos en general.

El material particulado PM₁₀ es una fracción respirable, es decir la cantidad de aire que respiramos o inhalamos y que ingresa directamente a nuestros pulmones por medio del aparato respiratorio también conocido como polvo en suspensión (Quijano, 2010; Velandia et al, 2016; Espinel et al 2016). El PM₁₀ es uno de los contaminantes de calidad del aire más





importantes y que tiene repercusiones sobre la salud humana. Según Velazco (2005), se considera que alrededor de 27 metales son tóxicos en mayor o menor proporción, siendo los de mayor peligro en el aire mercurio (Hg), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), berilio (Be) y antimonio (Sb), siendo su foco de emisión de origen industrial.

Así mismo, a nivel mundial existe gran preocupación por la contaminación de metales pesados en la atmosfera, los cuales son producidos por actividad antropogénica principalmente en industrias teniendo grandes repercusiones sobre la salud humana y el medio ambiente en general. Independientemente del tipo de metal éstos se acumulan en nuestro organismo y no pueden ser eliminados.

Los metales pesados se consideran de gran importancia en las reacciones de combustión por combustibles fósiles, de esta manera la zona de emisión está ubicada en el centro de la ciudad de Cúcuta para medir el impacto de las fuentes móviles en la calidad del aire, además basándose en la importancia que tiene conocer la composición del material particulado PM10 además el comportamiento que estos puedan tener, para que así de esta manera se pueda tener indicios de la calidad del aire que en estos momentos están respirando los habitantes de la ciudad de Cúcuta y las posibles afecciones que puedan tener los metales encontrados sobre la población. Cabe mencionar que los factores climáticos y atmosféricos juegan un papel importante en la composición del material particulado PM10 y en su comportamiento siendo de mayor influencia la temperatura, radiación solar, precipitación y, dirección y velocidad de los vientos.

1.1 Material Particulado PM10

El material particulado (PM) es una compleja mezcla de partículas

suspendidas en el aire las que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones. La agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) y otras agencias alrededor del mundo regulan el nivel de partículas en el ambiente de un diámetro inferior a 10 micras (PM10) y también partículas inferiores a 2.5 micras de diámetro (PM2.5) (Talsa, 2003; Angulo et al, 2017).

1.1.1 Fuentes de Generación.

Algunas partículas, conocidas como partículas primarias, son emitidas directamente por una fuente, por ejemplo, los automóviles, autobuses y camiones de carga, industrias, ciertos comercios, obras de construcción, vías sin pavimentar, chimeneas, humo de cigarrillo o incendios. Otras, nombradas partículas secundarias, son formadas por medio de complicadas reacciones en la atmosfera, a partir de otros químicos emitidos por plantas de generación de energía, industrias y automóviles. (Green, 2013; Villamizar y Justinico, 2017).

1.1.2 Efectos sobre la salud y el ambiente.

La exposición prolongada o repetitiva a las PM10 puede provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de la persona. No obstante, son menos perjudiciales que las PM2.5, ya que, al tener un mayor tamaño, no logran atravesar los alveolos pulmonares, quedando retenidas en la mucosa que recubre las vías respiratorias superiores (figura 1). La primera directiva de la calidad del aire, indica que para la protección de la salud no pueden superarse los 150 nanogramos por metro cúbico normalizado durante 24 horas. La mayoría de estas partículas precipitan en la tierra, provocando una capa de polvo en la superficie que puede afectar seriamente a la salud tanto de los organismos terrestres como los organismos acuáticos (PRTR, 2007; La Rotta y Ramón, 2018).





Los excesos en la mortalidad han sido asociados a la exposición de la salud humana a contaminantes particulados (Brunekreef y Holgate, 2002). En el caso de las partículas, las concentraciones más elevadas suelen encontrarse en las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos. Existe una gran relación entre la exposición a altas concentraciones de partículas (PM10 y PM2.5) y el aumento de la mortalidad diaria y a largo plazo. Por lo contrario, cuando estas concentraciones son reducidas, la mortalidad también descende, presentando una relación directamente proporcional (OMS, 2014; Vanegas et al, 2017). La contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud.

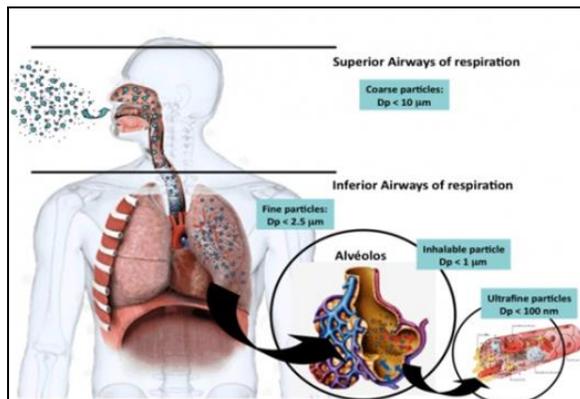


Figura 1. Material particulado en el cuerpo humano. **Fuente:** OMS (2014).

1.2 Metales Pesados

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como, por ejemplo, el plomo que se utiliza mucho para tubería, y el cadmio. Respecto a la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos. (Eróstegui, 2009; Gutiérrez et al, 2017).

No todos los metales de densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales (algunos de ellos son necesarios para el ser humano). No obstante, hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). En ocasiones se incluye al hablar de contaminación por metales pesados a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As). La peligrosidad de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) y, además, tienden a bioacumularse y a biomagnificarse (que significa que se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, y que estas concentraciones aumentan a medida que ascendemos en la cadena trófica), provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. En el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos (dolores crónicos, problemas sanguíneos, etc) y efectos psíquicos (ansiedad, pasividad, etc). (Ministerio de Agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España).

1.2.1 Exposición a metales pesados y sus efectos en la salud y el ambiente

La presencia de metales en el ambiente se da por vía natural y antropogénica. Se movilizan en matrices de agua, suelo y aire. Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicos. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas, por





ejemplo, material particulado ($>0,45 \mu\text{m}$), coloidal ($1 \text{ nm}-0,45 \mu\text{m}$) y especies disueltas ($=1 \text{ nm}$) (Martorell J.J., 2010; Rodríguez, 2017).

La materia particulada y coloidal, tanto orgánica como inorgánica, desempeña un papel clave en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción, los cuales influyen en los tiempos de residencia y transporte de los metales trazas desde la columna de agua a los sedimentos y a otras matrices. La inhalación y la ingesta de alimentos, son dos de las causas más sobresalientes de contaminación. Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados. La fuente de contaminación y su incorporación en la cadena alimenticia se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Fuentes de contaminación por metales pesados en aire, agua, suelo y plantas. **Fuente:** Reyes et al., (2016).

Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición

prolongada o por bio-acumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Combariza, 2009; Nava-Ruiz & Méndez, 2011; Moreno y Rueda, 2016). A nivel global, se han reportado casos que dan cuenta de las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados.

1.3 Espectrometría de Absorción Atómica

Es una técnica utilizada para determinar la concentración de elementos metálicos en una muestra. Es la principal técnica usada para este fin y puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución. Los electrones de los átomos absorben una cantidad de energía (luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular correspondiendo cada longitud de onda a un elemento en específico.

Al ser la cantidad de energía en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado medible, de esta manera es posible, a partir de la ley de Beer-Lambert, determinar una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide.

Una muestra de líquido normalmente se convierte en gas atómico en tres pasos:

1. **Desolvación:** El líquido disolvente se evapora, y la muestra permanece seca.
2. **Vaporización:** La muestra sólida se evapora a gas.
3. **Atomización:** Los compuestos que componen la muestra se dividen en átomos libres.





La espectrometría de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores. Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica son los similares a los de un fotómetro o espectrofotómetro de flama, excepto que en EAA se requiere de una fuente de radiación necesaria para excitar los átomos del analito.

Los componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica se representan en la Figura 3.

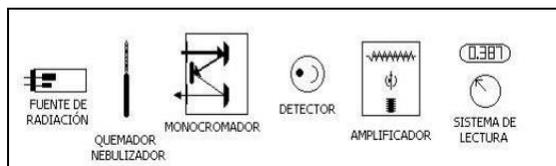


Figura 3. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica.
Fuente: ROCHA (2000).

2. METODOLOGIA

2.1 Zona de Estudio

La zona de estudio está compuesta por tres estaciones de calidad del aire que miden PM_{10} ; estas componen la red de vigilancia de la calidad de aire, las cuales fueron instaladas en el año 2009 por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Las estaciones son: Cinera, Sena y Panamericana. La red de la calidad del aire permite el acopio de información para

la toma de decisiones en materia de políticas de control de la contaminación atmosférica y la evaluación del impacto de la misma, también permite informar a los ciudadanos sobre los niveles de contaminación del aire en los distintos sectores productivos cumpliendo con su objetivo principal, el cual es ejercer control, seguimiento y monitoreo a las fuentes fijas y móviles de contaminación atmosférica en el área metropolitana de Cúcuta (CORPONOR, 2009; Kristinne et al, 2015).

La Figura 4 representa la localización de las 3 estaciones de monitoreo de material particulado PM_{10} y la estación meteorológica Camilo Daza, ubicada en el aeropuerto del municipio.

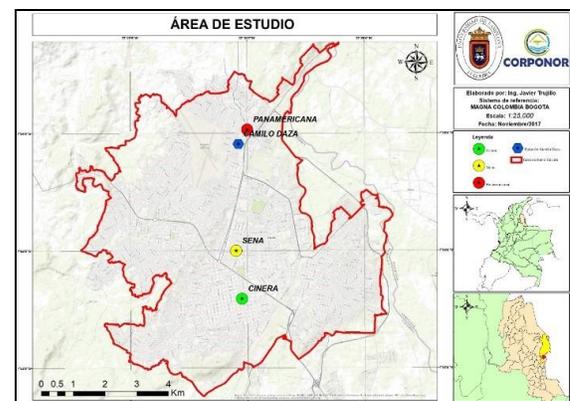


Figura 4. Localización general zona de estudio. **Fuente:** elaboración propia.

2.2 Muestreo

Para la determinación de las zonas de muestreo se tiene en cuenta las estaciones de calidad del aire de CORPONOR ubicadas en el municipio de San José de Cúcuta, además de diversos factores como tráfico automotor y densidad demográfica, siendo muy relevante la determinación de la zona de referencia en la cual se realizará la comparación con las zonas de emisión y dispersión. Luego se solicitan a CORPONOR los filtros de material particulado PM_{10} de las estaciones





Cinera, Panamericana y Sena. El equipo Hi-Vol atrapa el aire en uno filtros que posteriormente se extraen y se miden las concentraciones de material particulado PM10 (Ramón et al, 2013).

2.3 Detección y análisis de metales

Para la detección y el análisis de los metales recolectados en las muestras de material particulado de Cúcuta se utiliza el espectrofotómetro de absorción atómica AA-7000 Shimadzu, ubicado en el laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona, basado en la metodología EN-5 análisis de metales en aire contaminado. Se prepara una digestión del filtro cortado durante 30 minutos en 100 ml de HCl a fuego lento. Posteriormente se re disuelve después de extraer los sólidos en 10 ml de HCl y 10 gotas de HNO₃. Se filtra la solución a través de un papel filtro de cinta azul S&S #589 y aspirar a la llama. Se corre inicialmente un filtro blanco junto con las muestras para corregir el material extraído de los filtros de vidrio. Por último, se determina la concentración del metal analizado utilizando el procedimiento de rutina y la respectiva curva de calibración.

En la Figura 5 se resume la metodología a emplear para la detección de metales pesados por medio de la EAA.



Figura 5. Metodología para la determinación de metales pesados en el laboratorio.

Fuente: elaboración propia

2.4 Representación en Sistemas de Información Geográfica

Se representó espacialmente las concentraciones de metales pesados Pb, Zn, Cr, Cu y Mn presentes en el material particulado PM₁₀ registrado en las estaciones de monitoreo de Calidad del Aire del municipio de Cúcuta, indicando las áreas en las cuales se presenta las mayores concentraciones.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los principales elementos encontrados por la quema de combustibles fósiles, transformación de metales e incineración de residuos son el Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Sb (Gao et al., 2002). Los diferentes elementos presentes en las muestras del material particulado pueden estar asociados con materia mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y compuestos de carbono (Viana, 2003; Viana, Querol & Alastuey, 2006).

Los resultados se obtuvieron de acuerdo a la metodología planteada en el apartado anterior. Así mismo se presenta el análisis espacial de los metales pesados identificados, aplicando Sistemas de Información Geográfica (ArcGis).

3.1 Longitud de onda

Cada metal pesado que se identifica por medio de la espectrometría de absorción atómica es determinado a una longitud de onda específica. En la Tabla 1 y Figura 6 se especifica la longitud de onda a la que se determinaron los metales pesados presentes en las muestras de PM₁₀.

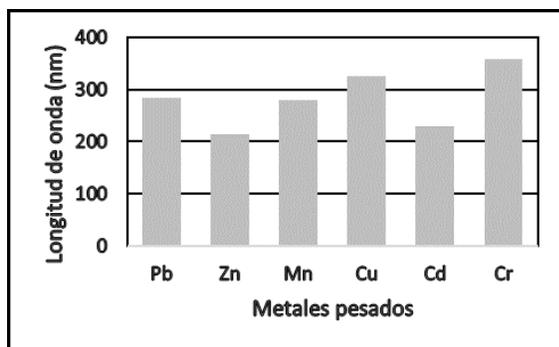
Como se observa en la Tabla 1 y la Figura 6, el metal que se determina a una mayor longitud de onda es el Cromo, seguido del Cobre y, por último, el Zinc; esto debido a las especificaciones de la técnica de espectrometría de absorción atómica.



**Tabla 1.** Longitud de Onda para la determinación de Metales Pesados.

Metales pesados	Longitud de onda (nm)
Pb	283.3
Zn	213.9
Mn	279.5
Cu	324.8
Cd	228.8
Cr	357.9

Fuente: elaboración propia.

**Figura 6.** Longitud de Onda para la determinación de Metales Pesados.

Fuente: elaboración propia.

3.2 Concentraciones de Metales Pesados

Se evaluaron las concentraciones de Plomo, Zinc, Manganeseo, Cobre, Cadmio y Cromo en las tres estaciones de monitoreo de calidad del aire en el municipio de Cúcuta, durante el mes de noviembre de 2015 (tabla 2). Las mayores concentraciones de metales, corresponden al cobre en la estación Panamericana, debido principalmente a su ubicación en una zona industrial y por la presencia de este metal en la utilización de combustibles fósiles para la actividad vehicular (fuentes móviles). El zinc es el segundo metal con mayores concentraciones identificadas en las tres estaciones. Las menores concentraciones de metales corresponden a Plomo en las tres estaciones, puesto que su presencia

en combustibles fósiles como la gasolina ha disminuido, de acuerdo a lo establecido por el gobierno en cuanto a la utilización de gasolina plomada.

Tabla 2. Concentraciones de Metales Pesados ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Metales/ Estaciones	Cinera	Sena	Panamericana
Pb	0.00051	0.00040	0.00062
Zn	0.00281	0.00392	0.00737
Mn	0.00056	0.00191	0.00587
Cu	0.00273	0.02029	0.08850
Cd	ND	ND	ND
Cr	0.00146	0.00086	0.00326

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las concentraciones determinadas de cada contaminante y su representación espacial en SIG (ArcGis). Cabe resaltar que el espectrofotómetro de absorción atómica no detectó trazas de Cadmio en las muestras analizadas de material particulado PM_{10} .

Se observa en la figura 7 que las máximas concentraciones de Plomo se presentan en la estación Panamericana, seguido de Sena. En la estación Cinera se determinaron las menores concentraciones; todo esto debido a la influencia de factores anteriormente descritos y a las concentraciones de PM_{10} registradas en cada estación. A pesar de esto, las concentraciones de Plomo son muy bajas, y no representan mayores afectaciones a la salud y al ambiente.

De igual manera que el Plomo, las máximas concentraciones de Zinc se presentan en la estación Panamericana y las menores en Cinera (figura 8). Teniendo en cuenta que la mayor actividad industrial se realiza en los alrededores de la estación Panamericana, las personas que trabajan diariamente en esta zona, en





diversas actividades como la construcción y talleres mecánicos pueden verse expuestos a la contaminación por Zinc. Es importante mencionar que la concentración promedio de Zinc durante un periodo de un año en un área cerca de una fuente industrial puede llegar a los 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ATSDR, 2003).

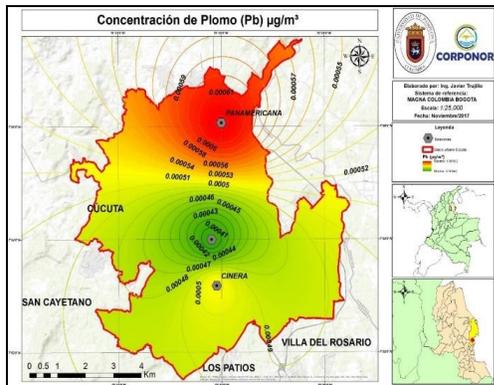


Figura 7. Distribución espacial de Plomo.
Fuente: elaboración propia.

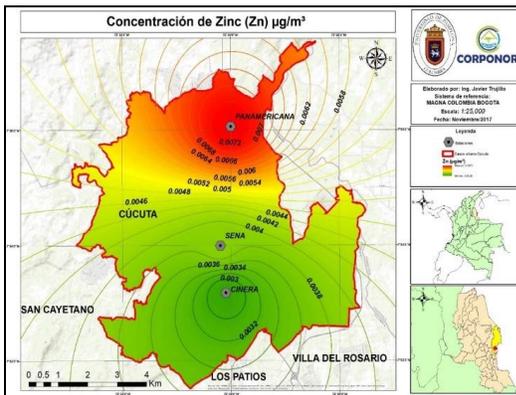


Figura 8. Distribución espacial de Zinc.
Fuente: elaboración propia.

El manganeso presenta en general el mismo comportamiento que el plomo y el zinc (figura 9); las mayores concentraciones se observan en la estación Panamericana, seguido de Sena y finalmente Cinera, sin embargo, las concentraciones determinadas de este metal son muy mínimas. Las concentraciones relativamente altas en Panamericana pueden estar asociadas a la contaminación por flujo vehicular y aéreo en los alrededores de la estación.

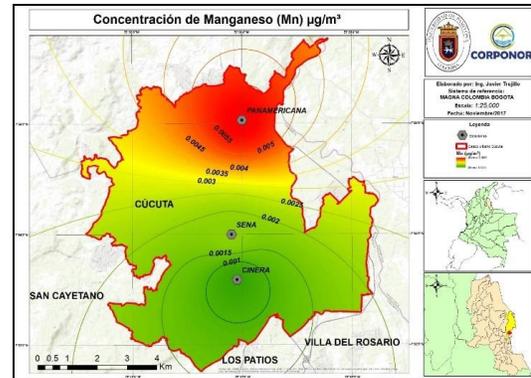


Figura 9. Distribución espacial de Manganeso.
Fuente: elaboración propia.

Los valores máximos de cobre también se detectaron en la estación Panamericana, además de bajas concentraciones en Cinera. La contaminación por Cobre está asociada a las emisiones por actividades industriales como la producción de pinturas y barnices, y en la fundición de acero, cobre y zinc por la utilización de algunos combustibles fósiles para el tránsito de vehículos (figura 10).

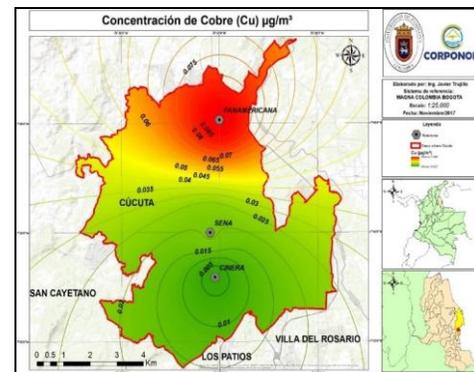


Figura 10. Distribución espacial de cobre.
Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, según se observa en la figura 11 que las concentraciones de cromo son mayores en la estación Panamericana. Sin embargo, se presenta un aumento en las concentraciones detectadas en Cinera. La contaminación por Cromo está asociada a los compuestos de cromo usados en procesos de manufactura de tinturas y pigmentos, preservación de cuero y madera. Además, el cromo hexavalente se presenta en los sistemas de refrigeración industrial como





en refineras de petrleo, plantas fabricadoras de qumicos y procesadoras de metales primarios. El Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA, 2003) establece una concentracin promedio a condiciones normales de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para este metal. Segun la organizacin Mundial de la Salud en Europa se reporta un promedio de cromo en el aire en reas urbanas $4 - 70 \text{ ng}/\text{m}^3$.

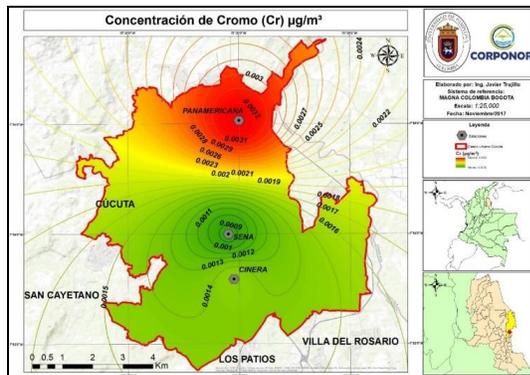


Figura 11. Distribucin espacial de cromo.

Fuente: elaboracin propia.

Por ltimo, en la Figura 12 se presenta la comparacin entre las concentraciones determinadas de los metales pesados Pb, Zn, Mn, Cu y Cr y las concentraciones de material particulado PM₁₀, registrado en las estaciones de monitoreo para el mes de noviembre de 2015.

En la figura 12 se observa que se mantiene una relacin directamente proporcional entre las concentraciones de PM₁₀ y los metales cobre, zinc y manganeso, mientras que el cromo no presenta esta tendencia. Por otra parte, las concentraciones de plomo son muy mnimas en comparacin con los dems metales detectados, por tanto, su presencia en las muestras de PM₁₀ no es mayormente significativa. Cabe agregar que, en todos los casos, las mayores concentraciones de cada metal se presentan en la estacin Panamericana, debido a su ubicacin en una zona de alta actividad industrial y a la influencia de

variables meteorolgicas como la velocidad y direccin del viento.

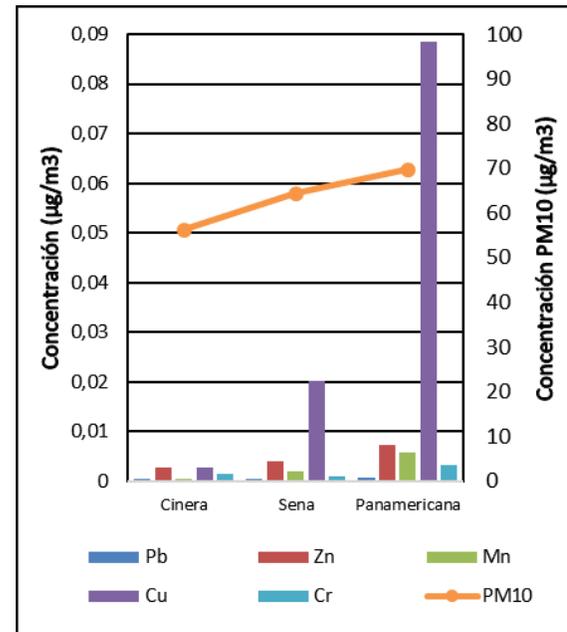


Figura 12. Metales pesados vs Material Particulado PM₁₀ noviembre 2015.

Fuente: elaboracin propia.

4. CONCLUSIONES

La determinacin de metales pesados fue un estudio preliminar utilizado en un solo mes de muestreo. Es importante continuar con estos anlisis continuamente no solo para metales pesados, adems de esto es importante tener en cuenta otro tipo de contaminantes que puedan estar presentes en el aire del municipio como lo son los compuestos orgnicos volátiles (COV's) y estudios microbiolgicos.

La mayor contaminacin por material particulado PM₁₀ y metales pesados Pb, Zn, Mn, Cu y Cr se presenta en la zona de la estacin Panamericana, esto puede ser producto de la actividad industrial presente en esa zona, y adems del comportamiento del viento que proviene del sur en direccin norte segun las rosas de viento atrayendo material particulado y otro tipo de contaminantes.





El Cobre fue el metal que presenta mayor concentración detectándose los valores máximos en la estación Panamericana a diferencia de la estación Cínera que presenta muy bajas concentraciones. La contaminación por Cobre está asociada a las emisiones por actividades industriales como la producción de pinturas y barnices, y en la fundición de acero, cobre y zinc por la utilización de algunos combustibles fósiles para el tránsito de vehículos.

5. Agradecimientos

A la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, a la Universidad de Pamplona y el Laboratorio de Control y Calidad, y a las demás personas que participaron de una u otra forma en esta investigación.

6. Referencias Bibliográficas

- Acevedo B. Jorge; Bocarejo S. Juan; Velasquez J. Miguel., (2013) Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. University College London – Reino Unido, Universidad de los Andes – Colombia.
- Arciniegas, A. & Rodriguez, E. (2005). Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en la localidad de Puente Aranda en Bogotá. Universidad de la Salle, Bogotá D.C, Colombia.
- Angulo, W. J., Mendoza, J. A. y Uriel, H. U. (2017). Análisis de la vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa en la Cuenca Tanauca estudio de caso. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3276>
- ATSDR. (2005). Tox Faqs for heavy metals. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts13.html>.
- Brunekreef, B & Holgate, S.T. (2002). Air pollution and health. The Lancet, 360 (9341) 1233-1342.
- Camargo, W. C. (2016). Modelación hidrologico-hidraulica de eventos de inundacion en el Rio Bogotá (sector tocanzipa-chia) usando HEC-RAS. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3267>
- Combariza, B.D.A. (2009). Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1– 115. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Síntesis Ambiental del Norte de Santander. Disponible en: <http://www.corponor.gov.co/formatos/DIC%20SIGESCOR/PUBLICAR%20WEB%20101209/PLAN%20DE%20ACCION%20AJUSTADO%202007%202011/2%20SINTESIS%20AMBIENTAL.pdf>.
- Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2003). Resolución 1208 de 2003. Bogotá D.C, Colombia.
- Eróstegui R, C. (2009). Contaminación por metales pesados. Revista Científica Ciencia Médica SCEM, Vol.12, N° 1.
- Gao, Y., Nelson, E.D., Field, M.P., Ding, Q., Li, H., Sherrell, R.M., Gigliotti, C.L., Van Ry, D.A., Glenn, T.R., y Eisenreich, S.J. (2002). Characterization of atmospheric trace elements on PM2.5 particulate





- matter over the New York–New Jersey harbor estuary. *Atmospheric Environment*, 36, 1077-1086.
- Green, J. (2013). *La Calidad del Aire en América Latina: Una visión panorámica*. Clean Air Institute. Washington D.C.
- Machado, A., etc. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. Centro de Investigaciones CEDEGAS, Universidad del Zulia, Venezuela.
- Meneses, V. B., Álzate, D. y Mosquera, J. (2016). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3268>
- Espinel, R. M., Rivera, H. U. y Castellanos, C. (2016). Plan de manejo ambiental para los proyectos de extracción de material de arrastre, localizados en las microcuencas quebradas volcán y navarro del municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3282>
- Gutierrez, T., Castellanos, C. y Hernández, N. (2016). El ordenamiento territorial frente a las consecuencias de los cambios climáticos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2016.3338>
- Ivanova, Y. y Sarmiento, A. (2014). Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (4), Numero (2), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2013.427>
- Kristinne Echávez, K., Pastran, Y. y Polo, A. (2015). Estimación del CO₂ emitido y capturado en la sede sabanas y el campus deportivo de la Universidad Popular del Cesar. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (6), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2015.3252>
- La Rotta, E. y Ramón, J. (2018). Análisis de daños estructurales en edificaciones por contaminación del Dióxido de carbono (CO₂) asociado al flujo vehicular en la vía nacional en el casco urbano del municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Revista de la faculta de ciencias básicas BISTUA*. Volumen (16), Numero (2): 145-152. DOI: <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2018.3007>
- Martorell J.J. (2010) Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Sur atlántica andaluza afectados por Contaminación difusa. Tesis Doctoral Universidad de Cádiz.
- Nava-Ruíz, C. & Méndez-Armenta, M., (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), pp.140–147.
- Moreno, C. y Rueda, L. (2016). La educación ambiental como herramienta para la recuperación de la cobertura vegetal, mediante prácticas agro-ecológicas en la comunidad minera asograstores, asociación de gravilleros de Sabana de Torres. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1).





- DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3260>
- Melo, J., Saavedra, S. y Ramón, J. (2017). Evaluación de la adsorción de Cu^{2+} y azul de metileno en biosorbentes de bajo costo obtenidos a partir de biomasa residual de la agroindustria de cítricos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3277>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). Calidad del aire (exterior) y salud. Nota Descriptiva N° 313.
- Rodríguez, Y. A. (2017). Conservación de humedales en el marco de gestión de cuencas hidrográficas. Puerto Rondón–Arauca. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2017.3281>
- PRTR. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
- Quijano P. Alfonso; Quijano V. Mónica; Henao M. José, (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable 2.5 en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol 8, núm 1, enero-junio, pp 1-20. Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
- Quijano P. Alfonso; Thomas M. Saury; Peña R. Belisario, (2013). Determinación de Metales y Material Particulado PM 2.5 en muestras del aire de Villa del Rosario – Norte de Santander. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
- Ramón, J. D., Navazo, M., Alonso, L., Durana, N., Gómez, M. C. y Uria, I. (2013). Determinación de contaminantes atmosféricos en un área de fondo rural mediante los modelos umnix – pmf aplicados a medidas horarias de 64 covs durante 3 años. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (4), Numero (2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2013.431>
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77.
- Rocha C, E. (2000). Principios básicos de espectroscopia. Editorial UACH, pág 123-203. México.
- Tecnología Automotriz Limpia S.A (TALSA). (2003). Extractos de la 7a. Conferencia ETH en Combustión Generadora de Nanopartículas, Zurich.
- Vanegas, D., Ramón, A. A. y Lizarazo, A. K. (2017). Comunidad y cultura ambiental. dinámicas de potenciación para un desarrollo sostenible y corresponsable. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2017.3271>
- Velandia, F. J., Granados, J. D., Ramón, J. D. y Roa, A. L. (2016). Caracterización de consorcios microbianos con potencial degradador de contaminantes en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3278>
- Velasco G. Mauricio (2005). La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.





- 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.
- Viana, M., Querol, X., y Alastuey, A. (2006). Chemical characterisation of PM episodes in NE Spain. *Chemosphere*, 62, 947-956, 2006.
- Villamizar, V. A. y Justinico, A. J. (2017). Reconstrucción paleoclimática y

paleoambiental de los territorios de la llanura inundable del araucana a partir del análisis de sedimentos recientes, Departamento de Arauca. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2017.3272>

