

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Caracterización del material particulado suspendido  $PM_{10}$  de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por Espectroscopía de Absorción Atómica.

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

MARÍA JOSÉ MALDONADO ARÍZAGA

Quito, 2012

## **CERTIFICADO**

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas, con mención en Química Analítica, de la candidata María José Maldonado Arízaga ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Fecha:

Director de la Disertación

## DEDICATORIA

*A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional.*

*A Martina y Tiago, la alegría de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Red de Monitoreo de Aire de la ciudad de Quito por proporcionar las muestras para este estudio. A la Secretaría de Ambiente por las facilidades prestadas por el laboratorio en materiales, reactivos, uso de sus equipos e instalaciones y aporte económico.

A los analistas del laboratorio de la Secretaría de Ambiente, en especial a la Licenciada Amparo Jácome, al Licenciado Andrés Medina y al Ingeniero Fernando Salazar por su ayuda, paciencia y apoyo a lo largo de este proceso en el cual no sólo fueron una guía sino que se convirtieron en verdaderos amigos.

A los profesores de la Escuela de Ciencias Químicas de la PUCE, especialmente al Ingeniero Marcelo Parreño por su guía y ayuda en la dirección de esta tesis.

A mis compañeros de promoción, que se convirtieron en mis amigos más cercanos, principalmente a María José Banderas y Francisco Iturra quienes ocupan un espacio muy importante en mi vida.

## TABLA DE CONTENIDOS

Certificado .....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Tabla de contenidos.....	V
Lista de tablas .....	VIII
Lista de figuras .....	XII
Lista de anexos .....	XIV
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>1. PARTE TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	7
1.1.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SU CLASIFICACIÓN.....	8
1.2 MATERIAL PARTICULADO.....	9
1.2.1 CLASIFICACIÓN .....	9
1.2.2 COMPOSICIÓN .....	10
1.2.3 FUENTES DE EMISIÓN .....	12
1.2.4 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE.....	13
1.2.5 RIESGOS PARA LA SALUD.....	13
1.2.6 NORMATIVA AMBIENTAL.....	15

1.3	CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO.....	17
1.4	METALES EN MATERIAL PARTICULADO .....	20
1.5	ANÁLISIS DE METALES .....	27
1.5.1	EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS .....	28
1.5.2	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	29
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>36</b>
2.1	OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA. ....	36
2.2	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS. ....	37
2.3	DETERMINACIÓN DE METALES DE FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO PM10 DE LA RED DE MONITOREO DE AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO.....	39
2.3.1	MUESTREO. ....	39
2.3.2	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS. ....	41
2.3.3	TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS .....	46
2.3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS .....	47
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
3.1	CUANTIFICACIÓN POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA. ....	50
3.2	CONCENTRACIÓN DE METALES EN FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO PM <sub>10</sub> .....	51
3.3	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	59
3.3.1	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AÑOS 2009 Y 2010. ....	62
3.3.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS .....	69
3.4	COMPARACIÓN CON NORMATIVAS AMBIENTALES. ....	75

3.5	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ENTRE LOS AÑOS 2006- 2010.....	78
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	85
4.2	RECOMENDACIONES.....	86
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>
	<b>DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>116</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de residuos inertes en material particulado.....	11
Tabla 2.1. Condiciones óptimas de operación para el análisis de metales pesados.....	37
Tabla 2.2. Variaciones de las condiciones de trabajo para la extracción en microondas.....	38
Tabla 2.3. Soluciones para elaborar las curvas de calibración de Al, Ca, Mn y Zn.....	44
Tabla 2.4. Soluciones para elaborar las curvas de calibración de Cd, Pb y V.....	45
Tabla 2.5. Parámetros generales del ANOVA.....	49
Tabla 3.1. Resultados obtenidos mediante la lectura de las curvas de calibración de los siete metales analizados.....	50
Tabla 3.2. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Cotocollao. Año 2009.....	52
Tabla 3.3. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Belisario. Año 2009.....	52
Tabla 3.4. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Jipijapa. Año 2009.....	53

Tabla 3.5. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación El Camal.	
Año 2009.....	53
Tabla 3.6. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Guamaní.	
Año 2009.....	54
Tabla 3.7. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Los Chillos.	
Año 2009.....	54
Tabla 3.8. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Tababela.	
Año 2009.....	55
Tabla 3.9. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Cotocollao.	
Año 2010.....	55
Tabla 3.10. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Belisario.	
Año 2010.....	56
Tabla 3.11. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Jipijapa.	
Año 2010.....	56
Tabla 3.12. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación El Camal.	
Año 2010.....	57

Tabla 3.13. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Guamaní.	
Año 2010.....	57
Tabla 3.14. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Los Chillos.	
Año 2010.....	58
Tabla 3.15. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Tababela.	
Año 2010.....	58
Tabla 3.16. Concentración media anual de Cd, Ca, Zn, Mn, Al, Pb y V.	
Año 2009.....	59
Tabla 3.17. Concentración media anual de Cd, Ca, Zn, Mn, Al, Pb y V.	
Año 2010.....	60
Tabla 3.18. Resultados de la prueba t de los promedios de las siete estaciones de monitoreo de los años 2009 y 2010.....	70
Tabla 3.19. ANOVA de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en las siete estaciones de monitoreo durante el año 2009.....	71
Tabla 3.20. ANOVA de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en las siete estaciones de monitoreo durante el año 2010.....	74
Tabla 3.21. Límite máximo anual permitido por diferentes normativas ambientales.....	75

Tabla 3.22. Rangos de concentración de metales durante los cinco años de monitoreo.....86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de un espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	29
Figura 2.1. Mapa de la distribución de las estaciones de monitoreo de PM <sub>10</sub> en la ciudad de Quito.....	31
Figura 1.2. Etapas del proceso de atomización en llama.....	40
Figura 3.1. Variación de la concentración de Al en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	63
Figura 3.2. Variación de la concentración de Cd en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	64
Figura 3.3. Variación de la concentración de Ca en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	65
Figura 3.4. Variación de la concentración de Mn en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	66
Figura 3.5. Variación de la concentración de Pb en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	67

Figura 3.6. Variación de la concentración de V en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	68
Figura 3.7. Variación de la concentración de Zn en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.....	69
Figura 3.8. Comparación de la concentración de Cd con Normativas Ambientales.....	76
Figura 3.9. Comparación de la concentración de Mn con Normativas Ambientales.....	76
Figura 3.10. Comparación de la concentración de Pb con Normativas Ambientales.....	77
Figura 3.11. Comparación de la concentración de V con Normativas Ambientales.....	77
Figura 3.12. Comparación de la concentración de Zn con Normativas Ambientales.....	78
Figura 3.13. Variación de la concentración de Al en los años 2007-2010.....	79
Figura 3.14. Variación de la concentración de Cd en los años 2006-2010.....	80
Figura 3.15. Variación de la concentración de Ca en los años 2007-2010.....	81
Figura 3.16. Variación de la concentración de Mn en los años 2007-2010.....	81
Figura 3.17. Variación de la concentración de Pb en los años 2006-2010.....	82
Figura 3.18. Variación de la concentración de V en los años 2006-2010.....	82
Figura 3.19. Variación de la concentración de Zn en los años 2006-2010.....	83

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Cálculo de los límites de detección y cuantificación de cada metal.....	94
<b>Anexo 2:</b> Certificado de análisis de los estándares de calidad Quality Controls.....	98
<b>Anexo 3:</b> Resultados del análisis de estándares de control de calidad de cada metal.....	101
<b>Anexo 4:</b> Cálculo modelo de la prueba t y ANOVA.....	103
<b>Anexo 5:</b> Curvas de calibración generadas por el software del equipo.....	109
<b>Anexo 6:</b> Cálculo modelo de la concentración en ng/m <sup>3</sup> de metales.....	113
<b>Anexo 7:</b> Concentraciones de metales de los años 2006- 2008.....	115

## RESUMEN

El presente estudio consideró el análisis de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en muestras de material particulado suspendido  $PM_{10}$ , obtenidas de diferentes puntos de la ciudad de Quito, con el fin de evaluar la calidad del aire de la ciudad. Se consideraron Cd, Pb y V debido a sus efectos tóxicos y peligrosos hacia el medio ambiente y la salud de la población. De igual forma, se analizaron Al, Ca, Mn y Zn principalmente como trazadores de tierra, aunque estos también contribuyen al aumento de la contaminación ambiental y pueden generar efectos nocivos para la salud de la población.

Se optimizó un método para la determinación de siete metales en los filtros de material particulado. Se empleó digestión ácida asistida por microondas como técnica de extracción durante el tratamiento de muestras y se utilizó Espectroscopía de Absorción Atómica con atomización por llama y horno de grafito para su análisis. La cuantificación de los analitos se realizó mediante curvas de calibración a diferentes niveles.

Se analizaron 165 muestras de material particulado  $PM_{10}$  correspondientes a siete estaciones de la Red de Monitoreo de Aire del Distrito Metropolitano de Quito (REMAQ) recolectados durante los años 2009 y 2010. En todas las muestras analizadas se encontraron trazas de los siete metales; sin embargo, ninguna superó los límites máximos permisibles establecidos en normativas nacionales e internacionales.

Mediante la realización de pruebas estadísticas, como la prueba t y el ANOVA, se determinó que no existe una diferencia significativa entre las medias de las estaciones comparando los dos años de monitoreo. Se puede afirmar en términos generales que no hubo un cambio significativo en la calidad del aire de la ciudad de Quito en el período 2009- 2010.

Palabras clave: Metales en material particulado, calidad de aire, Espectroscopía de Absorción Atómica, digestión por microondas.

## **ABSTRACT**

The present research considered the analysis of Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V and Zn from suspended particulate matter samples in ambient air taken from different areas throughout the Metropolitan District of Quito, with the intent of evaluating the quality of the air at the city. Metals like Pb, Cd and V were analyzed because of their toxic effects on environment and population health. Likewise, Al, Ca, Mn and Zn were considered in this study as soil trackers, although they do contribute to environmental contamination and affect human health.

A method for the analysis of these seven metals in ambient air samples was implemented, optimizing the equipment conditions for better and accurate results. A microwave extraction system was used to extract the metals from the filter sample, with the subsequent analysis by Atomic Absorption Spectrometry, both flame (AA) and graphite furnace (GFAA). The quantification of the trace elements in the samples was determined using calibration curves for each metal, prepared at different concentration levels.

For this purpose, 165 sample filters of suspended particulate matter collected from seven different measurement stations along the ambient air monitoring network of the city (REMAQ) in the years 2009 and 2010, were analyzed. Traces of the seven metals considered were found in all the sample filters collected, nevertheless none of them

exceeded the maximum permissible levels established by national and international organizations.

The statistical tests performed, like t test and ANOVA, indicate that the means of the metals concentrations through the seven measurement stations over the two years of monitoring are equal. Meaning there was no significant change of the city's ambient air quality through the years 2009- 2010.

Key words: Metals in particulate matter, ambient air quality, Atomic Absorption Spectrometry, microwave extraction.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los problemas más alarmantes del Distrito Metropolitano de Quito, ya sea producida por emisiones gaseosas, descargas líquidas, residuos sólidos o ruido. Hace menos de una década existía poco control en lo referente a la calidad del aire de la ciudad de Quito y el desarrollo industrial y el aumento del parque vehicular han causado un notable deterioro de la calidad del aire. Cabe mencionar que debido a su propia topografía, Quito es una ciudad muy vulnerable a la contaminación atmosférica ya sea considerando su altitud, proximidad a volcanes y situación ecuatorial <sup>[1]</sup>.

De los contaminantes atmosféricos considerados críticos, entre los más comunes en la atmósfera, resalta el material particulado, cuya composición abarca varias especies incluyendo sustancias orgánicas e inorgánicas, capaces de interactuar con diferentes compuestos presentes en el aire. La compleja composición química del material particulado incluye elementos como el aluminio, cadmio, calcio, manganeso, plomo, vanadio, zinc. Muchos de estos metales provienen de la incineración de residuos sólidos, así como de la combustión de gasolinas o como resultado de procesos industriales y son causantes de un sinnúmero de enfermedades en los humanos expuestos a esta contaminación

En vista de esto, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, conjuntamente con la Secretaría de Ambiente y Corporación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Quito, CORPAIRE, mantienen un sistema permanente y continuo de monitoreo que opera

regularmente desde el 2004, constituye la Red de Monitoreo de Aire de la ciudad. Con el fin de mejorar la calidad del aire de Quito, procurando minimizar los riesgos sobre la salud que puede representar la contaminación atmosférica, en el año 2006 la Red de Monitoreo de Aire de Quito propuso el análisis anual de material particulado en diferentes áreas de la ciudad.

En este trabajo se realizó la caracterización de material particulado suspendido. Para esto, se implementó un método para la determinación de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en filtros provenientes de siete estaciones de la Red de Monitoreo de aire de la ciudad ubicadas en Cotocollao, Belisario, Jipijapa, El Camal, Guamaní, Los Chillos y Tababela. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de la Secretaría de Ambiente, LABSA.

# 1. PARTE TEÓRICA

## 1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Según la Norma de Calidad de Aire Ambiente Ecuatoriana, que consta en el Anexo 4 del libro VI del TULAS y reformada en Abril de 2011, la contaminación atmosférica se define como “la presencia de sustancias en la atmósfera que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presente en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfiere con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente”<sup>[2]</sup>.

Con el pasar del tiempo, diferentes tipos de sustancias químicas han sido emitidas a la atmósfera en forma natural o antropogénica y en cantidades que varían de cientos a millones de toneladas anuales. La emisión de sustancias químicas a la atmósfera como resultado de la actividad humana constituye la principal fuente de contaminación. La contaminación atmosférica producida por fuentes antropogénicas ha existido prácticamente desde que el hombre descubrió el fuego; no obstante, fue el comienzo de la industrialización lo que desencadenó el aumento desproporcionado de las emisiones de contaminantes al ambiente, en comparación con la emisión de fuentes naturales.

El aumento de la contaminación ambiental ha generado en los últimos años conciencia social y preocupación acerca de los indiscutibles efectos nocivos que ésta tiene tanto en la salud humana, como en el medio ambiente.

### 1.1.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SU CLASIFICACIÓN

Los contaminantes de la atmósfera son sustancias gaseosas, sólidas o líquidas que contienen una concentración mayor que la natural, generalmente como consecuencia de la actividad del hombre <sup>[3]</sup>. La contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental que se deriva principalmente de la emisión de gases y partículas sólidas a la atmósfera que resultan de procesos industriales, calefacción de viviendas, transporte público y de otras múltiples actividades del hombre que demandan el consumo de energía la cual se obtiene principalmente de combustibles fósiles como petróleo, gas natural y carbón.

Otro aporte a la contaminación del aire son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de la evaporación de solventes hidrocarbonados, oxigenados y clorados; éstos se emplean para disolver productos de uso industrial o doméstico, tales como pinturas, adhesivos y tintas. Aunque mucho menos significativa en cantidad, merece destacarse la emisión de gases desde vertederos de basura, la emisión de partículas en mineras abandonadas y la quema de materiales para proteger del frío a plantaciones agrícolas <sup>[3]</sup>.

Los contaminantes que se producen directamente como emisiones de origen natural o de la actividad humana, son denominados contaminantes primarios. Aquellos que se producen como consecuencia de procesos químicos de los primarios en la atmósfera son contaminantes secundarios.

## **1.2 MATERIAL PARTICULADO**

Las partículas sólidas, o material particulado, se definen como el conjunto de materia dispersada en la atmósfera y condensada en forma sólida o líquida, en un amplio rango de tamaños que oscilan entre 0,05 y 500  $\mu\text{m}$ . Dependiendo de su fuente de origen, están compuestas por una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan una composición física y química variable.

Se designa como  $\text{PM}_{2,5}$  al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrones. Se designa como  $\text{PM}_{10}$  al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones. El material particulado sedimentable es el material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente <sup>[2]</sup>.

### **1.2.1 CLASIFICACIÓN**

Las partículas sólidas se clasifican en base su proceso de formación y tamaño de partícula.

En base al proceso de formación en:

- Primarias: Son aquellas que se encuentran en la forma que se emitieron, como resultado de procesos físicos o químicos propios de la fuente emisora.
- Secundarias: Son aquellas que se forman en la atmósfera a partir de fenómenos de condensación, precipitación o reacción química con otras sustancias presentes en ella.

Según el tamaño de partícula, se clasifican en:

- Partículas finas: Se refieren al material particulado con un diámetro aerodinámico menor que 2.5  $\mu\text{m}$ .
- Partículas gruesas: Incluye al material particulado cuyos diámetros están comprendidos entre 2.5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ . Aquellas partículas con un diámetro inferior o igual a 10  $\mu\text{m}$  son denominadas aerosoles respirables.
- Partículas suspendidas totales: Se utiliza para denominar el total de las partículas que se encuentran en el aire y cuyos diámetros son hasta 50  $\mu\text{m}$ .
- El conjunto de partículas cuyos diámetros superan los 50  $\mu\text{m}$  no permanecen en la atmósfera por largos períodos de tiempo y caen por efecto de las fuerzas gravitatorias, por lo que son consideradas como partículas sedimentables.

### 1.2.2 COMPOSICIÓN

Según la normativa de calidad de aire ambiente ecuatoriana, el material particulado “está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no

combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales.” [2]. El material particulado en general está formado por una mezcla compleja de componentes cuya composición abarca amplios rangos de especies incluyendo compuestos orgánicos, sulfatos, nitratos u óxidos de silicio.

En términos generales, el polvo está compuesto por partículas inertes y vivas:

- Partículas inertes: Están formadas por residuos orgánicos e inorgánicos. En la Tabla 1.1 se encuentra detallado los componentes de los residuos orgánicos e inorgánicos.
- Partículas vivas: Principalmente los granos de polen, esporas y bacterias; en menor grado semillas, insectos, algas.

**Tabla 1.1. Tipos de residuos inertes en material particulado.**

Residuos orgánicos		Residuos inorgánicos
Origen vegetal	Origen animal	
Fragmentos de madera, algodón, almidón, fibras diversas.	Lana, seda, epidermis, plumas, escamas.	Carbonatos, cloruros, sílice, sulfatos, arcilla, yeso, hollín, alquitrán, carbón, metales y minerales.

De igual modo, el material particulado interactúa con diferentes sustancias presentes en el aire, formando especies químicas orgánicas e inorgánicas. Las combinaciones más comunes de partículas finas y gruesas son con sulfatos, nitratos, óxidos de silicio, calcio, hierro y aluminio.

### 1.2.3 FUENTES DE EMISIÓN

La clasificación de las fuentes emisoras de material particulado se basan en los siguientes criterios:

- i. Según el tipo de fuente generadora: Se clasifican como naturales y antropogénicas.-

Algunas partículas sólidas provienen de fuentes naturales como rocío del agua de mar, partículas de polen, polvo, erupciones volcánicas, y procesos geotérmicos, así como las partículas arrastradas por los vientos, provenientes de la erosión del suelo. Estas partículas tienden a ser gruesas y con cortos tiempos de permanencia en la atmósfera <sup>[4]</sup>.

Las fuentes antropogénicas de material particulado incluyen procesos industriales de extracción; generación de calor doméstico e industrial; de combustibles fósiles; actividades de transporte, almacenamiento y traslado de materiales; circulación de vehículos <sup>[4]</sup>.

- ii. Según la naturaleza de las partículas emitidas: Se clasifican en fuentes primarias y secundarias.-

Las fuentes primarias pueden ser fuentes de áreas geológicas como polvo proveniente de carreteras o procesos agrícolas; fuentes estacionarias entre las cuales están procesos de combustión y fuentes móviles dentro de las cuales se encuentran la combustión de gasolina y diesel, emisión de gases, desgaste de llantas y frenos.

Las fuentes secundarias pueden ser inorgánicas tales como  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  provenientes de fertilizantes, transportes y suelos, y fuentes orgánica provenientes de procesos de combustión y carbón de los cuales se originan los VOC's.

#### 1.2.4 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

El material particulado es considerado como uno de los principales problemas de contaminación del Distrito Metropolitano de Quito, los días en los que su concentración sobrepasa la norma han ido incrementándose. Los límites máximos permitidos establecidos en la legislación ecuatoriana son  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio anual y  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio en 24 horas para  $\text{PM}_{10}$ <sup>[2]</sup>.

Además de los efectos sobre la salud, los aerosoles generan consecuencias climáticas derivadas de la capacidad de algunos aerosoles de absorber, dispersar y reflejar radiación. También pueden modificar los niveles de visibilidad, tienen efectos sobre ecosistemas y degradan materiales de construcción<sup>[6]</sup>.

#### 1.2.5 RIESGOS PARA LA SALUD

En términos generales, tanto las partículas finas como las gruesas pueden acumularse en el sistema respiratorio y están asociadas con numerosos efectos negativos en la salud. Las partículas gruesas pueden agravar condiciones respiratorias como el asma, mientras que la exposición a material fino está asociada con varios efectos graves, incluyendo la muerte<sup>[6]</sup>.

La Organización Mundial de la Salud insiste en que, para este tipo de contaminantes, no existe un valor bajo el cual se considera inofensivo para la salud humana y que la gravedad de los daños está relacionada con los tiempos de exposición <sup>[7]</sup>.

El material particulado puede tener diversos efectos en la salud y entre los más importantes se encuentran <sup>[4]</sup>:

- Efecto fibrogénico: Los polvos pueden producir una reacción fibrosa en los pulmones y provienen de minerales como asbestos, carbón, polvos metálicos de tungsteno, carburo de titanio, berilio y aluminio, polvos de talco y de algunos vegetales.
- Efectos irritantes: Incluye la irritación de mucosas de los ojos, del tracto respiratorio. También se produce obstrucción bronquial y pueden dar lugar a enfermedades respiratorias crónicas.
- Efectos alérgicos: Ciertos polvos de origen vegetal o animal tienen la propiedad de originar reacciones alérgicas como son la conjuntivitis, rinitis alérgica, bronquitis asmática, etc.
- Efectos carcinogénicos: Polvos de arsénico y sus óxidos, plomo y otros metales pesados se asocian al cáncer de pulmón, nariz y piel.
- Efectos tóxicos sistemáticos: Trascienden del sistema respiratorio y producen manifestaciones en otros sistemas y órganos, como el hígado, los riñones y sistema nervioso central y periférico.

- Efectos en la piel: Las partículas de materiales de reforzamiento o aislamiento se incrustan con facilidad en la piel causando dermatitis folicular, o dermatitis irritativa.

#### 1.2.6 NORMATIVA AMBIENTAL

Las diversas organizaciones mundiales de medio ambiente y salud, han tomado como pauta para la creación de normas técnicas de control y prevención de la polución los contaminantes tóxicos y peligrosos que más se encuentran en la atmósfera. Éstos son considerados contaminantes criterio y son los siguientes: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas sedimentables, material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, y ozono (O<sub>3</sub>).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador, a través del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULAS, establece un conjunto de normas técnicas de calidad ambiental y de emisión y descarga. Entre ellas consta el libro VI Anexo 4 correspondiente a la Norma de Calidad del aire Ambiente o Nivel de Inmisión. Dentro de ésta, se encuentran normados los contaminantes criterio, al igual que contaminantes considerados no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinógenos que son benceno, cadmio y mercurio inorgánico. La legislación ambiental ecuatoriana, hasta hace menos de un año, no incluía dentro de los parámetros normados los diferentes metales presentes en el aire. Sin embargo, con la reforma de abril del 2011, se introdujeron los límites máximos permisibles anuales

para cadmio y mercurio inorgánico, siendo éstos  $5 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente <sup>[2]</sup>.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US- EPA), mediante la ley “Clean Air Act “, exige a la EPA fijar estándares nacionales de calidad del aire ambiente, NAAQS para los contaminantes criterio en Estados Unidos de América, dentro de los cuales se encuentra plomo, con un límite máximo en promedio de 3 meses de  $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  <sup>[8]</sup>.

La Unión Europea, mediante la Comisión Ambiental Europea, ha establecido estándares de calidad del aire para metales como cadmio con un nivel máximo anual de  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$  y plomo con un nivel máximo anual de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  <sup>[9]</sup>.

Tanto la EPA como la UE, no dictaminan los niveles máximos permitidos de los diferentes metales que se pueden encontrar en el aire, tales como aluminio, calcio, manganeso, zinc o vanadio que son el objeto de este estudio.

La Organización Mundial de la Salud, mediante la Guía para la Calidad de Aire, establece valores guía o concentraciones tolerables para metales como cadmio con un límite de  $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ , manganeso con un límite de  $150 \text{ ng}/\text{m}^3$ , vanadio con un límite de  $1000 \text{ ng}/\text{m}^3$ , zinc con un nivel máximo de  $1000 \text{ ng}/\text{m}^3$  y plomo con un límite de  $500 \text{ ng}/\text{m}^3$  <sup>[10]</sup>.

### 1.3 CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO

La ciudad de Quito, por su localización, resulta más vulnerable a la contaminación que otras ciudades del Ecuador, debido principalmente a 4 características básicas de emplazamiento, siendo éstas altitud, topografía, situación ecuatorial y proximidad a volcanes <sup>[1]</sup>.

Al estar a 2800 msnm, la cantidad de oxígeno disponible en el aire es reducida, causando que el proceso de combustión en equipos a base de combustibles fósiles sea incompleto, lo que hace que consuman mayor cantidad de combustible y paralelamente generen mayor cantidad de contaminantes al ambiente. La topografía de la zona en que se asienta Quito presenta la forma de una cuenca, crea una especie de barrera natural que limita la libre circulación del viento y consecuentemente, la capacidad de la atmósfera de dispersar los contaminantes.

Su situación ecuatorial origina casi todo el año niveles altos de luminosidad que favorecen la ocurrencia de las reacciones fotoquímicas que producen el smog. Su proximidad a volcanes en actividad, tales como el Guagua Pichincha y El Reventador, han provocado los peores episodios de contaminación atmosférica registrados en la ciudad debido a erupciones en octubre de 1999 y particularmente en noviembre del 2002 <sup>[1]</sup>.

A todas estas características naturales de la ciudad, es necesario añadir una causa estrictamente humana que se relaciona con la expansión urbana de forma horizontal provocando una “mancha urbana” tan extensa que obliga a los habitantes de la ciudad a

realizar varios y largos viajes para acceder a sus trabajos, estudios o simplemente opciones de entretenimiento. Lamentablemente, la solución preferida por los quiteños ha sido la compra de vehículos particulares disminuyendo la afluencia al transporte público y dando lugar al incremento desproporcionado del parque vehicular.

Estudios realizados en el país y el mundo demuestran que los automóviles livianos de uso particular constituyen la principal fuente de emisión de contaminación del aire; por ello, la situación antes descrita es tan alarmante <sup>[1]</sup>.

Debido a esto, la Secretaría de Ambiente asumió el compromiso de impulsar un programa obligatorio y universal de revisión técnica vehicular y por otro lado, la decisión de implementar un sistema automático de monitoreo. Fue en el año 2004 cuando se creó la CORPAIRE que se encargó de monitorear las emisiones de los contaminantes críticos a lo largo de la ciudad, al igual que realizar la revisión vehicular anual.

De acuerdo con el informe de la CORPAIRE de la calidad del aire correspondiente a los años 2006- 2009, los contaminantes comunes gaseosos monóxido de carbono, ozono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, tanto en sus promedios de corto plazo como de largo plazo, están prácticamente controlados y no se han registrado incumplimientos de los límites máximos permitidos. Hasta el año 2009, la situación referente a material particulado era preocupante, ya que si bien no sobrepasó los límites máximos permitidos, las concentraciones se aproximaban mucho a éstos, lo que constituye un riesgo para la ciudad y sus habitantes. De acuerdo con el informe anual del año 2010, las concentraciones de

material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  disminuyeron en su promedio, a corto y largo plazo, muy por debajo del límite máximo permisible.

Si bien la contaminación atmosférica está siendo controlada, sus efectos siguen causando problemas en la población quiteña, principalmente debido al crecimiento del parque vehicular que en la última década aumentó de doscientos diez a cuatrocientos treinta mil vehículos. El 3 de mayo del 2010 se inició el proyecto de restricción vehicular “Pico y placa”, que busca optimizar el uso del espacio vial reduciendo el número de vehículos particulares en las calles e incentivando el incremento de la tasa de ocupación del transporte público. Con ello busca reducir la congestión vehicular, disminuyendo la contaminación ambiental y el consumo de combustibles.

Según datos reportados por la CORPAIRE, la concentración de los contaminantes criterio presentan una disminución significativa dentro de la zona de restricción y durante sus horas de aplicación y se registran algunos resultados positivos. En el centro histórico, los habituales  $2,7 \text{ mg/m}^3$  de monóxido de carbono se han reducido a  $0,65 \text{ mg/m}^3$  desde la aplicación de la medida. Con estos resultados en consideración, el Municipio de Quito planea continuar con la restricción vehicular de forma indefinida y se analiza la extensión de su horario de restricción.

## 1.4 METALES EN MATERIAL PARTICULADO

La principal fuente de material particulado son las fuentes móviles, tanto vehículos particulares como de transporte público. Asimismo, las fuentes fijas, la explotación de canteras y la erosión del suelo contribuyen a la formación de material particulado <sup>[11, 12]</sup>.

Teóricamente, mientras mayor sea la cantidad de material particulado en el aire, mayor concentración de metales se encontrará en el ambiente. No obstante, son la naturaleza y fuente de origen del material particulado lo que determina la presencia de determinados metales en él.

La composición química del material particulado incluye elementos como Al, Si, Ca, K, Fe, Pb, Zn, V, Ti, además de compuestos orgánicos de elevada toxicidad y potencial efecto cancerígeno. Muchos de estos metales provienen de la incineración de residuos sólidos, de la combustión de gasolinas o como resultado de procesos industriales y son responsables de varias enfermedades en humanos y de la contaminación en el ambiente <sup>[5]</sup>. El material particulado tiene una composición compleja. Según la CORPAIRE, del total de sustancias que componen al PM<sub>10</sub> en el Distrito, el polvo mineral y la materia orgánica representan un poco más del 70%, mientras que el porcentaje restante corresponde a carbón elemental, sulfatos, nitratos y metales <sup>[11]</sup>.

En el presente estudio se analizaron Cd, Pb y V debido a sus efectos tóxicos y peligrosos hacia el medio ambiente y la salud de la población. De igual forma, se analizaron Al, Ca, Mn y Zn principalmente como trazadores de tierra, es decir como trazadores de fuentes

naturales de estos elementos en el suelo <sup>[11]</sup>. Sin embargo, estos metales también contribuyen al aumento de la contaminación ambiental y pueden generar efectos nocivos para la salud de la población.

Metales como Al, Ca, Mn y Zn son abundantes en la corteza terrestre y en la naturaleza en general, formando parte del denominado “polvo de ciudad”, que se forma a partir de partículas de polen, polvo proveniente de carreteras o procesos agrícolas, erupciones volcánicas, procesos geotérmicos, así como las partículas arrastradas por los vientos, provenientes de la erosión del suelo <sup>[4]</sup>.

De forma menos directa, la circulación de vehículos y buses es responsable de la presencia de Al y Mn en el aire <sup>[13]</sup>. Algunos compuestos de Al se usan en el cracking de petróleo o como catalizador en el proceso de refinamiento de petróleo, de esta forma pueden estar presentes en la gasolina. Un compuesto de Mn se utiliza en la producción del aditivo de combustibles MMT usado como sustituto del tetraetilo de plomo para mejorar el octanaje de la gasolina, de esta forma al producirse la combustión es emitido a la atmósfera.

Además de las fuentes citadas, estos metales provienen de procesos industriales como canteras, empresas productoras y distribuidoras de materiales de construcción o de textiles que se encuentran en los alrededores de la ciudad <sup>[14]</sup>. La fabricación y el transporte de estos productos emiten al ambiente trazas de metales. El aluminio se usa en el concreto y como endurecedor de cemento. El calcio es usado en la fabricación de yeso y forma parte del cemento. El zinc tiene un amplio uso en la formación de aleaciones que sirven en procesos

de fundición y construcción. El manganeso se utiliza para la fabricación de pigmentos para ladrillos y materiales de construcción.

Los metales como Cd, Pb y V son poco abundantes en la naturaleza y son de origen antropogénico que incluyen fuentes estacionarias entre las cuales están procesos de combustión, extracción, generación de calor doméstico e industrial; y fuentes móviles dentro de las cuales se encuentran combustión de gasolina y diesel para actividades de transporte, almacenamiento y traslado de materiales; emisión de gases, desgaste de llantas y frenos <sup>[4]</sup>.

Durante el año 2009, en Quito circulaban doscientos noventa y seis mil vehículos diariamente, mientras que en el año 2010 esta cifra aumentó a cuatrocientos treinta mil vehículos provocando el incremento de emisiones gaseosas a la atmósfera generando mayor cantidad de material particulado, y consecuentemente, de metales. Sin embargo, el problema no radica solamente en el número de vehículos circulantes, sino también en la calidad del combustible que los vehículos utilizan. Si el combustible es de mala calidad, el proceso de combustión será ineficiente y producirá mayor cantidad de contaminantes <sup>[14]</sup>.

A continuación se hace una breve descripción de las fuentes y usos relevantes de cada uno de los metales analizados:

- Aluminio <sup>[15.]</sup>

El aluminio es uno de los elementos más abundante y extensamente distribuido en la naturaleza. Se encuentra combinado con otros elementos como oxígeno, sílice y flúor. Estos compuestos químicos están presentes en el suelo; en minerales como los zafiros, rubíes, turquesas; en rocas, especialmente rocas ígneas y en arcillas. Las principales fuentes de emisión de aluminio están relacionadas al uso que se da a sus compuestos.

El cloruro de aluminio se usa como catalizador en el cracking de petróleo; en la fabricación de caucho y lubricantes, entre otros usos. El clorhidrato de aluminio se utiliza en la purificación de agua y en el tratamiento de efluentes de industrias. El hidróxido de aluminio se usa como retardante de llamas en automóviles. El nitrato de aluminio es utilizado en la industria textil como mordiente; también como catalizador en la refinación de petróleo. El fosforo de aluminio es utilizado para fumigar productos agropecuarios, alimentos procesados y para el control de insectos, roedores y plagas. El sulfato de aluminio se utiliza en la producción de cemento como endurecedor y agente espumante en extintores de fuego.

- Cadmio <sup>[16]</sup>:

El cadmio es un elemento escasamente distribuido en la corteza terrestre, está asociado a minerales de cobre, plomo y zinc. Es liberado al suelo, agua y aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, manufactura y aplicación de abonos de fosfato, combustión de combustibles fósiles y la disposición e incineración de basura.

El cadmio, sus aleaciones y compuestos son utilizados en una gran variedad de materiales industriales y domésticos. El uso predominante de cadmio, que representa el 83% del total,

es como material activo en baterías de níquel- cadmio. En menor proporción, se lo emplea como pigmento de plásticos, cerámica y vidrio; estabilizadores de plásticos frente a calor y luz. Sus compuestos son usados en fotografía, fotocopiado y teñido; fabricación de pigmentos y lubricantes.

- Calcio <sup>[17]</sup>:

El calcio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, no se encuentra en estado elemental debido a que reacciona fácilmente con oxígeno y agua. Los compuestos más comunes que forma el calcio son carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfatos y nitratos.

El carbonato de calcio se usa en la producción de pinturas, productos de limpieza, pasta dental o como antiácido. El sulfato de calcio, también conocido como yeso, es usado en la fabricación de molduras y tableros de yeso. El nitrato de calcio se utiliza como un fertilizante natural.

- Manganeso <sup>[18]</sup>:

El manganeso es un elemento abundante en la naturaleza. No se encuentra en estado natural, pero forma parte de alrededor de 100 minerales como sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos, boratos y fosfatos. Los minerales más comunes son dióxido, carbonato y silicato de manganeso.

La mayoría de los minerales de manganeso son utilizados para la producción de una aleación hierro- manganeso, llamada comúnmente manganeso metálico, usada en la

producción de acero. En propósitos no metalúrgicos, gran cantidad de los minerales de manganeso son usados en la fabricación de baterías, fósforo, pirotecnia y porcelana, en fertilizantes de plantas y fungicidas, en alimentos para animales, como colorante para ladrillos, como desinfectante y agente purificador de agua.

Cabe mencionar que su aplicación más controvertida es la fabricación del aditivo de combustibles MMT (Tricarbonilmetilciclopentadienil manganeso) usado en lugar del tetraetilo de plomo, para mejorar el octanaje de la gasolina. Sin embargo, en el año 1977 la US- EPA prohibió el uso del MMT como aditivo, puesto que se creía que causaba problemas en los sistemas de control de emisiones de vehículos. Fue en el año 1995 que la US- EPA se vio obligada a declarar al MMT como un aditivo de uso legal dentro de los Estados Unidos de América. Desde entonces, este aditivo se comercializa en países de Sudamérica, incluido Ecuador, bajo el nombre de HiTEC® 3000 y AK-33X.

- Plomo <sup>[19]</sup>:

El plomo es un metal que se presenta de forma natural en pequeñas cantidades. La mayor parte de la concentración de plomo en el medio ambiente proviene de la actividad humana que incluye quema de combustibles fósiles, minería y procesos de manufactura. El plomo tiene varias aplicaciones diferentes, ya sea en estado elemental, en aleaciones o formando compuestos. El es usado en la manufactura de baterías; aleaciones de plomo son utilizadas en la fabricación de municiones, productos metálicos como tuberías y soldadoras y pigmentos; compuestos de plomo son usados en la producción de vidrios, cerámicas, estabilizadores de plásticos y pinturas. El uso de plomo en gasolinas (tetraetilo de plomo),

en tuberías, latas de comida y pinturas, fue eliminado y prohibido hace más de 20 años debido a efectos tóxicos para el medio ambiente y el hombre.

- Vanadio <sup>[20]</sup>:

El vanadio es un metal poco abundante en la naturaleza, usualmente está combinado con oxígeno, sodio, sulfuros y cloruros. Se puede encontrar en la corteza terrestre, en rocas, algunos minerales de hierro y en depósitos de petróleo crudo. En la producción de herramientas de acero se utiliza como aditivo, proporcionando dureza y resistencia a la oxidación. Este tipo de acero es usado en la fabricación de partes de autos y aviones. También se utiliza en la manufactura de caucho, plásticos y cerámicas.

- Zinc <sup>[21]</sup>:

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, pero no se encuentra en forma elemental por su reactividad. Es depositado en forma de capa o película de protección de otros metales como hierro y acero, este proceso se conoce como galvanizado. De igual modo, tiene un amplio uso en aleaciones que sirven en los procesos de fundición y en la industria de construcción. El óxido de zinc es usado en la producción de caucho como un activador y acelerador en procesos de vulcanización, así como retardante del envejecimiento del caucho.

## 1.5 ANÁLISIS DE METALES

En el análisis de metales en muestras de aire ambiente es de vital importancia el empleo de técnicas e instrumentación avanzadas, así como el desarrollo de métodos analíticos confiables, reproducibles y sensibles debido a su peligrosidad para el ambiente y el hombre. Estos métodos deben permitir alcanzar límites de detección y cuantificación lo más bajos posibles, incluso menores que los límites establecidos en las normas.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) ha desarrollado un método para la determinación de metales en filtros de material particulado. El método desarrollado e implementado en este estudio se basa en lo establecido en los métodos: US-EPA Compendium Method IO- 3.1 “*Selection, preparation and Extraction of filter material*”; y el US- EPA Compendium Method IO- 3.2 “*Determination of metals in Ambient particulate matter using Atomic Absorption (AA) Spectrometry*”<sup>[22]</sup>.

En términos generales, el procedimiento realizado para la caracterización del material particulado es el siguiente:

- Luego de acondicionar y pesar los pedazos de filtro de material particulado, los metales presentes son extraídos mediante una digestión ácida asistida por microondas, usando una solución extractora 2,06M de HCl y 0,89M de HNO<sub>3</sub>, con la posterior filtración para eliminar cualquier material insoluble.
- El extracto obtenido se analiza en el equipo de Absorción Atómica introduciendo la muestra manualmente o empleando un automuestreador. La cuantificación de los

diferentes metales presentes se realiza mediante el uso de curvas de calibración preparadas a diferentes niveles de concentración.

### 1.5.1 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS

La extracción asistida por microondas es un método de preparación de muestras en el cual se utiliza energía microondas para calentar los ácidos que se encuentren en contacto con las muestras, con energía suficiente para separar los compuestos de interés de su matriz y transferirlos a la solución <sup>[23]</sup>.

La principal ventaja del uso de microondas es la disminución del tiempo de digestión. Además, es un método rápido, eficiente y reproducible que permite realizar extracciones a elevadas temperaturas y presión con reducido consumo de solventes, manteniendo un calentamiento más rápido, uniforme y controlado.

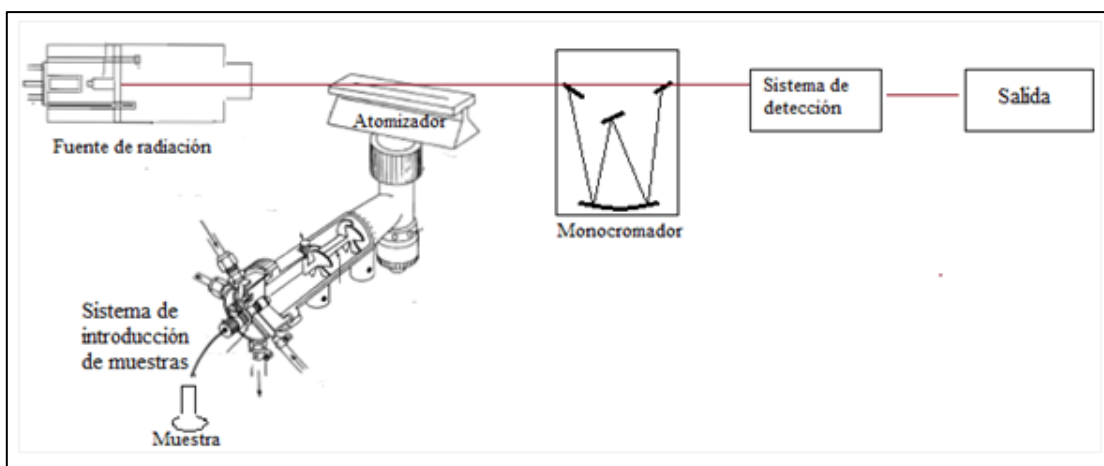
Los componentes básicos de un sistema de digestión por microondas son el generador de microondas (magnetron), un divisor de haz y los recipientes para las muestras. Las muestras de interés son colocadas en recipientes cerrados de Teflón™, por su relativa transparencia a la radiación microondas, especialmente a la frecuencia usada en estos sistemas de digestión (2450 MHz). A esta frecuencia, el magnetron emite energía electromagnética hacia los viales pasando por el divisor de haz, de esta forma las moléculas de solvente absorben la radiación y se calientan, provocando que los analitos de interés se separen de su matriz y pasen al solvente. El calentamiento en este tipo de sistemas deriva

del campo eléctrico cambiante que presentan las microondas; dicho campo eléctrico provoca que roten moléculas como las del agua, que migren iones de soluciones iónicas y que se muevan los electrones de materiales metálicos.

### 1.5.2 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La Espectroscopía de Absorción Atómica es una técnica de detección y cuantificación en la cual los átomos libres de un elemento químico absorben radiación de una longitud de onda determinada. La intensidad de la radiación absorbida es proporcional a la concentración del elemento analizado.

En la Figura 1.1 se puede observar un esquema de los componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica de llama. La instrumentación es esencialmente la misma tanto en llama como en horno de grafito, excepto que en el horno de grafito el atomizador es un tubo de grafito. El sistema de introducción de muestras es automático.



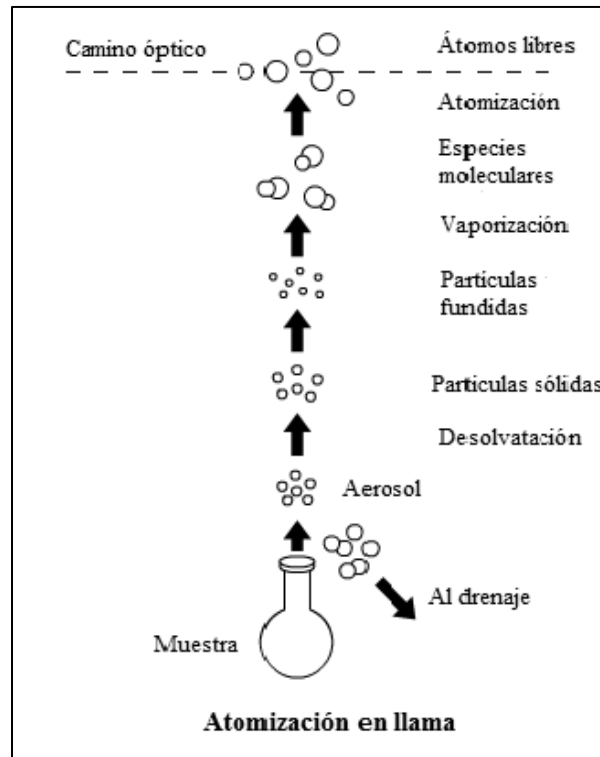
**Figura 1.1. Diagrama de un espectrofotómetro de Absorción Atómica.**

La muestra a analizar es aspirada por un tubo capilar y nebulizada. El aerosol formado pasa a una cámara de nebulización en donde pequeñas “aspas” eliminan las gotas de mayor tamaño, dejando solamente aquellas que tengan un diámetro de 2 a 6  $\mu\text{m}$ , que pasan al atomizador.

El aerosol entra en contacto con la llama y ocurre la desolvatación eliminándose agua y otros solventes para formar partículas sólidas secas. Luego, por efecto de la temperatura de la llama las partículas sólidas se funden y se lleva a cabo la vaporización. Finalmente, las partículas se disocian formando átomos en estado libre.

En el caso de usar horno de grafito como atomizador, la muestra es inyectada, mediante un puerto de inyección, en el centro del tubo de grafito y es calentada en tres etapas dependiendo de la corriente que se aplique: secado del solvente, pirólisis para remover la matriz y finalmente, la atomización del elemento.

En la Figura 1.2 se muestra un diagrama del proceso de atomización explicado anteriormente.



**Figura 1.2. Proceso de atomización en llama** <sup>[24]</sup>

A través del vapor atómico generado en la llama se hace pasar un haz de radiación de una determinada longitud de onda, propia de cada elemento. De esta manera, los átomos libres absorben la radiación, cuya intensidad es proporcional a la concentración del elemento en la muestra. Los átomos luego emiten energía y regresan a su estado basal.

El haz de luz emitido pasa por el monocromador que aísla la longitud de onda de interés de la radiación emitida por otros elementos en la llama. El haz de luz incide en el detector el cual amplifica la señal recibida y expresa el resultado en forma de concentración de metal en mg/l o µg/l.

### 1.5.2.1 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE METALES POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para el análisis cuantitativo se utilizan curvas de calibración preparadas a partir de estándares certificados de cada metal a diferentes concentraciones. El proceso de cuantificación se basa la ley de Lambert- Beer la cual compara la absorbancia obtenida de la muestra con la de cada uno de los niveles de la curva de calibración. De esta forma, se interpola y se obtiene la concentración del analito en la muestra.

### 1.5.2.2 INTERFERENCIAS<sup>[25,26, 27,28]</sup>

Una interferencia es un fenómeno físico o químico que causa la reducción o aumento de la señal comparada con la de una solución calibrada. El proceso de atomización puede verse afectado por **interferencias físico- químicas** que impiden la formación de especies neutras metálicas en una muestra. Las interferencias químicas más comunes son la formación de compuestos no volátiles con el analito y la ionización del mismo.

Durante la atomización en llama, es muy probable que se formen óxidos metálicos, debido al oxígeno presente en el comburente usado en el proceso de combustión, y fosfatos de los analitos. Estos compuestos formados reducen significativamente la señal esperada. La formación de compuestos no volátiles es usualmente minimizada al aumentar la temperatura de la llama, ya sea variando el flujo de combustible- oxidante o usando una diferente combinación de los mismos.

De igual forma, se pueden evitar las interferencias químicas, usando agentes liberadores o agentes protectores en soluciones que contengan al analito. Un agente liberador es un reactivo cuya reacción con un interferente es más favorable que la reacción del interferente con el analito. Los agentes liberadores más comunes son el cloruro de lantano y cloruro de estroncio. Un agente protector es un reactivo que reacciona con el analito formando un complejo volátil estable. El agente protector más conocido es el EDTA.

Las **interferencias por ionización** ocurren cuando la energía calórica de la llama o del atomizador electrotérmico es suficiente para ionizar al analito. El efecto de ionización puede ser minimizado añadiendo una alta concentración de un supresor de ionización, que es una sustancia que se ioniza más fácilmente que el analito. Los metales supresores de ionización más frecuentes son el potasio y cesio, debido a su baja energía de ionización.

Una **interferencia espectral** puede darse por diversos factores que se describen a continuación:

- ***Solapamiento de la banda de absorción del analito con la banda de absorción del interferente:*** El uso de lámparas de cátodo hueco que emiten una única longitud de onda hace de la absorción atómica una técnica altamente selectiva. Esto significa que virtualmente ninguna interferencia de banda espectral afecta a la Espectroscopía de Absorción Atómica.
- ***Absorción y dispersión de la radiación por la llama:*** Durante la combustión se generan moléculas que exhiben una ancha banda de absorción, así como partículas que dispersan la radiación de su fuente. Esto constituye una interferencia espectral

importante. Si esta interferencia espectral no se corrige, la intensidad de la radiación transmitida disminuye. El resultado de esto es un aumento de la absorbancia de la muestra. La absorción y dispersión de la radiación por parte de la llama son corregidas analizando blancos antes de las muestras.

- ***Absorción y dispersión de la radiación por parte de la señal de fondo:*** La absorción y dispersión de la radiación ocasionadas por la matriz de la muestra en lugar del analito se conoce como señal de fondo de la muestra. Si se sabe cuál es la composición de la matriz de una muestra se pueden preparar estándares con una matriz idéntica y así eliminar la interferencia. Del mismo modo, si la señal de fondo se debe a un componente específico de la muestra, este se puede añadir en exceso a cada muestra y estándar para que la interferencia causada por éste sea insignificante. Además, muchas interferencias causadas por la matriz de la muestra pueden ser eliminadas ajustando la composición de los gases para la combustión.

Cuando la identidad del interferente en la matriz se desconoce, o no es posible ajustar la llama para eliminarlo, se usan otros métodos para compensar la señal de fondo. Uno de los métodos más usados es una fuente continua de radiación como la lámpara de deuterio. La absorción de su radiación por parte del analito es despreciable, mientras que la mayor parte de la radiación es absorbida por la señal de fondo. La radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco es absorbida tanto por el analito como la señal de fondo. Al restar la absorbancia de la lámpara de deuterio de la de cátodo hueco se obtiene una absorbancia corregida, libre de interferencia de fondo.

Existen otros métodos de corrección de fondo como el Zeeman y el Smith- Hieftje los cuales están incluidos en algunos de los espectrofotómetros de absorción atómica comerciales.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

En el presente estudio se determinó la concentración de Al, Ca, Cd, Mn, Pb, V y Zn, en filtros de material particulado PM<sub>10</sub>, recolectados en siete estaciones de la Red de Monitoreo Atmosférico de la ciudad de Quito, ubicadas en Cotocollao, Belisario, Jipijapa, El Camal, Guamaní, Los Chillos y Tababela.

Para el análisis de metales en los filtros de material particulado PM<sub>10</sub>, se siguieron dos procedimientos:

### **2.1 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

Como punto de referencia se utilizaron las condiciones analíticas recomendadas por el fabricante del espectrofotómetro para cada metal. Se realizaron las determinaciones de los analitos usando curvas de calibración, preparadas con estándares certificados a varios niveles de concentración. Mediante lecturas realizadas en filtros de prueba, seleccionados de todas las estaciones de monitoreo, se determinaron los niveles de concentración que fueron usados para cada curva de calibración. Se calcularon los límites de detección y cuantificación para cada método analizando filtros empleados como blancos. El cálculo de los límites de detección y cuantificación se encuentra en el Anexo 1.

Luego de una serie de variaciones en los flujos de los gases a las condiciones iniciales de operación, se logró establecer las condiciones óptimas de trabajo para el análisis de los siete metales en base a las lecturas obtenidas de los estándares certificados de cada elemento. En la Tabla 2.1 se reportan las condiciones de operación.

**Tabla 2.1. Condiciones de operación óptimas para el análisis de metales.**

<b>Metal</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Slit (nm)</b>	<b>Flujo de gases (l / min)</b>	<b>Límites de detección y cuantificación (mg/l)</b>
Al	309,3	0,2	Acetileno: 8,5	LD: 2,23; LC: 4,90
			Óxido nitroso: 8,5	
Cd	228,8	0,7	Argón: 60	LD: $7,4 \times 10^{-4}$ ; LC: 0,0028
Ca	422,7	0,7	Acetileno: 2	LD: 0,09 ; LC: 0,42
			Aire: 10	
Mn	279,5	0,2	Acetileno: 3	LD: 0,10 ; LC: 0,25
			Aire: 10	
Pb	283,3	0,7	Argón: 60	LD: 0,01276 ; LC: 0,03479
V	318,4	0,7	Argón: 60	LD: 0,01379 ; LC: 0,03754
Zn	213,9	0,7	Acetileno: 3	LD: 0,14 ; LC: 0,28
			Aire: 10	

## **2.2 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS.**

Se emplearon las condiciones establecidas en el método de extracción de la EPA que plantea el uso de 10 ml de solución extractora aforando a 20 ml y un tiempo de 23 minutos a una potencia del 100%. Se realizaron las digestiones de prueba añadiendo una cantidad conocida de manganeso a filtros blanco, variando la cantidad de solución extractora usada en la extracción, la potencia y el tiempo. La presión de trabajo y la temperatura no fueron

modificadas en ninguna prueba de digestión y éstas fueron 50 bares y 200 °C. Las condiciones de operación optimizadas y los resultados obtenidos se reportan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Variaciones de las condiciones de trabajo para la extracción en microondas.**

<b>Código del Filtro</b>	<b>Vol. Ácido (ml)</b>	<b>Aforo (ml)</b>	<b>Lectura (mg/l)</b>	<b>Lectura blanco (mg/l)</b>	<b>Concentración real (mg/l)</b>	<b>Concentración estimada (mg/l)</b>	<b>% de recuperación</b>
MP- 632	10	20	0,186	0,039	0,147	0,5	27,8 - 29,4
MP- 700	15	25	0,181	0,039	0,142	0,4	35,5 - 40,3
MP- 635	25	25	0,365	0,039	0,326	0,4	71,75 - 81,5
MP- 688	25	50	0,224	0,039	0,185	0,2	77,5 - 92,5
MP- 1	35	50	0,227	0,039	0,188	0,2	94,0 – 113,0

Se tomó como referencia los porcentajes de recuperación considerados aceptables publicados en la norma UNE-EN 14902:2006 “Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medida de Pb, Cd, As y Ni en la fracción PM<sub>10</sub> de la materia particulada en suspensión”, estos porcentajes varían en un rango del 85 al 115%. Cabe resaltar que no todos los metales analizados están normados, sin embargo, se tomó como “aceptable” el mismo rango de recuperación para todos los elementos estudiados.

La primera prueba de digestión fue realizada a una potencia del 100% en un tiempo de 23 minutos. No se obtuvo una recuperación aceptable, por lo que esta condición fue descartada. La segunda prueba de digestión fue realizada al 100% de potencia en 23 minutos, pero se utilizó 15 ml de solución extractora y se aforo a 25 ml. Al igual que en la

primera prueba de digestión, el porcentaje de recuperación fue bajo de modo que estas condiciones se descartaron.

En la tercera prueba de digestión se trabajó a una potencia del 90% durante 60 minutos. Estas condiciones fueron sugeridas usar por el programa pre- instalado en el equipo. Las variaciones de la cantidad de solución extractora, al igual que el volumen de aforo permitieron establecer que las condiciones más adecuadas para la extracción son usando 35 ml de solución extractora y aforando a 50 ml, obteniendo un porcentaje de recuperación entre 94- 113%. Estas condiciones se utilizaron para la digestión de todas las muestras, así como de los filtros blancos y fortificaciones.

## **2.3 DETERMINACIÓN DE METALES DE FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{10}$ DE LA RED DE MONITOREO DE AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO.**

### **2.3.1 MUESTREO.**

Se analizaron muestras tomadas por la CORPAIRE de los años 2009 y 2010 en siete estaciones de monitoreo ubicadas en diferentes puntos de la ciudad. Durante el año 2009, por estación se realizó el análisis de 10 muestras, a excepción de las estaciones de El Camal y Tababela para las cuales se contó con 8 muestras. En el caso del año 2010 se analizaron 12 muestras para cada estación. Las muestras faltantes fueron utilizadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

Se tomaron las muestras en siete estaciones de monitoreo que cuentan con muestreadores activos semiautomáticos de alto volumen para el análisis de material particulado  $PM_{10}$ . Las estaciones de monitoreo están ubicadas en siete diferentes parroquias urbanas de la ciudad en donde existen áreas residenciales, zonas de negocios, circulación de vehículos privados y transporte público, alejadas de zonas industriales. Cada estación de monitoreo se encuentra a una escala espacial que representa un área de muestreo de varias manzanas dentro de la ciudad. Estas están ubicadas en Cotocollao, Belisario, Jipijapa, El Camal, Guamaní, Los Chillos y Tababela

En la Figura 2.1 se encuentra un mapa de la distribución de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Quito.



**Figura 2.1. Mapa de la distribución de las estaciones de monitoreo de  $PM_{10}$  en la ciudad de Quito.**

### 2.3.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.

Las muestras fueron analizadas siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

#### 2.3.2.1 DIGESTIÓN ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS.

- Materiales y equipos:
  - Campana de extracción LABCONCO.
  - Balanza Analítica Mettler Toledo Ab204 con una precisión de 0,1 mg.
  - Horno microondas TOPwave<sup>®</sup> Analytik Jena de 12 posiciones.
  - Viales de digestión de teflón<sup>™</sup> PL100 (con capacidad de 100 ml).
  - Pinzas de plástico.
  - Probeta graduada de 50 ml.
  - Embudos de vidrio.
  - Papel filtro cualitativo Whatman de 11 micras.
  - Balones aforados de 50 ml clase A.
  
- Reactivos:
  - Ácido clorhídrico concentrado J. T. Baker.
  - Ácido nítrico concentrado Merck.
  - Agua Tipo 1.

- Procedimiento:
  - Preparar la solución extractora vertiendo en un balón aforado de 1 litro 500 ml de agua destilada, 167,5 ml de HCL concentrado y 55,5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y aforando a 1 litro con agua Tipo 1.
  - Pesar el filtro recibido para el análisis en una balanza analítica con una precisión de 0,1 mg.
  - Transferir cuidadosamente el filtro al vial de digestión, evitando que toque las paredes del recipiente.
  - Añadir 35 ml de la solución extractora HNO<sub>3</sub>/HCl y tapar el vial.
  - Colocar los viales de digestión en cada una de las 12 posiciones del carrusel.
  - Encender el horno de microondas en las condiciones de digestión optimizadas.
  - Terminada la digestión, retirar los viales y dejar enfriar.
  - Filtrar el extracto obtenido en balones aforados de 50 ml y enjuagar los viales con agua destilada para recuperar completamente la solución extractora.
  - Aforar con agua destilada.
  - Marcar los balones con el código asignado a cada muestra.
  - Almacenar las muestras en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

### 2.3.2.2 CUANTIFICACIÓN POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Los extractos obtenidos se analizaron por Espectroscopía de Absorción Atómica. Se determinaron aluminio, calcio, manganeso y zinc usando la técnica de atomización por llama y cadmio, plomo y vanadio se analizaron por atomización con horno de grafito.

Previo al análisis de las muestras se analizaron los estándares correspondientes a cada nivel de concentración y empleando el software del equipo se determinaron las curvas de calibración de cada elemento. Como criterio de control de calidad, las curvas elaboradas fueron aceptadas únicamente si presentaban un coeficiente de correlación de mínimo 0,990. Se analizaron los estándares certificados de calidad (Quality Controls) en cada corrida para garantizar las curvas de calibración. El certificado de análisis de los estándares de calidad se encuentra en el Anexo 2. Para el caso de calcio y vanadio no se contó con un QC por lo que se prepararon estándares de concentración conocida y se los utilizó para control de calidad. Los resultados del análisis de control de calidad se reportan en el Anexo 3.

- Materiales y equipos:
  - Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin- Elmer<sup>®</sup> AAnalyst™ 300, con horno de grafito HGA<sup>®</sup>-800 y auto muestreador AS-72.
  - Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4, 5, y 10 ml clase A.
  - Balones aforados de 100 ml clase A
  - Propipeta de 25 ml.
  
- Reactivos:

- Estándares certificados AA de cada metal de 1000 µg/ml en 2-5% ácido nítrico AccuStandard.
- Ácido nítrico concentrado Merck.
- Agua Tipo 1.
- Ampolla de metales traza RTC

Para el análisis de Al, Ca, Mn y Zn se preparó una solución madre de 100 mg/l a partir de su estándar certificado. En base a ésta se realizaron diluciones de cada nivel de concentración. En la Tabla 2.3 se presentan las soluciones para las curvas de calibración realizadas para los metales analizados por Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.

**Tabla 2.3. Soluciones para construir las curvas de calibración de Al, Ca, Mn y Zn.**

<b>Metal</b>	<b>Niveles de concentración (mg/l)</b>			
<b>Al</b>	3	4	5	6
<b>Ca</b>	0,1	0,2	0,5	1
<b>Mn</b>	0,1	0,5	1	2
<b>Zn</b>	0,1	0,5	1	2

En el caso de los metales analizados por Espectroscopía de Absorción Atómica mediante horno de grafito se preparó una única solución a partir de su estándar certificado, que correspondía al punto más alto de la curva, es decir el de mayor concentración. El equipo realiza las diferentes diluciones para construir la curva.

Las concentraciones de los niveles de la curva de calibración para Cd, Pb y V se indican en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Soluciones para construir las curvas de calibración de Cd, Pb y V.**

<b>Metal</b>	<b>Niveles de concentración (mg/l)</b>			
<b>Cd</b>	0,004	0,006	0,008	0,01
<b>Pb</b>	0,02	0,04	0,06	0,08
<b>V</b>	0,025	0,05	0,075	0,10

- Procedimiento:
  - Iniciar el programa WinLab AA en el espectrofotómetro de Absorción Atómica.
  - Encender la lámpara del elemento de interés a su energía de trabajo.
  - Ingresar los códigos de las muestras.

Para Espectroscopía de Absorción Atómica de llama:

- Encender la llama bajo las condiciones optimizadas de longitud de onda, slit y flujo de gases para Al, Ca, Mn y Zn indicados en la Tabla 2.1.
- Medir la absorbancia de las soluciones estándar elaboradas a los diferentes niveles de concentración establecidos en la Tabla 2.3 para construir la curva de calibración.
- 

Para el caso de Espectroscopía de Absorción Atómica mediante horno de grafito:

- Colocar el blanco, la solución estándar y las muestras en el automuestreador.
- Encender el horno de grafito aplicando la longitud de onda, slit y flujo de gas optimizados descritos en la Tabla 2.1 para cadmio, plomo y vanadio.

- El equipo realiza las diluciones de la solución estándar para elaborar la curva de calibración a los niveles de concentración detallados en la Tabla 2.4 para cada elemento.
- Previo a cada determinación, analizar un blanco hasta que la señal sea cero.
- Realizar las mediciones de las muestras.

La alineación del mechero se realiza con una solución de cobre de 4 mg/l.

### 2.3.3 TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de cada muestra se expresan en mg/l de la curva de calibración. Para reportar las cantidades de metal presente en el aire de Quito se requiere transformar los valores obtenidos en mg/l a ng/m<sup>3</sup>.

Para este cálculo se utilizó la ecuación 2.1 que se presenta a continuación:

$$ng/m^3 = \frac{50 \times \frac{F}{M} \times (N-A) \times H}{S \times G} \quad (2.1)$$

En donde:

50: volumen de aforo.

F: peso en gramos del filtro con PM<sub>10</sub>.

M: peso en gramos del pedazo de filtro tomado como muestra.

N: lectura del contenido de metal obtenido de la curva de calibración en mg/l.

A: lectura del blanco en mg/l.

H: concentración de PM<sub>10</sub> en el filtro expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

G: peso en gramos de PM<sub>10</sub> en el filtro completo.

S: factor de conversión a  $\text{ng}/\text{m}^3$ , siendo este 1000.

### 2.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante dos pruebas de significación estadística que comparan variables entre distintas muestras con el fin de aceptar o rechazar una hipótesis nula ( $H_0$ ) que afirma que no existen diferencias significativas entre ellas en un intervalo de confianza determinado. En esta disertación se utilizaron la prueba t de Student y ANOVA, ambas al 95% de confianza. En el Anexo 4 se encuentran cálculos tipos de las pruebas t y ANOVA.

#### 2.3.4.1. PRUEBA t DE STUDENT

La prueba t de Student es una herramienta que nos permite comparar dos medias para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellas. En este caso específico se utilizó la fórmula para la comparación de dos medias experimentales ( $x_1, x_2$ ) provenientes de poblaciones con desviaciones estándar desiguales ( $s_1, s_2$ ) con un número ( $n_1, n_2$ ) de determinaciones de cada muestra:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2.2)$$

$$\text{grados efectivos} = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n-1)}} \quad (2.3)$$

El valor que se obtenga al calcular t se compara con el valor en la tabla de distribución de Student con el nivel de significación  $\alpha=0$ . Si el valor de t calculado es menor que el tabulado se acepta la hipótesis nula. En el presente trabajo se evaluó si existe o no diferencia significativa entre los promedios obtenidos de cada año en las siete estaciones de monitoreo.

#### 2.3.4.2. ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA)

El análisis de varianza es una herramienta estadística que desarrolla un contraste entre los valores medios de diferentes muestras y permite determinar si existe o no una diferencia significativa entre ellas.

Para formular el criterio de aceptación o rechazo de la hipótesis nula se recurre a dos estimadores de la varianza conocidos como varianza dentro de los grupos ( $s_w^2$ ) y varianza entre los grupos ( $s_b^2$ ) que son comparados probabilísticamente con ayuda de la distribución F de Fisher. El valor calculado de F, a partir de la relación  $s_b^2/s_w^2$ , se compara con el valor

en la Tabla de distribución F al 95% de confianza. Si el valor de F calculado es menor al tabulado se acepta la hipótesis nula indicando que no existe diferencia significativa entre las medias.

Para efectos de este estudio se desarrolló un análisis considerando las siete estaciones (varianza entre grupos) y los meses de muestreo de cada año (varianza dentro de los grupos) para determinar si existe o no una diferencia significativa entre los resultados de cada estación en cada mes analizado. Los parámetros calculados para realizar el ANOVA se presentan en la Tabla 2.5:

**Tabla 2.5. Parámetros generales del ANOVA.**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de suma de cuadrados	F
Entre los grupos (Estaciones)	$h - 1$	$SDC_b = n \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$\sigma_b^2 = \frac{n \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{h - 1}$	$F = \frac{DCM_b}{DCM_w}$
Dentro de los grupos (Meses)	$h(n - 1)$	$SDC_w = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$\sigma_w^2 = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)}$	
Total	$hn - 1$	$SDC_T = SDC_b + SDC_w$		

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CUANTIFICACIÓN POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Con los valores de absorbancia obtenidos al analizar las soluciones preparadas a diferentes concentraciones se construyeron las curvas de calibración para cada metal. Todas las curvas de calibración presentaron un coeficiente de correlación superior a 0,990. En la Tabla 3.1 se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos de las curvas de calibración de los siete metales analizados. En el Anexo 5 se encuentran las gráficas de las curvas de calibración correspondientes a los valores de la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Resultados obtenidos mediante la lectura de las curvas de calibración de los siete metales analizados.**

<b>Metal</b>	<b>Curva de calibración (mg/l)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>Intercepto</b>
<b>Al</b>	3	0,013	0,00422	0,99943	-0,0001
	4	0,016			
	5	0,021			
	6	0,026			
<b>Cd</b>	0,004	0,535	0,12245	0,99916	0,0201
	0,006	0,767			
	0,008	0,999			
	0,010	1,227			

Continúa Tabla 3.1					
<b>Ca</b>	0,1	0,008	0,08139	0,99889	0,0007
	0,2	0,017			
	0,5	0,044			
	1	0,081			
<b>Mn</b>	0,1	0,006	0,06225	0,99996	-0,0006
	0,5	0,03			
	1	0,061			
	2	0,125			
<b>Pb</b>	0,02	0,153	0,00612	0,99785	0,016
	0,04	0,271			
	0,06	0,383			
	0,08	0,496			
<b>V</b>	0,025	0,042	0,00196	0,99942	-0,0024
	0,050	0,097			
	0,075	0,144			
	0,100	0,194			
<b>Zn</b>	0,1	0,022	0,22802	0,99997	0,0005
	0,5	0,116			
	1	0,23			
	2	0,455			

### 3.2 CONCENTRACIÓN DE METALES EN FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO PM<sub>10</sub>.

La concentración de los metales analizados, en ng/m<sup>3</sup>, encontrados en los filtros de material particulado PM<sub>10</sub> correspondientes a las siete estaciones de monitoreo durante los años 2009 y 2010, se detalla en las Tablas 3.2 a 3.15. Un ejemplo del cálculo de las concentraciones en ng/m<sup>3</sup> se desarrolla en el Anexo 6.

**Tabla 3.2. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Cotocollao.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	0,30	< LC	51,44	229,31	4,72	0,06	< LC
<b>MARZO</b>	0,80	0,32	81,76	543,91	3,04	< LC	< LC
<b>ABRIL</b>	0,15	5,47	44,73	466,45	6,835	0,15	< LC
<b>MAYO</b>	2,21	< LC	92,89	389,87	2,26	0,30	< LC
<b>JUNIO</b>	12,30	5,26	454,33	8691,56	5,95	0,60	4165,15
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	< LC	< LC	51,75	655,85	11,32	< LC	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	7,90	2,25	49,60	1003,25	8,69	0,20	< LC
<b>OCTUBRE</b>	< LC	1,51	19,92	701,48	7,08	0,10	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	< LC	24,34	647,59	6,76	0,20	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.3. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Belisario.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	< LC	< LC	24,40	84,18	3,02	< LC	< LC
<b>MARZO</b>	< LC	12,54	113,35	694,26	5,99	< LC	< LC
<b>ABRIL</b>	2,90	20,51	52,14	493,95	7,60	0,10	< LC
<b>MAYO</b>	< LC	3,00	78,50	408,00	2,60	0,40	< LC
<b>JUNIO</b>	< LC	78,67	488,66	13186,84	24,33	1,00	4989,98
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	< LC	29,91	34,00	1357,72	24,48	0,20	21,82
<b>SEPTIEMBRE</b>	0,10	8,99	23,03	1296,93	14,04	0,30	< LC
<b>OCTUBRE</b>	< LC	1,48	6,91	364,42	1,40	0,10	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	2,99	3,31	836,77	10,57	0,10	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	< LC	< LC	26,72	293,42	6,22	0,10	83,01

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.4. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Jipijapa.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	< LC	< LC	23,95	23,84	14,56	< LC	< LC
<b>MARZO</b>	< LC	8,84	118,69	605,34	8,30	< LC	< LC
<b>ABRIL</b>	< LC	14,63	48,20	271,79	14,32	0,10	< LC
<b>MAYO</b>	0,40	17,50	48,72	225,83	14,94	0,30	< LC
<b>JUNIO</b>	6,30	67,68	496,40	10317,67	16,56	1,00	3996,15
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	< LC	76,42	31,49	463,82	23,60	0,20	21,82
<b>SEPTIEMBRE</b>	13,00	18,51	79,91	748,76	25,34	0,30	< LC
<b>OCTUBRE</b>	< LC	3,85	27,99	326,17	21,16	0,20	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	5,00	29,90	487,40	22,00	0,10	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	3,80	6,32	24,39	216,64	11,88	0,10	0,44

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.5. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación El Camal.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>MARZO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>ABRIL</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>MAYO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>JUNIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	1,20	7,30	52,89	1087,87	18,10	0,20	3,01
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,90	9,30	46,90	1067,40	10,70	0,50	2,80
<b>OCTUBRE</b>	< LC	9,80	25,40	596,00	11,10	0,20	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	6,40	49,30	489,50	9,70	0,40	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	< LC	3,46	7,23	40,12	3,80	< LC	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.6. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Guamaní.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	< LC	4,64	42,30	135,53	12,51	< LC	< LC
<b>MARZO</b>	0,52	< LC	95,66	420,20	7,77	0,73	< LC
<b>ABRIL</b>	2,57	< LC	94,91	716,59	2,51	0,38	< LC
<b>MAYO</b>	4,47	< LC	133,75	251,08	0,87	0,29	< LC
<b>JUNIO</b>	6,80	14,14	175,14	689,04	22,05	1,38	< LC
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	< LC	2,35	68,65	754,41	8,39	0,10	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	10,0	12,11	115,12	1925,16	4,26	0,50	< LC
<b>OCTUBRE</b>	1,62	5,70	47,24	1913,34	5,54	0,80	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	0,60	< LC	45,55	792,81	2,59	0,30	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	< LC	< LC	42,30	262,21	0,85	0,14	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.7. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Los Chillos.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	< LC	23,90	23,41	< LC	35,39	0,01	< LC
<b>MARZO</b>	< LC	9,06	103,35	525,11	21,18	0,04	< LC
<b>ABRIL</b>	< LC	15,63	68,25	234,82	24,89	0,06	< LC
<b>MAYO</b>	3,40	4,29	125,80	191,05	21,49	0,32	< LC
<b>JUNIO</b>	< LC	27,95	58,93	97,00	27,14	< LC	< LC
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	< LC	17,89	73,04	496,75	19,80	0,09	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	< LC	12,27	47,13	498,22	24,41	0,10	< LC
<b>OCTUBRE</b>	0,30	7,81	26,46	638,17	33,34	0,05	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	8,88	20,67	422,10	29,08	0,15	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	< LC	15,33	17,20	125,88	15,32	0,08	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.8. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Tababela.**

**Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>FEBRERO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>MARZO</b>	< LC	1,10	< LC	< LC	< LC	< LC	< LC
<b>ABRIL</b>	< LC	17,44	56,96	964,76	6,84	0,18	< LC
<b>MAYO</b>	< LC	9,69	15,92	1170,37	10,74	0,20	< LC
<b>JUNIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>JULIO</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>AGOSTO</b>	1,34	15,59	25,81	2031,67	5,65	0,13	28,41
<b>SEPTIEMBRE</b>	< LC	8,13	10,55	2840,29	3,88	0,17	< LC
<b>OCTUBRE</b>	< LC	< LC	34,41	609,93	14,14	0,08	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	< LC	2,87	19,26	2009,29	2,00	0,23	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	< LC	4,73	11,26	345,14	1,72	0,03	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.9. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Cotocollao.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	10,19	71,18	156,63	10271,32	27,45	0,12	4105,98
<b>FEBRERO</b>	2,55	3,07	12,57	712,25	3,63	< LC	6,98
<b>MARZO</b>	6,26	1,68	13,37	507,15	3,21	0,17	25,81
<b>ABRIL</b>	3,53	3,25	13,66	566,98	5,86	< LC	< LC
<b>MAYO</b>	3,50	4,40	20,30	692,60	0,70	0,10	84,20
<b>JUNIO</b>	3,53	2,47	8,43	910,47	1,24	0,30	< LC
<b>JULIO</b>	2,60	5,04	9,89	413,12	< LC	0,09	460,59
<b>AGOSTO</b>	10,10	22,03	36,27	1242,31	11,28	0,17	159,16
<b>SEPTIEMBRE</b>	2,40	15,29	11,20	380,79	9,96	< LC	97,22
<b>OCTUBRE</b>	5,15	4,83	37,24	1081,43	2,06	< LC	40,43
<b>NOVIEMBRE</b>	1,15	0,50	5,61	280,93	0,98	< LC	0,91
<b>DICIEMBRE</b>	1,42	0,14	15,35	245,85	< LC	< LC	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.10. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Belisario.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	2,60	< LC	13,13	822,59	2,47	0,20	< LC
<b>FEBRERO</b>	2,00	< LC	20,48	436,04	0,28	0,10	32,49
<b>MARZO</b>	9,30	< LC	22,21	571,16	0,28	0,50	8,46
<b>ABRIL</b>	1,80	< LC	22,65	97,01	8,28	0,10	63,45
<b>MAYO</b>	5,80	< LC	46,11	770,97	10,38	0,10	101,00
<b>JUNIO</b>	2,30	< LC	27,24	446,11	5,69	0,10	53,02
<b>JULIO</b>	2,00	< LC	21,65	661,87	9,03	0,10	41,01
<b>AGOSTO</b>	1,30	< LC	14,09	517,80	6,97	< LC	66,51
<b>SEPTIEMBRE</b>	2,80	< LC	21,02	385,10	8,04	< LC	77,63
<b>OCTUBRE</b>	1,00	5,32	18,14	746,92	2,96	0,10	70,17
<b>NOVIEMBRE</b>	0,01	< LC	1,40	117,80	< LC	< LC	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.11. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Jipijapa.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	12,9	15,75	29,65	548,84	1,74	1,10	< LC
<b>FEBRERO</b>	1,90	16,17	5,31	140,93	15,31	0,10	< LC
<b>MARZO</b>	1,50	14,98	17,68	102,19	3,38	0,20	< LC
<b>ABRIL</b>	1,10	26,97	11,15	91,23	14,92	0,10	< LC
<b>MAYO</b>	3,20	18,05	32,47	225,14	14,92	0,10	< LC
<b>JUNIO</b>	5,60	20,76	25,09	245,11	14,15	0,20	< LC
<b>JULIO</b>	0,60	13,93	12,27	111,74	2,06	< LC	< LC
<b>AGOSTO</b>	4,10	7,40	21,50	307,60	1,30	0,10	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	3,10	< LC	18,93	170,66	8,64	0,10	114,72
<b>OCTUBRE</b>	3,10	1,42	23,72	182,03	< LC	0,10	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	1,20	3,65	6,35	86,98	0,48	0,10	< LC
<b>DICIEMBRE</b>	2,60	2,25	16,55	120,04	0,40	0,10	< LC

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.12. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación El Camal.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	2,00	5,43	38,81	1318,09	24,26	0,10	20,52
<b>FEBRERO</b>	2,00	12,73	55,40	563,28	25,16	0,10	19,26
<b>MARZO</b>	4,40	2,06	14,79	339,92	10,32	0,03	< LC
<b>ABRIL</b>	4,20	8,48	81,25	731,55	23,28	0,20	21,77
<b>MAYO</b>	4,50	11,21	72,52	972,30	18,17	0,10	69,34
<b>JUNIO</b>	4,80	7,10	62,30	710,40	19,90	0,40	15,40
<b>JULIO</b>	3,60	10,67	45,12	898,56	13,67	0,10	26,27
<b>AGOSTO</b>	7,50	13,33	78,83	1381,59	23,34	0,20	62,77
<b>SEPTIEMBRE</b>	6,00	< LC	43,65	630,01	16,83	0,10	139,52
<b>OCTUBRE</b>	1,30	7,67	23,93	758,97	7,03	0,20	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	2,40	2,10	21,55	330,34	9,31	0,04	8,95
<b>DICIEMBRE</b>	4,30	12,10	11,64	209,76	11,70	0,20	20,89

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.13. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Guamaní.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	1,45	2,28	13,02	417,38	1,86	0,13	< LC
<b>FEBRERO</b>	3,32	5,71	44,23	425,94	9,22	0,15	20,75
<b>MARZO</b>	8,46	8,78	41,41	821,35	9,21	0,13	< LC
<b>ABRIL</b>	7,58	5,82	66,44	317,32	3,43	< LC	52,77
<b>MAYO</b>	3,40	4,70	26,53	666,70	1,78	< LC	46,49
<b>JUNIO</b>	5,40	8,30	73,70	623,70	2,10	0,1	32,30
<b>JULIO</b>	2,21	5,19	26,08	771,98	0,14	< LC	16,91
<b>AGOSTO</b>	6,13	18,34	55,15	1876,25	0,22	< LC	0,52
<b>SEPTIEMBRE</b>	5,70	< LC	27,89	448,64	0,58	0,60	82,00
<b>OCTUBRE</b>	4,55	12,06	47,18	1534,27	< LC	0,09	< LC
<b>NOVIEMBRE</b>	8,83	6,39	77,31	470,33	< LC	0,59	70,01
<b>DICIEMBRE</b>	5,36	1,35	34,07	424,68	< LC	0,11	22,44

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.14. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Los Chillos.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	4,21	3,26	24,03	264,93	14,37	0,38	< LC
<b>FEBRERO</b>	2,66	18,19	43,17	166,98	48,04	0,19	< LC
<b>MARZO</b>	1,00	10,63	25,26	317,29	34,04	0,12	< LC
<b>ABRIL</b>	6,00	12,97	97,85	6,82	32,12	0,16	< LC
<b>MAYO</b>	3,44	8,45	98,34	153,61	35,74	0,21	< LC
<b>JUNIO</b>	2,29	8,86	89,20	226,22	33,38	0,15	< LC
<b>JULIO</b>	5,90	9,70	133,30	225,00	11,30	0,20	< LC
<b>AGOSTO</b>	3,44	25,92	59,16	397,36	30,46	0,29	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	1,20	< LC	15,21	148,45	3,93	< LC	79,21
<b>OCTUBRE</b>	0,06	< LC	14,34	348,85	< LC	0,38	14,37
<b>NOVIEMBRE</b>	1,67	4,11	49,96	138,53	24,49	0,08	10,48
<b>DICIEMBRE</b>	6,71	14,63	98,88	194,63	16,38	0,27	37,18

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

**Tabla 3.15. Concentración de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca en la estación Tababela.**

**Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>ENERO</b>	1,52	3,21	23,84	762,93	< LC	< LC	< LC
<b>FEBRERO</b>	1,17	0,48	9,15	517,16	< LC	0,24	< LC
<b>MARZO</b>	1,07	16,78	19,50	3075,12	2,32	0,34	< LC
<b>ABRIL</b>	1,11	3,29	2,59	445,79	4,48	< LC	< LC
<b>MAYO</b>	0,70	6,40	7,00	313,40	0,50	< LC	29,80
<b>JUNIO</b>	225,40	371,38	2416,97	35574,00	838,51	0,49	< LC
<b>JULIO</b>	0,55	6,10	5,13	849,70	1,47	< LC	< LC
<b>AGOSTO</b>	2,04	4,82	33,21	984,05	4,75	< LC	< LC
<b>SEPTIEMBRE</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>OCTUBRE</b>	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M
<b>NOVIEMBRE</b>	4,7	< LC	58,15	371,92	0,94	0,08	10,48
<b>DICIEMBRE</b>	1,9	< LC	8,45	189,31	7,28	0,08	19,84

“< L.C” límite inferior de cuantificación de cada metal. “N.M” se refiere a que no se dispone muestra debido a que fueron usadas para el análisis de otros contaminantes atmosféricos por la CORPAIRE.

### 3.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se determinó la concentración media anual de cada metal en las distintas estaciones de monitoreo a fin de evaluar la distribución de los diferentes metales en el Distrito Metropolitano de Quito. Los resultados se presentan en las Tablas 3.16 y 3.17.

**Tabla 3.16. Concentración media anual de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca. Año 2009.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	3,94	3,25	90,07	1499,82	6,79	0,20	<b>2124,08</b>
<b>Belisario</b>	1,52	19,76	85,10	<b>1901,65</b>	10,02	0,27	1698,27
<b>Jipijapa</b>	<b>5,87</b>	<b>24,31</b>	<b>92,96</b>	1368,73	17,27	0,27	1339,47
<b>El Camal</b>	1,55	7,25	36,34	656,18	10,68	0,33	2,91
<b>Guamaní</b>	3,80	7,79	86,06	786,04	6,73	<b>0,51</b>	< LC
<b>Los Chillos</b>	1,82	14,30	56,42	358,79	<b>25,20</b>	0,10	< LC
<b>Tababela</b>	1,34	8,51	24,88	1424,49	6,42	0,15	28,41

Se puede apreciar en la Tabla 3.16 que la estación de Jipijapa es la que presenta mayor concentración de Pb, Mn y Zn. De igual forma las estaciones en las que se presentan la mayor concentración de Al, V, Cd y Ca son las ubicadas en Belisario, Los Chillos, Guamaní y Cotocollao respectivamente.

**Tabla 3.17. Concentración media anual de Pb, Mn, Zn, Al, V, Cd, Ca. Año 2010.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	4,37	11,16	28,38	1442,10	6,64	0,16	<b>553,48</b>
<b>Belisario</b>	2,81	5,32	20,74	506,67	5,44	0,15	57,08
<b>Jipijapa</b>	3,42	12,85	18,39	194,37	7,03	0,19	114,72
<b>El Camal</b>	3,92	8,44	45,82	737,06	16,91	0,14	40,47
<b>Guamaní</b>	5,20	7,17	44,42	733,21	3,17	0,24	38,24
<b>Los Chillos</b>	3,21	11,67	62,39	215,72	25,84	0,22	28,31
<b>Tababela</b>	<b>24,02</b>	<b>51,56</b>	<b>258,40</b>	<b>4308,34</b>	<b>107,53</b>	<b>0,25</b>	20,04

Como se puede observar en la Tabla 3.17, al igual que en la Tabla 3.15, la estación que presenta la mayor concentración de Ca es la ubicada en Cotocollao. En contraparte, es la estación ubicada en Tababela la que registra las mayores concentraciones de Pb, Mn, Zn, Al, V y Cd en comparación con las demás estaciones.

Como se explicó en el capítulo 1, la principal fuente de origen de material particulado son las fuentes móviles debido al proceso de combustión de gasolina y diesel. Sin embargo, también contribuyen fuentes estacionarias, erosión del suelo y explotación de canteras. La fuente más importante de Pb, Cd y V corresponde al tráfico vehicular, a lo que se suma el desgaste de frenos y llantas de los vehículos. Por otro lado, las principales fuentes de Al, Ca, Mn y Zn son naturales, pero también son responsables el tráfico vehicular, la resuspensión del polvo y las industrias.

Todas las estaciones de monitoreo están ubicadas en zonas urbanas de la ciudad que presentan las mismas características espaciales, es decir áreas residenciales y zonas de

negocios con circulación de vehículos privados y transporte público <sup>[29]</sup>. No obstante, factores meteorológicos como temperatura, precipitaciones y dirección y velocidad del viento afectan la dispersión del material particulado PM<sub>10</sub> y por consecuencia la distribución de los metales en las diferentes zonas de la ciudad de Quito.

La concentración de material particulado PM<sub>10</sub> se redujo para el año 2010 <sup>[13,14]</sup>, esto significa que teóricamente la concentración de metales debió disminuir para este año. Sin embargo, en la mayoría de estaciones no lo hizo; esto indica que son la naturaleza y origen del material particulado lo que determina la concentración de determinados metales en él.

Con estos antecedentes se puede presumir la principal fuente de contaminación en cada estación. Cabe resaltar que en todas las estaciones de monitoreo prevalece la contaminación por el tráfico vehicular y el “polvo de la ciudad”.

La estación de Cotocollao puede verse afectada por la presencia de las canteras Rumicucho y El Guabo cercanas a ella, que explicaría por qué esta estación presenta la mayor concentración de calcio en los dos años de muestreo.

En el caso de la estación de Tababela para el año 2010, las altas concentraciones de todos los metales se ven afectadas por una situación aislada que es la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de Quito que significó el aumento de la circulación de camiones, buses y vehículos en general.

Las estaciones de Belisario, Jipijapa, Guamaní, Los Chillos y El Camal presentan un mayor tráfico vehicular que las otras áreas de la ciudad debido principalmente a la gran afluencia

de buses de transporte público que circulan en la ciudad a diario, además de los vehículos particulares, provocando mayor desgaste de frenos, llantas y pavimento con la posterior resuspensión del polvo de la ciudad conllevando al aumento de Pb, Cd y V en ellas.

### 3.3.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AÑOS 2009 Y 2010.

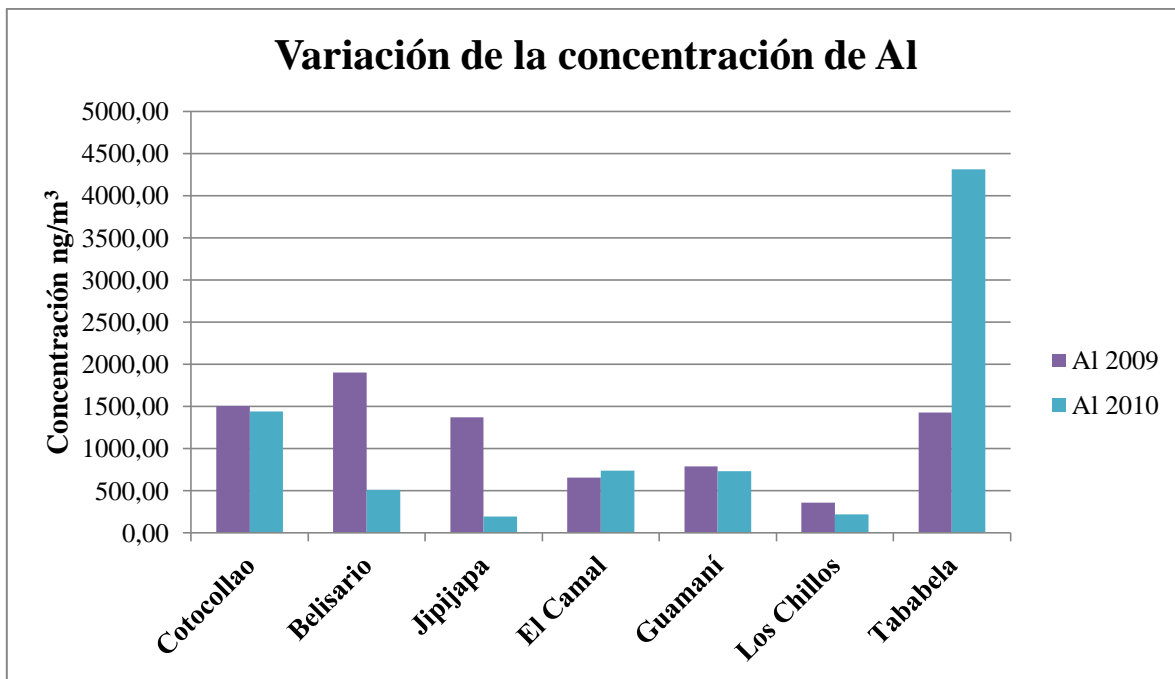
Con el fin de visualizar la comparación e interpretación de las tablas de resultados se construyeron representaciones gráficas de las concentraciones para cada estación en los dos años.

Para todos los metales analizados es evidente el aumento de la concentración para el año 2010 en la estación de Tababela. Esto se explica por la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de Quito que constituye un caso aislado de contaminación.

En forma general se esperaba que las concentraciones de los siete metales disminuyan para el año 2010 puesto que se toman medidas de control de la contaminación en la ciudad ya sea ésta provocada por fuentes móviles o fijas. Específicamente, se estima que la concentración de Pb, Cd, Mn y V (originados de la combustión de combustibles, desgaste de llantas y frenos e industrias) disminuirá debido a la revisión vehicular, la implementación de la restricción “pico y placa” y el control de emisiones en industrias. De forma menos directa, las concentraciones de Al, Ca y Zn también disminuirían al ser controlada la contaminación por vehículos y principalmente industrial.

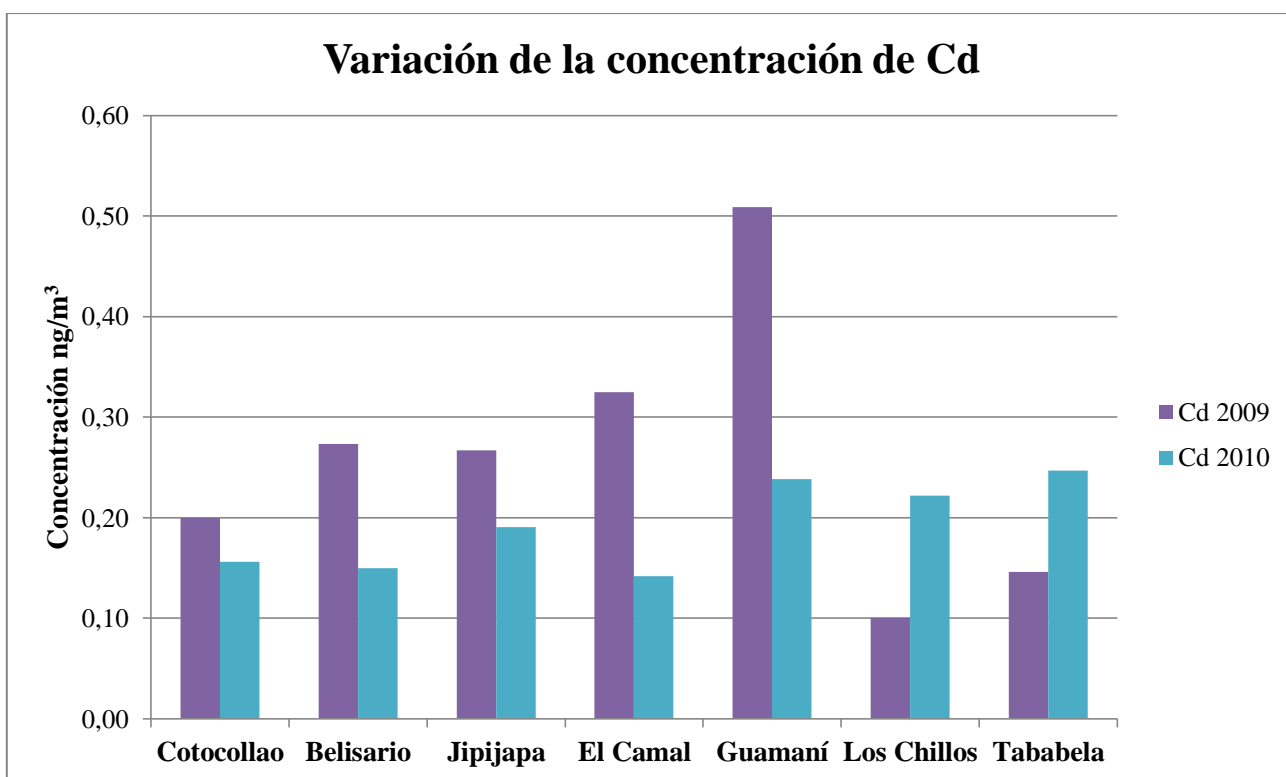
No se puede explicar la causa exacta de la disminución o aumento de la concentración de los metales en cada estación, pero se puede atribuir a varios factores como velocidad y dirección del viento o aumento del tráfico vehicular que provocan la resuspensión del polvo de la ciudad.

En la Figura 3.1 se presenta la concentración de Al. Se puede observar que, en términos generales, la concentración de este metal disminuyó para el año 2010 como era esperado, a excepción de la estación de Tababela que es un caso aislado.



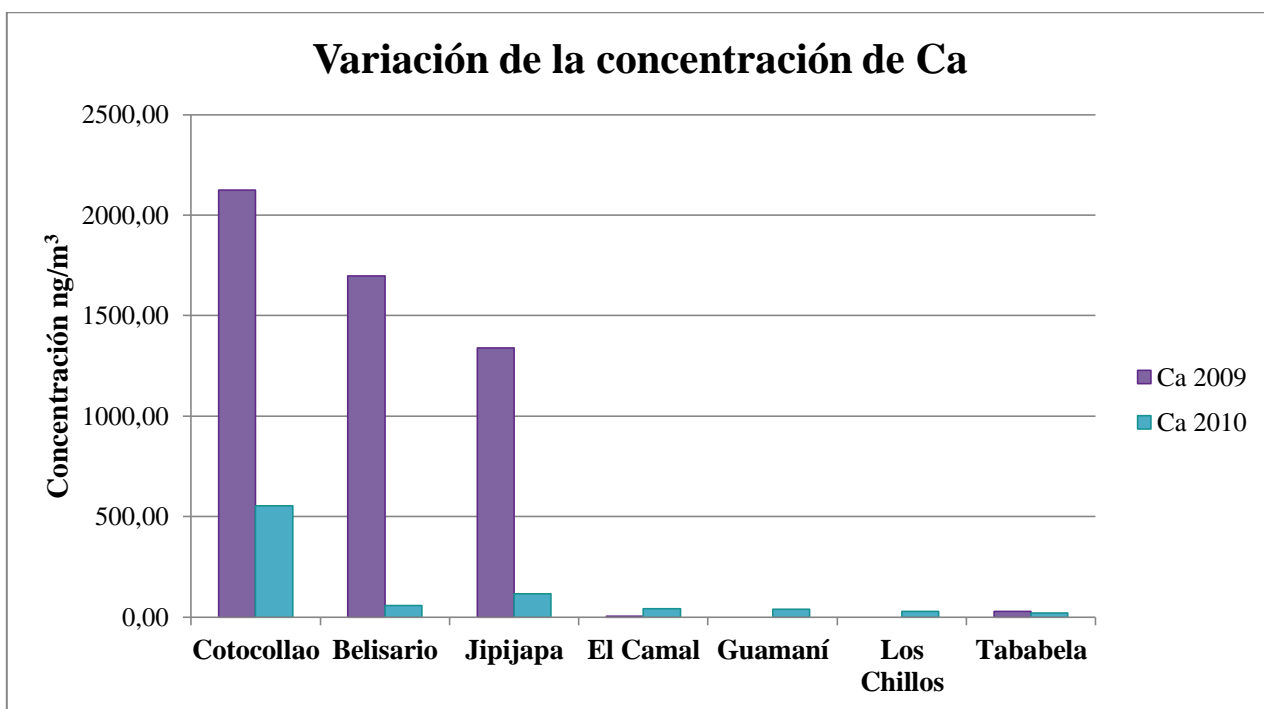
**Figura 3.1. Variación de la concentración de Al en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo**

A simple vista se observa en la Figura 3.2 que la concentración de Cd en el año 2010 disminuyó considerablemente en casi todas las estaciones en comparación con el año 2009, a excepción de las estaciones de Los Chillos y Tababela. La estación Los Chillos se encuentra fuera del límite de aplicación de “pico y placa” lo que aumenta la concurrencia de vehículos a esa zona para evitar la restricción reflejándose en una concentración mayor de Cd para el año 2010.



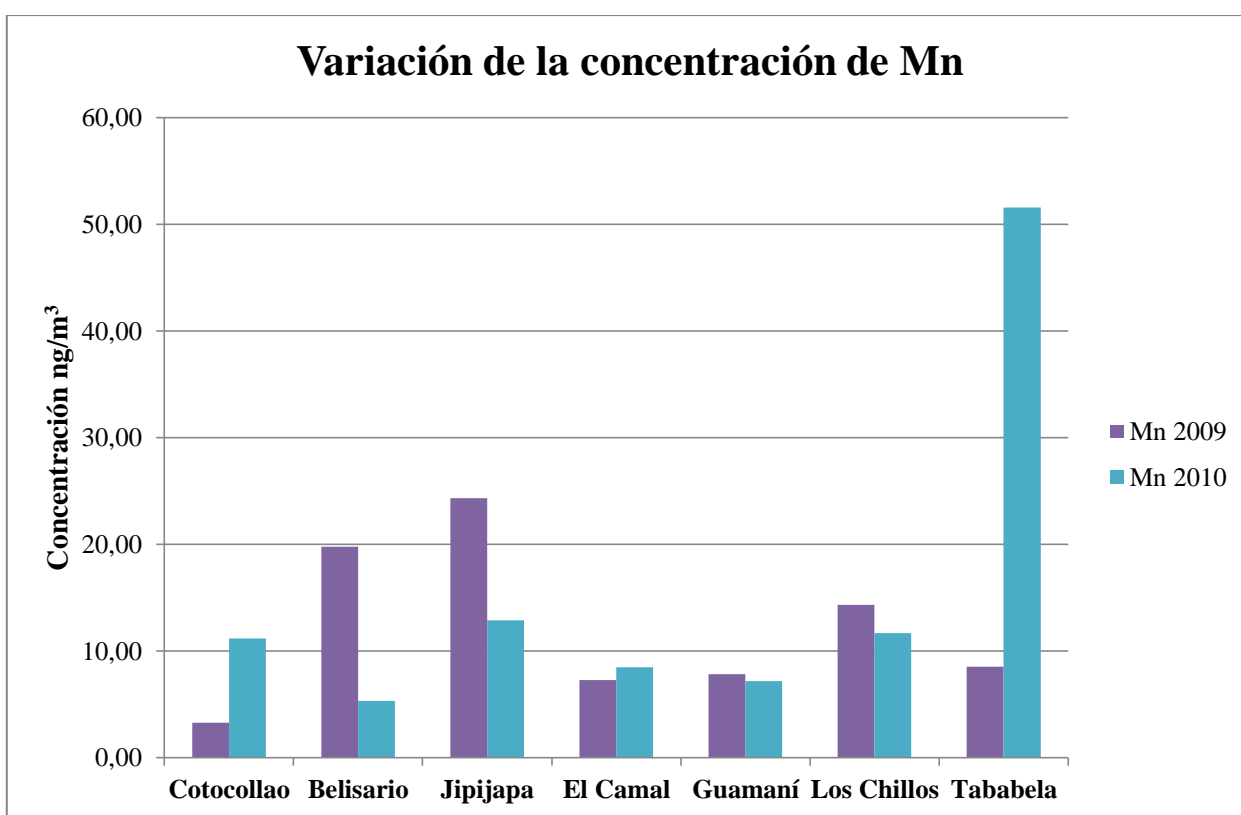
**Figura 3.2. Variación de la concentración de Cd en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

En las estaciones de Guamaní y Los Chillos en el año 2009 la concentración de Ca fue menor al límite de cuantificación por lo que no fueron consideradas en la Figura 3.3. Puede observarse que la concentración de Ca disminuyó considerablemente en todas las estaciones del año 2009 al 2010 como era de esperarse, exceptuando la estación El Camal cuya concentración aumentó para el año 2010. No se puede decir exactamente la razón de esto, pero se estima que la concentración de Ca aumentó debido a la resuspensión de polvo de la ciudad hacia la estación a causa de corrientes de viento que llegaron a 6,7 m/s en el año 2010, comparado con 5,6 m/s en el 2009 <sup>[13,14]</sup>.



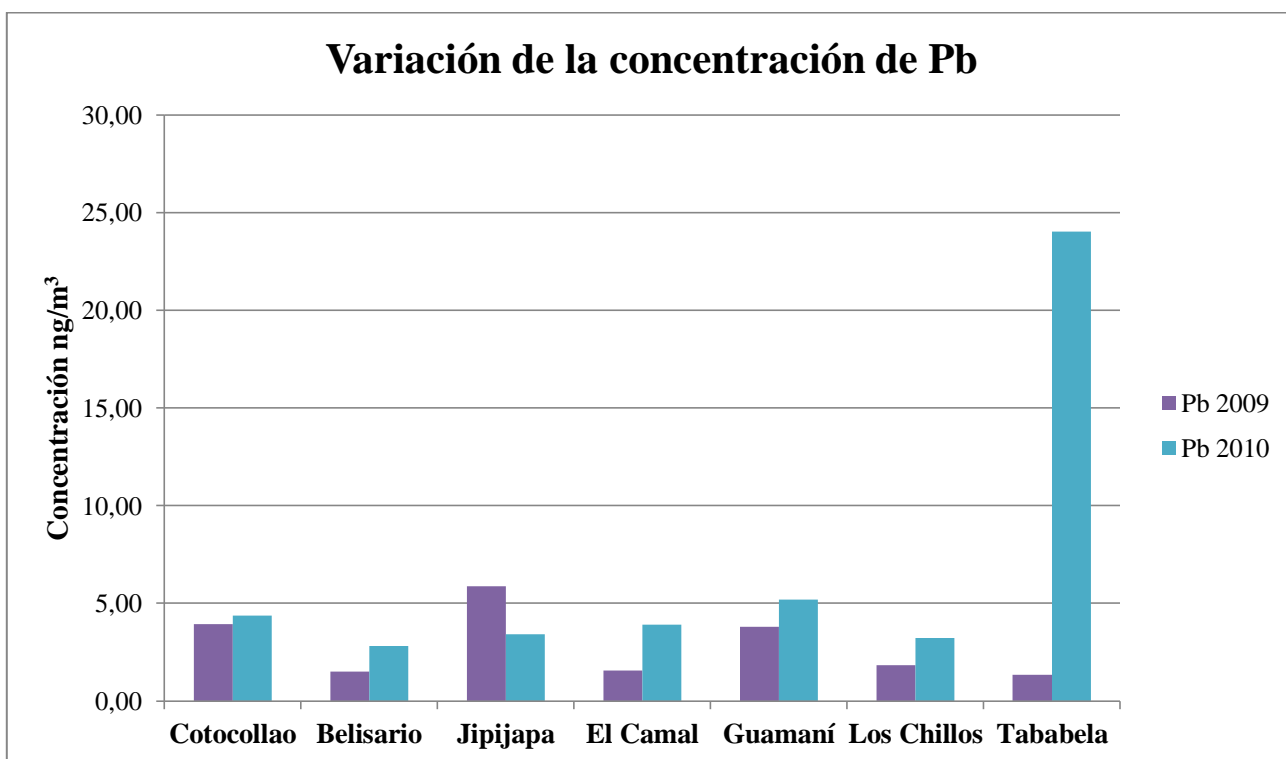
**Figura 3.3. Variación de la concentración de Ca en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

En la Figura 3.4 se observa que en el lapso de los dos años de monitoreo la concentración de Mn disminuyó en la mayoría de las estaciones, a excepción de Cotocollao y El Camal. Se presume que la causa del aumento de Mn en estas estaciones es la resuspensión de polvo de la ciudad causada por las corrientes de vientos en cada una; para Cotocollao en el año 2009 fue 7.3 m/s mientras que en el 2010 fue 7.3 m/s. En El Camal el viento tuvo una velocidad de 6,7 m/s en el año 2010, comparado con 5,6 m/s en el 2009 <sup>[13,14]</sup>.



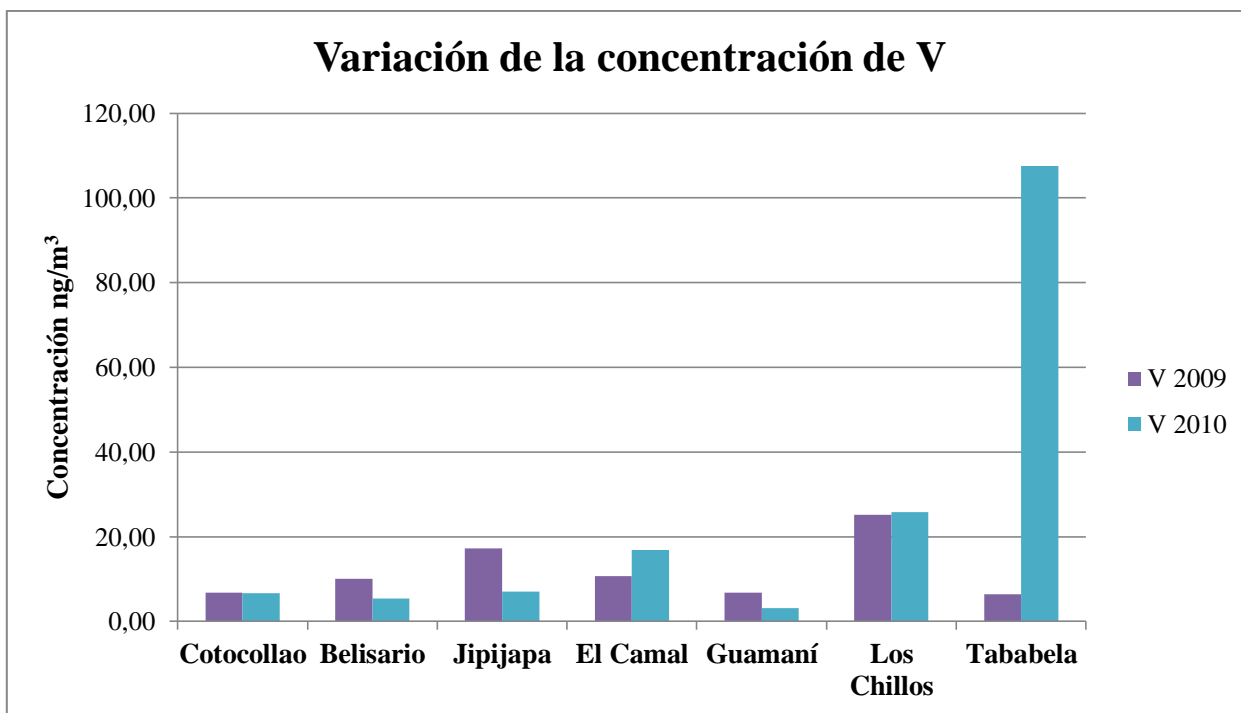
**Figura 3.4. Variación de la concentración de Mn en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

En la Figura 3.5 se observa que la concentración de Pb, contrario a lo que se espera, aumentó para en año 2010, exceptuando la estación Jipijapa. No se puede establecer la razón específica del aumento, pero se puede inferir que se debe al aumento del tráfico en las zona debido al incremento de vehículos que circulan en el año 2010 comparados a los que circulaban en el año 2009 <sup>[13]</sup>.



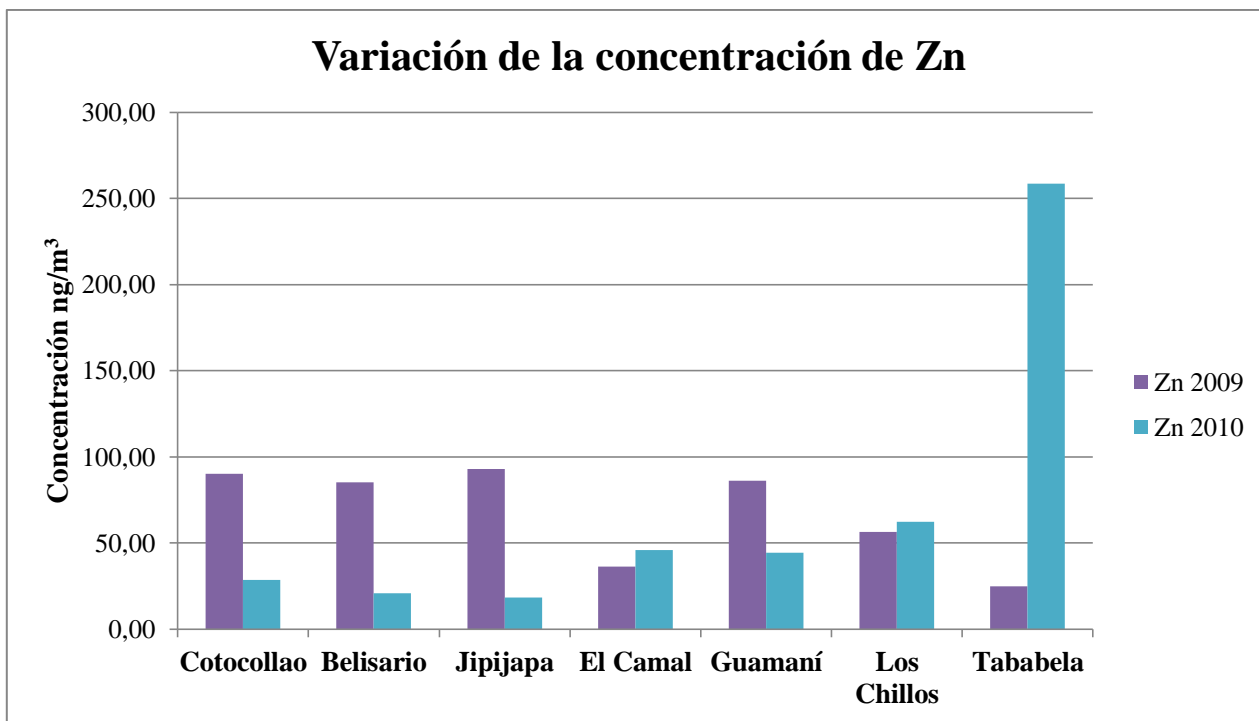
**Figura 3.5. Variación de la concentración de Pb en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

En la Figura 3.6 puede observarse que la concentración de V, en cuatro estaciones, disminuyó para el año 2010, mientras que en El Camal y Los Chillos ésta aumentó. La razón más probable para esto es el aumento del tráfico vehicular en las dos zonas de monitoreo debido al incremento del parque vehicular para el año 2010 <sup>[13]</sup>.



**Figura 3.6. Variación de la concentración de V en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

En la Figura 3.7 puede notarse que la concentración de Zn disminuyó en cuatro estaciones a un poco más de la mitad a lo largo de los dos años. En El Camal y Los Chillos aumentó levemente, seguramente debido a la resuspensión de polvo a causa del incremento del tráfico vehicular en estas zonas.



**Figura 3.7. Variación de la concentración de Zn en los años 2009 y 2010 en las siete estaciones de monitoreo.**

### 3.3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

#### 3.3.2.1. PRUEBA T

Se realizó la prueba t considerando los promedios de los metales de las siete estaciones de monitoreo durante los años 2009 y 2010. Cabe mencionar que sí se incluyeron los valores reportados de Tababela para el 2010 en cada estación para establecer si, aun con concentraciones tan elevadas, existe o no una diferencia significativa. A continuación se presentan los resultados de la prueba t para cada metal.

**Tabla 3.18. Resultados de la prueba t de los promedios de las siete estaciones de monitoreo de los años 2009 y 2010.**

<b>Metal</b>	<b>t<sub>c</sub></b>	<b>t<sub>t</sub></b>	<b>Criterio</b>
<b>Al</b>	0,03	2,31	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>Cd</b>	0,98	2,45	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>Ca</b>	1,70	2,36	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>Mn</b>	0,49	2,26	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>Pb</b>	1,30	2,36	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>V</b>	0,89	2,45	<b>No hay diferencia significativa</b>
<b>Zn</b>	0,03	2,36	<b>No hay diferencia significativa</b>

Como se observa en la Tabla 3.18 en ningún caso existe una diferencia significativa entre las medias puesto que el valor de  $t_c$  es menor que el de  $t_t$  en todas las comparaciones. Es decir que se acepta la hipótesis nula de que no existe una diferencia significativa entre las dos medias experimentales.

### 3.3.2.2. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Para cada metal se realizó el análisis de varianza para evaluar si existen diferencias significativas entre los resultados de su concentración en los meses analizados en las siete estaciones de monitoreo durante los dos años. Si el valor calculado de F supera al tabulado existe una diferencia significativa.

**Tabla 3.19. ANOVA de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en las siete estaciones de monitoreo durante el año 2009.**

	<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de suma de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>F<sub>t</sub></b>	<b>Criterio</b>
<b>Al</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	4284611,53	714101,92	2,33	3,58	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	8	17174140,33	306681,08			
	Total	14	21458751,86				
<b>Cd</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	1,02	0,17	2,72	3,37	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	9	3,94	0,06			
	Total	15	4,95				
<b>Ca</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	8630174,08	1438362,35	0,70	8,94	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	3	43198784,02	2057084,95			
	Total	9	51828958,10				
<b>Mn</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	4173,14	695,52	3,29	3,37	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	9	13326,13	211,53			
	Total	15	17499,27				
<b>Pb</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	92,65	15,44	2,11	3,37	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	9	461,85	7,33			
	Total	16	554,50				

Continúa Tabla 3.19							
<b>V</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	3848,86	641,48	17,12	3,37	Si hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	9	2359,94	37,46			
	Total	15	6208,80				
<b>Zn</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	78747,43	13124,57	1,44	3,37	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	9	572897,14	9093,61			
	Total	15	651644,57				

Como se puede observar en la Tabla 3.19 únicamente V presenta una diferencia significativa entre los resultados en cada mes en cada estación analizada. Es decir que al menos una concentración de V de un mes difiere de las demás en cada estación. Así podremos inferir que las muestras proceden de poblaciones distintas con distinta media para el caso de V. Con el resto de metales no se tiene una diferencia significativa entre los meses de cada estación.

**Tabla 3.20. ANOVA de Al, Cd, Ca, Mn, Pb, V y Zn en las siete estaciones de monitoreo durante el año 2010.**

	<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de suma de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>F<sub>t</sub></b>	<b>Criterio</b>
<b>Al</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	185396457,29	30899409,55	2,01	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	1186218862,37	15405439,77			
	Total	17	1371615319,66				
<b>Cd</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	0,13	0,02	0,88	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	1,87	0,02			
	Total	17	1,99				
<b>Ca</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	2855188,43	475864,74	2,48	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	14755441,99	191629,12			
	Total	17	17610630,42				
<b>Mn</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	15736,61	2622,77	1,59	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	127303,16	1653,29			
	Total	17	143039,77				

Continúa Tabla 3.20							
<b>Pb</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	4943,40	823,90	1,39	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	45714,25	593,69			
	Total	17	50657,65				
<b>V</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	75841,88	12640,31	1,54	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	633391,15	8225,86			
	Total	17	709233,03				
<b>Zn</b>	Entre los grupos (Estaciones)	6	614453,76	102408,96	1,50	3,09	No hay diferencia significativa
	Dentro de los grupos (Meses)	11	5257569,10	68280,12			
	Total	17	5872022,86				

En la Tabla 3.20 se puede apreciar que en ningún caso existe una diferencia significativa en la concentración de metales entre los meses monitoreados en cada estación durante el año 2010.

Tanto la prueba t como el ANOVA indican que no existe una diferencia significativa en la concentración de metales ya sea analizándolos por año o por meses en las siete estaciones de monitoreo. En el caso de V en el 2009 sí existe una diferencia significativa en la concentración entre los meses analizados; sin embargo, no presenta una diferencia significativa entre los años estudiados. Consecuentemente, se puede afirmar en términos

generales que no hubo un cambio significativo en la calidad del aire de la ciudad de Quito en el período 2009- 2010.

### 3.4 COMPARACIÓN CON NORMATIVAS AMBIENTALES.

Para la comparación de los resultados obtenidos con lo establecido en normas ambientales se tomó como referencia los límites máximos aceptados por la EPA, UE, OMS y el TULAS. Es necesario recalcar que no existen límites máximos para Al o Ca en aire en ninguna normativa nacional o internacional, por esta razón no se puede establecer una comparación.

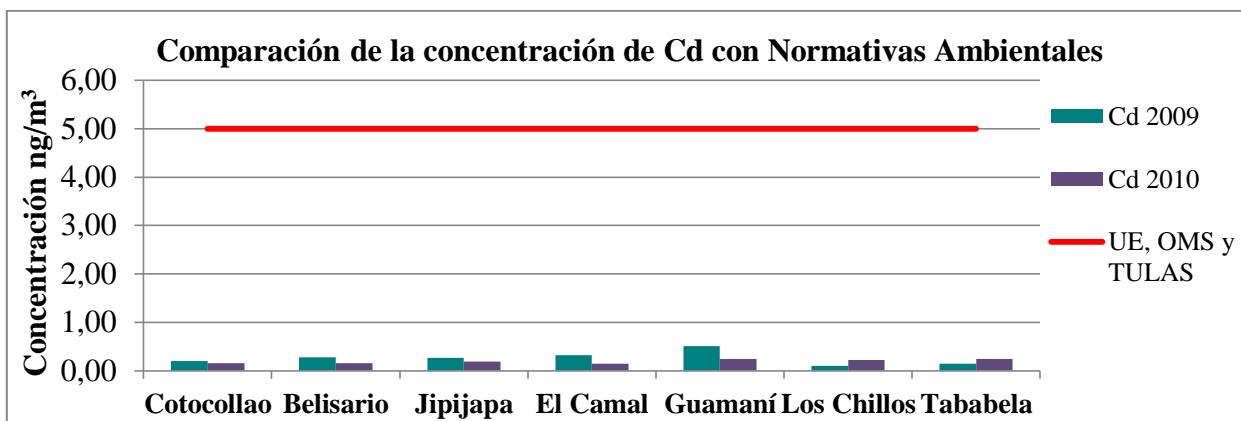
A continuación se presenta la Tabla 3.21 con los valores guía o concentraciones tolerables de los metales regulados en cada normativa.

**Tabla 3.21. Límite máximo anual permitido por diferentes normativas ambientales.**

<b>Metal</b>	<b>Normativa Ambiental</b>			
	<b>TULAS (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>EPA (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>UE (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>OMS (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cd</b>	5	-	5	5
<b>Mn</b>	-	-	-	150
<b>Pb</b>	-	150	500	500
<b>V</b>	-			1000
<b>Zn</b>	-	-	-	1000

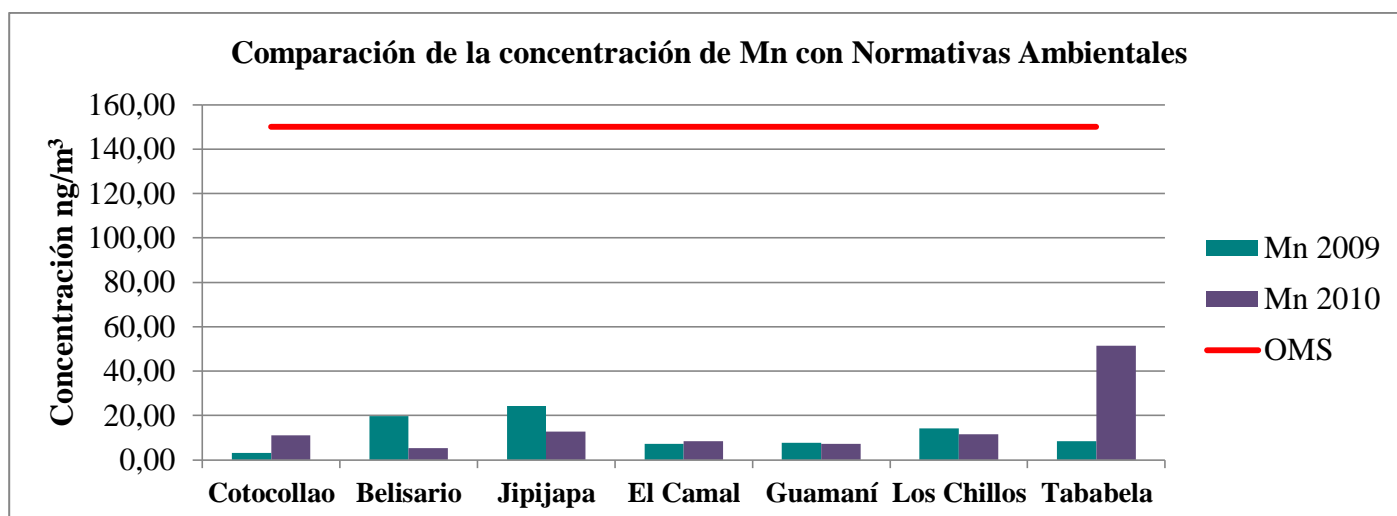
En las Figuras 3.8 a 3.12 se observa la comparación de los resultados obtenidos en los años 2009 y 2010 con las diferentes normativas ambientales.

Como se puede notar en la Figura 3.8, la concentración de Cd en todas las estaciones de monitoreo está muy por debajo del límite máximo establecido por las normativas.



**Figura 3.8. Comparación de la concentración de Cd con Normativas Ambientales.**

En la Figura 3.9 se puede observar que ninguna estación sobrepasa el límite máximo establecido por la OMS. Incluso la elevada concentración de Mn en Tababela en el 2010, con 51,56 ng/m<sup>3</sup>, queda muy por debajo del límite de la norma de 150 ng/m<sup>3</sup>.



**Figura 3.9. Comparación de la concentración de Mn con Normativas Ambientales.**

En la Figura 3.10 se puede notar que la concentración de Pb en todas las estaciones de monitoreo es inferior a los dos límites máximos normados; inclusive la concentración más alta registrada en Tababela en el 2010 de 24,02 ng/m<sup>3</sup> es menor que el límite más restrictivo de 150 ng/m<sup>3</sup> establecido por la EPA.

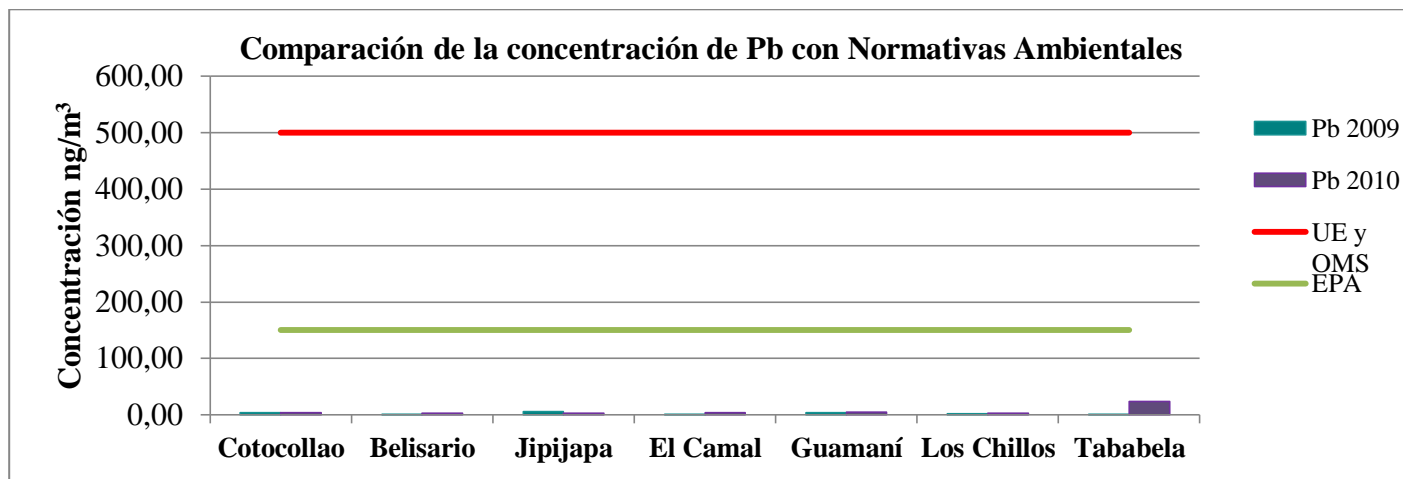


Figura 3.10. Comparación de la concentración de Pb con Normativas Ambientales.

La concentración de V en las siete estaciones monitoreadas, como se observa en la Figura 3.11, es menor al límite máximo establecido por la OMS.

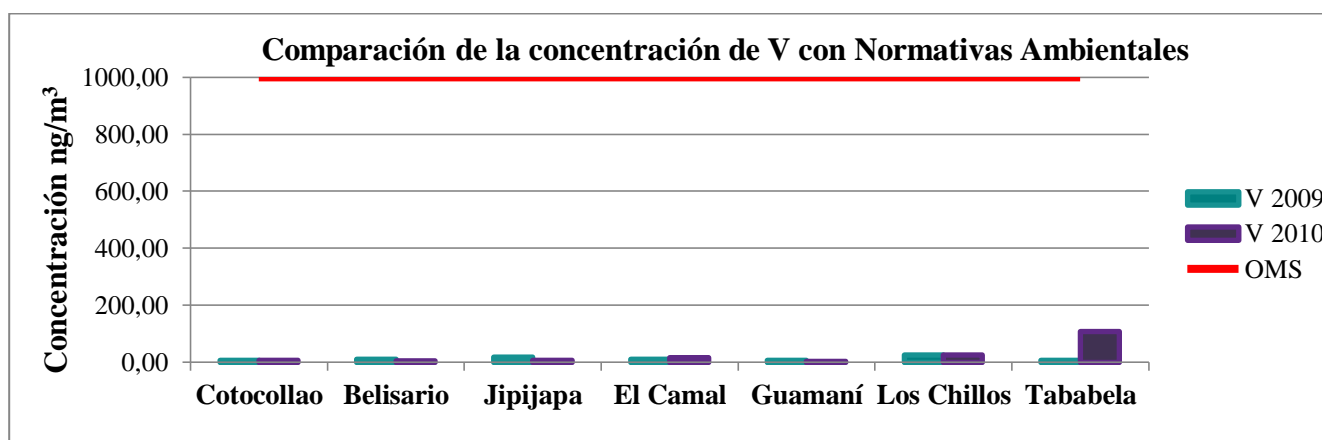
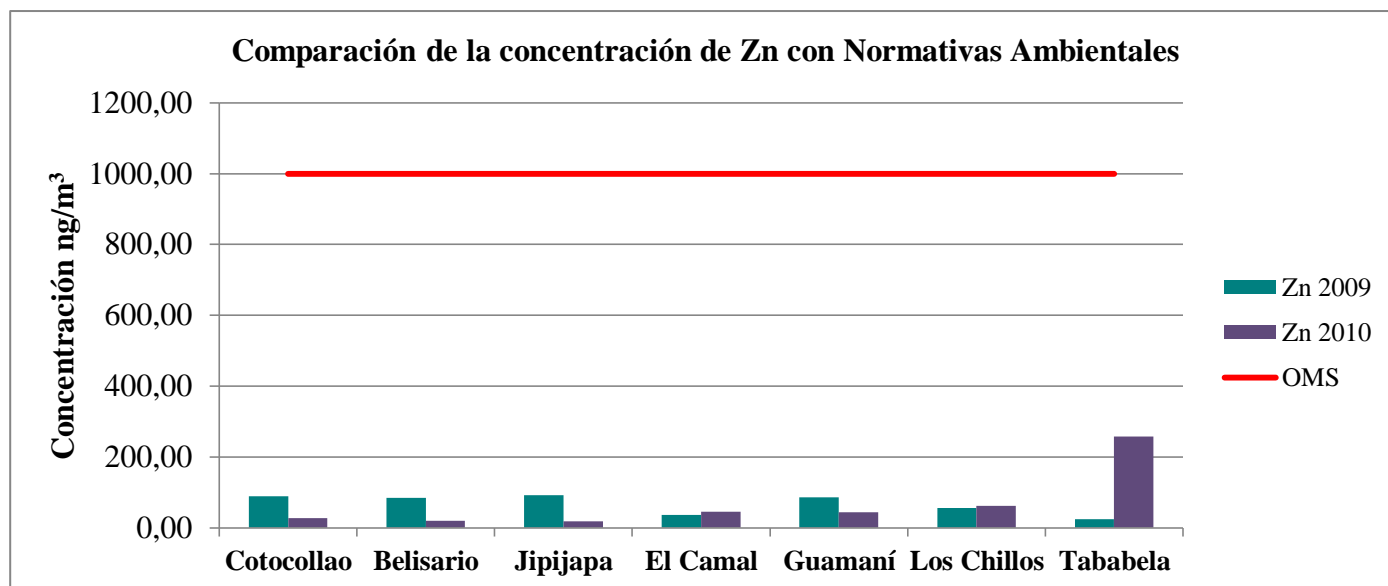


Figura 3.11. Comparación de la concentración de V con Normativas Ambientales.

En la Figura 3.12 se puede notar que en ninguna de las estaciones de monitoreo la concentración de Zn supera el límite máximo normado por la OMS, aún la concentración de Tababela 2010 de 258,40 ng/m<sup>3</sup> se mantiene debajo del límite.



**Figura 3.12. Comparación de la concentración de Zn con Normativas Ambientales.**

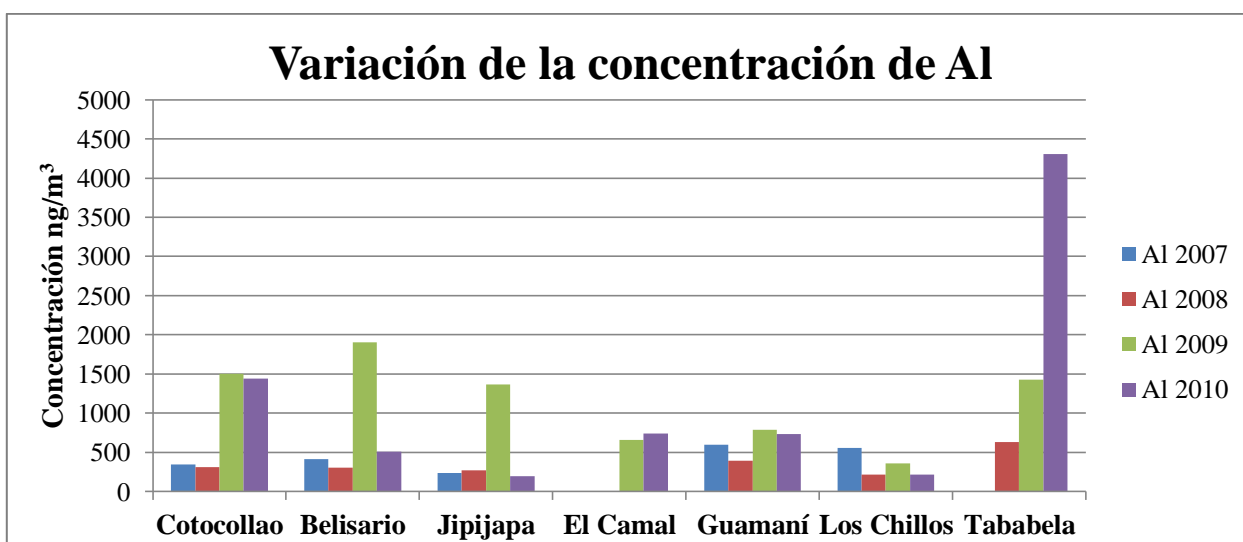
### **3.5 COMPARACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS ENTRE LOS AÑOS 2006- 2010.**

Con la finalidad de visualizar la variación en el tiempo del contenido de los siete elementos en la ciudad de Quito se hicieron gráficas de la concentración de cada metal con datos de los últimos cinco años. Es necesario aclarar que estaciones como El Camal y Tababela no existían en años anteriores al 2008 y 2009 respectivamente. De igual forma, en el año 2006 se analizaron cinco de los siete metales considerados en este trabajo. Los datos de años anteriores fueron entregados por la CORPAIRE y se encuentran en el Anexo 7.

Los estudios de años anteriores fueron llevados a cabo mediante la CORPAIRE y se basaron en los métodos US- EPA Compendium Method IO- 3.1 “*Selection, preparation and Extraction of filter material*”; y el US- EPA Compendium Method IO- 3.2 “*Determination of metals in Ambient particulate matter using Atomic Absorption (AA) Spectrometry*” al igual que en el presente trabajo.

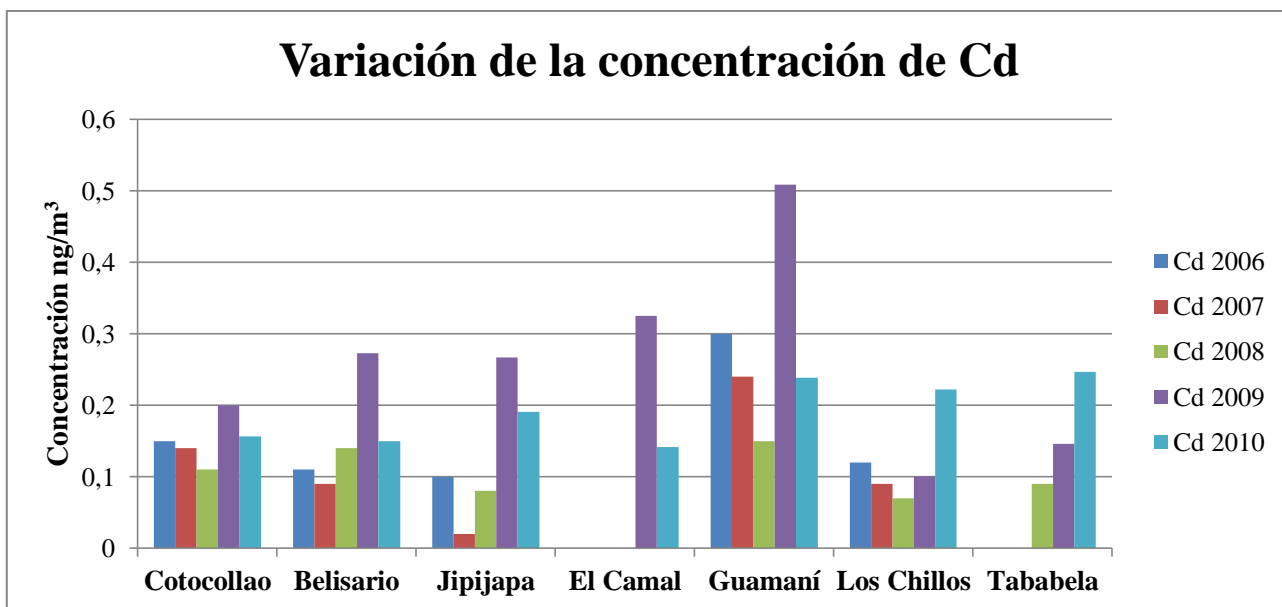
En las Figuras 3.13 a 3.19 se puede apreciar la variación del contenido de los diferentes elementos analizados considerando las estaciones y el año en el que se tomaron las muestras.

En la Figura 3.13 salta a la vista que en el año 2009 la concentración de Al fue mayor que los dos años anteriores y el año siguiente en casi todas las estaciones. En el caso de la estación El Camal la concentración del metal para el año 2010 aumentó levemente. Mientras que en Tababela ésta fue mucho mayor que los años anteriores.



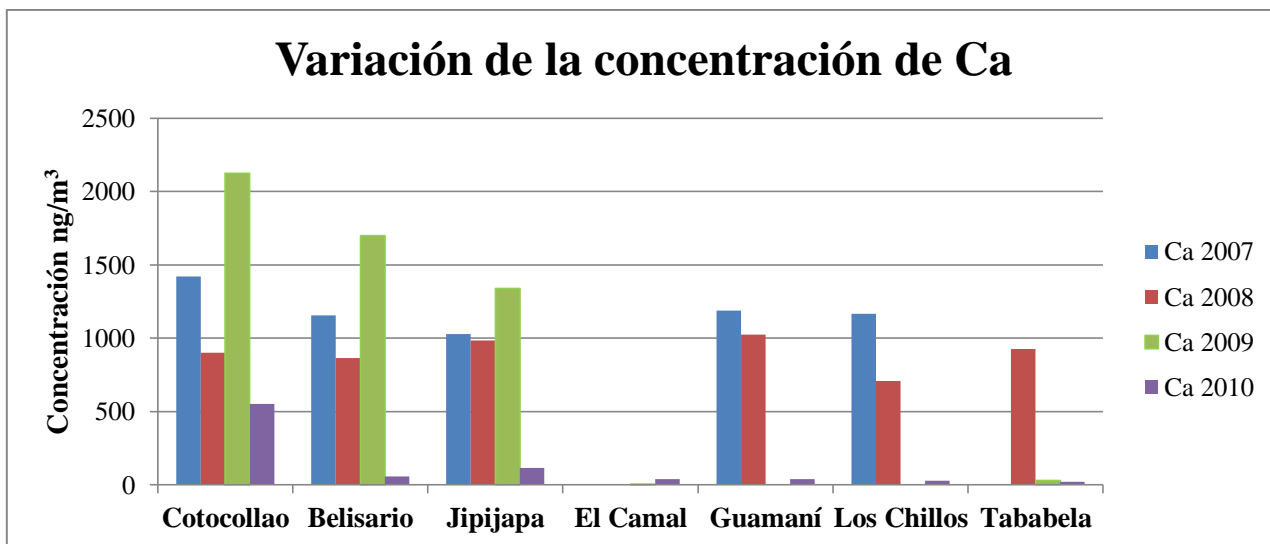
**Figura 3.13. Variación de la concentración de Al en los años 2007-2010.**

Se puede notar en la Figura 3.14 que la mayor concentración de Cd se registró en el año 2009 en casi todas las estaciones. Sin embargo, la concentración de Cd se muestra relativamente parecida a lo largo de los cinco años monitoreados con excepción de la estación de Guamaní.



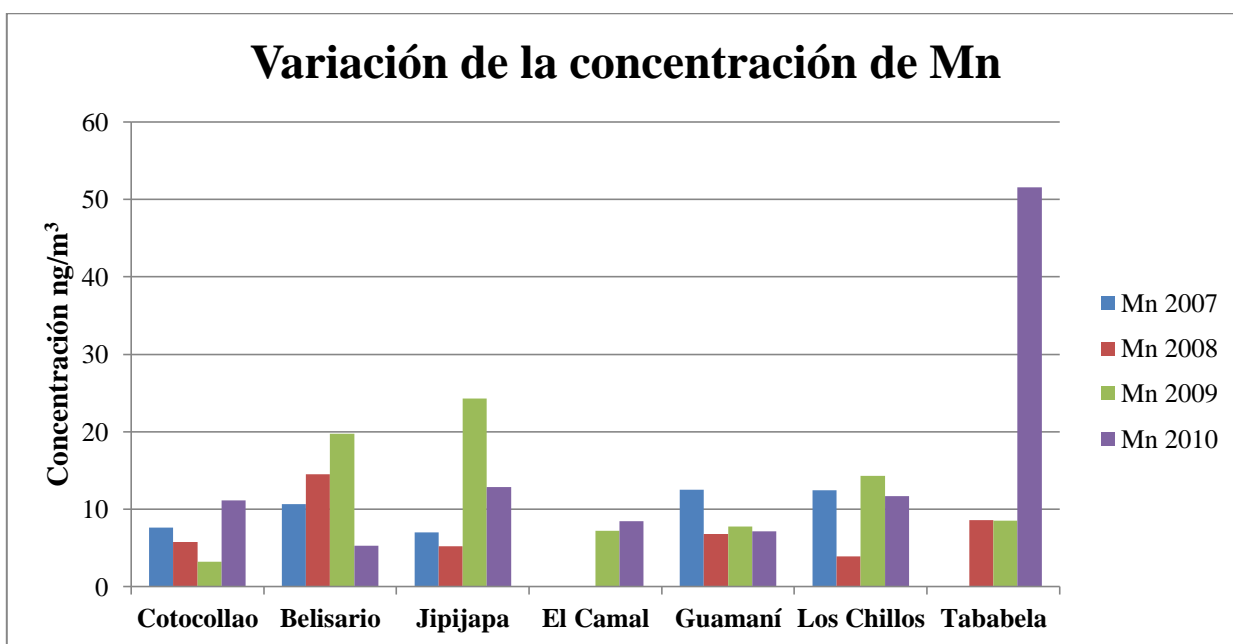
**Figura 3.14. Variación de la concentración de Cd en los años 2006-2010.**

En la Figura 3.15 se observa que en las tres primeras estaciones, la concentración de Ca no presenta gran variación durante los años 2007-2009. Mientras que en las estaciones restantes se evidencia la disminución de Ca con el paso de los años. La estación de Cotocollao presenta la mayor concentración de Ca durante los cuatro años monitoreados, esto se explica a la influencia de la zona de canteras que presenta esta estación.



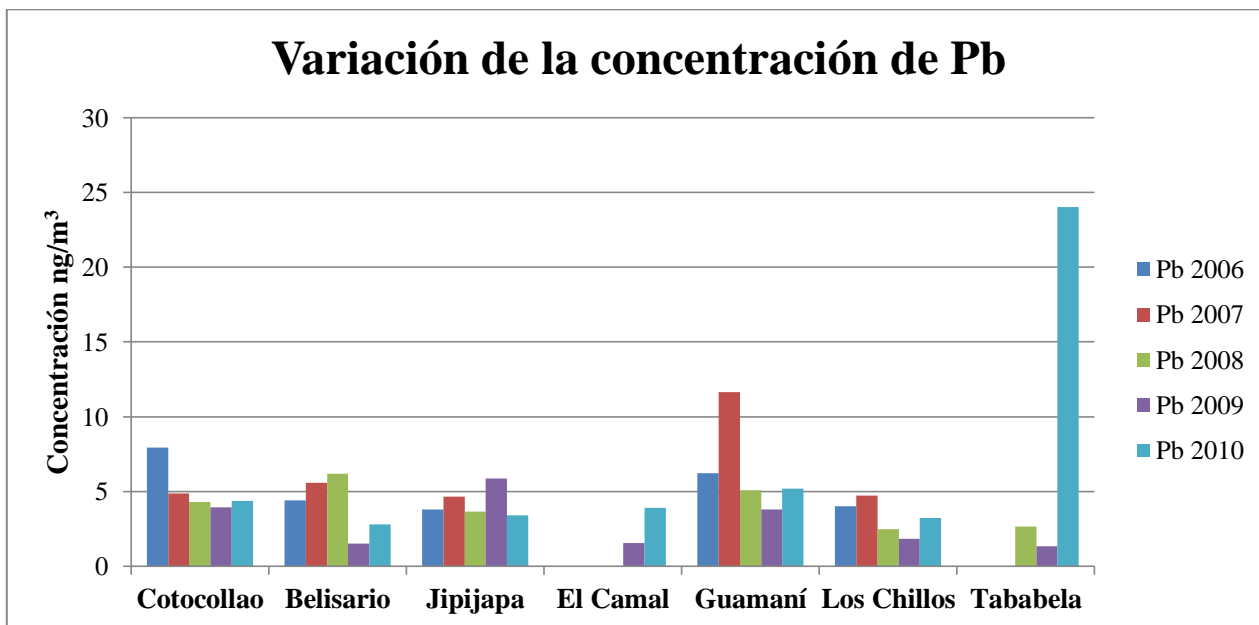
**Figura 3.15. Variación de la concentración de Ca en los años 2007-2010.**

Se puede notar en la Figura 3.16 que, exceptuando el año 2010 en la estación de Tababela, la concentración de Mn no presenta variaciones drásticas de año a año en todas las estaciones aunque si se nota una tendencia a disminuir con el paso del tiempo.



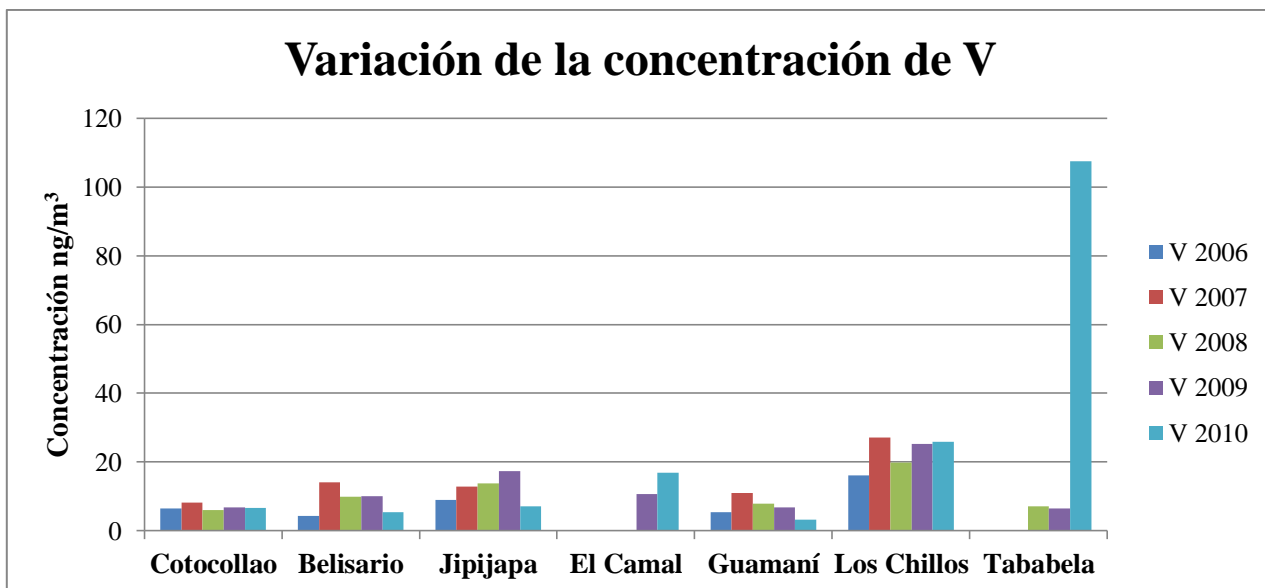
**Figura 3.16. Variación de la concentración de Mn en los años 2007-2010.**

Con excepción del año 2010 para Tababela, en la Figura 3.17, la concentración de Pb en todas las estaciones de monitoreo permanece relativamente constante con el transcurso de los cinco años de análisis. No se evidencia una tendencia clara a disminuir con el tiempo.



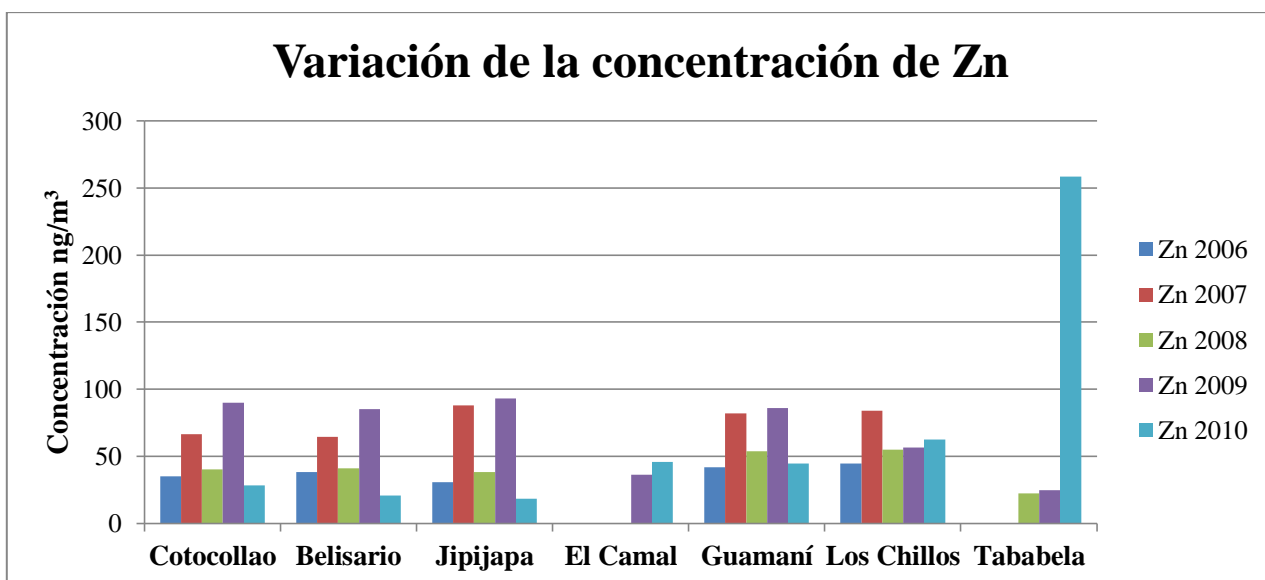
**Figura 3.17. Variación de la concentración de Pb en los años 2006-2010.**

Como se puede observar en la Figura 3.18, la concentración de V, excepto la de 2010 para Tababela, es similar de año a año en cada estación. Esto indica que si bien no se observa una tendencia a disminuir, tampoco se notan variaciones drásticas con el paso del tiempo.



**Figura 3.18. Variación de la concentración de V en los años 2006-2010.**

En la Figura 3.19 se puede notar, sin tomar en cuenta el valor del 2010 en Tababela, que la concentración de Zn a lo largo del tiempo ha permanecido relativamente constante en cada estación, presentándose años en los que aumentaban pero no en gran medida.



**Figura 3.19. Variación de la concentración de Zn en los años 2006-2010.**

En la Tabla 3.22 se encuentran los rangos de concentración de cada metal en las diferentes estaciones a lo largo de los cinco años de monitoreo.

**Tabla 3.22. Rangos de concentración de metales durante los cinco años de monitoreo.**

	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	3,94 - 7,93	3,25 - 11,16	28,38 - 90,07	308 - 1499,82	5,94 - 8,24	0,11 - 0,20	901 - 2124,08
<b>Belisario</b>	1,52 - 6,17	5,32 - 19,76	20,74 - 85,10	306 - 1901,65	4,29 - 14,09	0,09 - 0,27	57,08 - 1698,27
<b>Jipijapa</b>	3,42 - 5,87	5,22 - 24,31	18,39 - 92,96	234 - 1368,73	7,03 - 17,27	0,02 - 0,27	985 - 1339,47
<b>El Camal</b>	1,55 - 3,92	7,25 - 8,44	36,34 - 45,82	656,18 - 737,06	10,68 - 16,91	0,14 - 0,33	2,91 - 40,47
<b>Guamaní</b>	3,80 - 11,65	6,8 - 12,52	41,62 - 86,06	396 - 786,04	3,17 - 11,01	0,15 - 0,51	38,24 - 1187
<b>Los Chillos</b>	1,82 - 4,73	3,9 - 14,30	44,57 - 83,85	217 - 555	16,07 - 27,05	0,07 - 0,22	28,31 - 1168
<b>Tababela</b>	1,34 - 24,02	8,51 - 51,56	22,49 - 258,40	633 - 4308,34	6,42 - 107,53	0,09 - 0,25	20,04 - 928

Como se puede ver en la Tabla 3.22 las siete estaciones de monitoreo tienen rangos bastante amplios de concentración de todos los metales analizados; sin embargo, en ningún caso estos superan los límites máximos establecidos por normativas nacionales e internacionales.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- La presencia de Pb, V, Cd y Mn en el aire se debe principalmente a la emisión de gases como producto de la combustión de gasolina y diesel en actividades de transporte y procesos industriales. Asimismo, la presencia de Al, Ca, Zn se debe a fuentes de origen natural consideradas como “polvo de la ciudad” y también a procesos industriales como canteras, empresas productoras y distribuidoras de materiales de construcción o de textiles en los alrededores de la ciudad.
- La causa por la cual estos metales están presentes en cierta concentración en las estaciones no se puede establecer con certeza ya que ésta se ve afectada por la velocidad y dirección del viento y el clima registrado en cada una. Se considera que el entorno de cada estación no es un factor determinante de la concentración de metales en ella al estar ubicadas en puntos de la ciudad que presentan las mismas características espaciales.
- La concentración de metales en varias estaciones de monitoreo aumentaron del año 2009 al año 2010. No se puede establecer con exactitud la causa del incremento de metales en cada estación, pero se estima que se debe al aumento tráfico vehicular y

a cambios como precipitaciones lluviosas y la velocidad del viento registrados en cada zona.

- Mediante la prueba t y el ANOVA se determinó que no existe una diferencia significativa entre las medias de las estaciones comparando los meses y años de monitoreo.
- En ningunas de las estaciones, en los dos años monitoreados, se sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos en la US- EPA, la UE, la OMS y TULAS para los metales normados.
- Desde su aplicación, en mayo de 2010, la restricción “pico y placa” ha representado una disminución significativa de la concentración de los contaminantes críticos dentro de la zona de restricción y durante sus horas de aplicación. Por esta razón, esta medida debe continuar de forma indefinida e incluso ampliarse el horario de restricción vehicular.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda ampliar el estudio de metales en material particulado PM<sub>10</sub> incluyendo otros elementos como mercurio, arsénico o cromo.

- Tomando como referencia este trabajo y los datos de años anteriores se recomienda reformar la Norma de Calidad de Aire Ambiente o Nivel de Inmisión del TULAS, ampliando la sección de los límites máximos permitidos para contaminantes no convencionales del aire ambiente incluyendo los metales analizados en este estudio.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Páez, Carlos (2006), Gestión de la contaminación atmosférica urbana: El caso de Quito, [www.flacsoandes.org/web/.../10088.ContaminacionQuito.pdf](http://www.flacsoandes.org/web/.../10088.ContaminacionQuito.pdf), febrero 2012.
2. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, TULAS, Libro VI Anexo 4.
3. Vega de Kuyper, Juan Carlos, (2002), *Química del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales*, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, pp. 107-135.
4. García Lozada, Héctor M (2006), *Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión. Estudio de caso: Bogotá*, Bogotá, pp. 3-12.
5. José E. Celis (2004), Aspectos generales de la contaminación atmosférica por material particulado, *Ciencia Ahora*, 14.
6. Aragonaire, Impactos sobre la salud y el medio ambiente de PM, España, s.f.
7. Corpaire (2007), *Los contaminantes comunes en el aire y sus efectos sobre la salud*, Quito, Ecuador.

8. *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US- EPA, National Ambient Air Quality Standards, NAAQS, Estados Unidos.*
9. *Comisión Ambiental Europea, EU, Air Quality Standards, Bruselas, Bélgica.*
10. *Organización Mundial de la Salud, OMS, Air Quality Guidelines, Ginebra, Suiza.*
11. *Díaz, Valeria (2009), Monitoreo de metales traza en material particulado PM<sub>10</sub> del Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Multianual, Universidad Técnica Particular de Loja, pp. 11-29.*
12. *Martinez, T., Lartigue, J., Avila-Perez, P., Carapio-Morales, L., Zarazua, G., Navarrete, M., Tejeda, S., Cabrera, L. (2008). Characterization of particulate matter from the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico by scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray analysis, Universidad Nacional de México, Facultad de Química.*
13. *Secretaría de Ambiente, (2010), Informe Anual/ Calidad del Aire, Quito, Ecuador.*
14. *Secretaría de Ambiente, (2009), Informe Anual/ Calidad del Aire, Quito, Ecuador.*
15. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2008), Aluminium, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp22-c5.pdf>, febrero 2012.*

16. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2008), Cadmium, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5-c5.pdf>, febrero de 2012.
17. Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education, Calcium, <http://education.jlab.org/itselemental/ele020.html>, de febrero 2012.
18. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2010), Manganese, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151-c5.pdf>, febrero de 2012.
19. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2008), Lead, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13-c5.pdf> , febrero de 2012.
20. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2010), Vanadium, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58-c5.pdf> , febrero de 2012.
21. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, (2005), Zinc, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60-c5.pdf> , febrero de 2012.
22. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, US-EPA, (1997), *Compendium of Methods for the Determination Inorganic Compounds in Ambient Air*, Ohio, Estados Unidos.

23. American Laboratory®, (1994), Microwave Assisted Extraction, <http://www.cem.de/documents/pdf/RE/RE014.PDF> , marzo de 2012.
24. Flexible learning. Study notes: Flame atomizer, <http://toolboxes.flexiblelearning.net.au/demosites/series5/508/laboratory/StudyNotes/snFlameAtomiser.htm>, abril de 2012.
25. Sneddon Joseph (1997), Atomic Absorption Spectrometry, En: *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*, capítulo 20, Frank Settle, Prentice Hall, New Jersey.
26. MajidiVahid (2001), Atomic Spectrometry, En: *Encyclopedia of Physical Science and Technology, Analytical Chemistry*, 3ª edición, capítulo 2, Elsevier Science, Robert A. Meyers, New Mexico.
27. Harvey David (2000), *Modern Analytical Chemistry*, McGraw- Hill Higher Education, Greencastle Indiana.
28. Miller James y Jane (2002), *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*, Pearson Education S.A., 4 edición, Madrid, España, pp. 45 – 62.

29. García F., Agudelo R., Jiménez K. (2006), Metodología para la localización de estaciones de monitoreo de material particulado a escala local (0,5 a 4 Km) en la ciudad de Santa Marta, *Gestión y Ambiente*, Volumen 9, fascículo 2.

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Cálculo de los límites de detección y cuantificación de cada metal.

Para la determinación de los límites de detección y cuantificación se analizaron en cada método nueve filtros blancos. Se calculo la concentración estimada de cada metal; se promediaron los valores y se calcularon sus desviaciones estándar. El cálculo de los límites se realizó según las fórmulas establecidas por la IUPAC:

$$LD = \bar{X}_n + 3S_{n-1} \quad (A1.1)$$

$$LC = \bar{X}_n + 10 S_{n-1} \quad (A1.2)$$

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas A1.1 a la A1.7.

**Tabla A1.1. Límites de detección y cuantificación de aluminio.**

	Respuesta (mg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (mg/l)	LC (mg/l)
Blanco 1	0,005	1,30	1,08	0,38	2,23	4,90
Blanco 2	0,004	1,02				
Blanco 3	0,002	0,47				
Blanco 4	0,006	1,57				
Blanco 5	0,004	1,02				
Blanco 6	0,002	0,47				
Blanco 7	0,005	1,30				
Blanco 8	0,005	1,30				
Blanco 9	0,005	1,30				

**Tabla A1.2. Límites de detección y cuantificación de cadmio.**

	Respuesta (µg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (µg/l)	LC (µg/l)
Blanco 1	0,019	-0,05	-0,14	0,29	0,74	2,80
Blanco 2	0,015	-0,08				
Blanco 3	0,033	0,05				
Blanco 4	0,037	0,08				
Blanco 5	0,019	-0,05				
Blanco 6	0,063	0,28				
Blanco 7	-0,016	-0,32				
Blanco 8	-0,045	-0,54				
Blanco 9	-0,054	-0,61				

**Tabla A1.3. Límites de detección y cuantificación de calcio.**

	Respuesta (mg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (mg/l)	LC (mg/l)
Blanco 1	-0,003	-0,07	-0,05	0,05	0,09	0,42
Blanco 2	0,002	-0,01				
Blanco 3	-0,01	-0,15				
Blanco 4	0,001	-0,02				
Blanco 5	0,001	-0,02				
Blanco 6	-0,001	-0,05				
Blanco 7	0,001	-0,02				
Blanco 8	-0,004	-0,08				
Blanco 9	0,001	-0,02				

**Tabla A1.4. Límites de detección y cuantificación de manganeso.**

	Respuesta (mg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (mg/l)	LC (mg/l)
Blanco 1	0,002	0,04	0,04	0,02	0,10	0,25
Blanco 2	0,004	0,07				
Blanco 3	0,002	0,04				
Blanco 4	0,002	0,04				
Blanco 5	0,004	0,07				
Blanco 6	0,001	0,02				
Blanco 7	0,001	0,02				
Blanco 8	0,003	0,06				
Blanco 9	0,001	0,02				

**Tabla A1.5. Límites de detección y cuantificación de plomo.**

	Respuesta (µg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (µg/l)	LC (µg/l)
Blanco 1	0,036	2,13	3,32	3,15	12,76	34,79
Blanco 2	0,028	0,85				
Blanco 3	0,038	2,45				
Blanco 4	0,074	8,20				
Blanco 5	0,034	1,81				
Blanco 6	0,028	0,85				
Blanco 7	0,080	9,16				
Blanco 8	0,043	3,25				
Blanco 9	0,030	1,17				

**Tabla A1.6. Límites de detección y cuantificación de vanadio.**

	Respuesta (µg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (µg/l)	LC (µg/l)
Blanco 1	0,013	4,33	3,47	3,41	13,69	37,54
Blanco 2	0,03	10,62				
Blanco 3	-0,001	-0,84				
Blanco 4	0,016	5,44				
Blanco 5	0,012	3,97				
Blanco 6	0,003	0,64				
Blanco 7	0,01	3,23				
Blanco 8	0,011	3,60				
Blanco 9	0,002	0,27				

**Tabla A1.7. Límites de detección y cuantificación de zinc.**


	Respuesta (mg/l)	Concentración Estimada	Promedio	Desv. Estándar	LD (mg/l)	LC (mg/l)
Blanco 1	0,021	0,10	0,09	0,02	0,14	0,28
Blanco 2	0,011	0,06				
Blanco 3	0,019	0,09				
Blanco 4	0,025	0,12				
Blanco 5	0,017	0,08				
Blanco 6	0,018	0,09				
Blanco 7	0,023	0,11				
Blanco 8	0,014	0,07				
Blanco 9	0,015	0,08				

## Anexo 2: Certificado de análisis de los estándares de calidad QualityControls.

# RTC

 Certificate of Analysis

### Trace Metals Ampule 1 - WS

**Number** QCI-016-1  
**Lot** 013758  
**Solvent (Matrix)** Water, 5% Nitric  
**Hazard** Toxic, Corrosive  
**Storage & Handling** Store at 4°C. Allow to equilibrate to room temperature prior to opening.  
**Expiration Date** See Sample Label  
**Certification Date:** 6/29/2009  
**Certified By:**  Christopher Rucinski - QA Director

Analyte	Units	Assigned <sup>4</sup> (Gravimetric) Value	Certified <sup>1,4</sup> Value	k <sup>5</sup>	Standard <sup>2</sup> Deviation	Acceptance Limits <sup>3</sup>
Arsenic, As 1010	Traceable to: NIST SRM 3103a µg/L	44.7 ± 0.228	44.7 ± 1.23	1.96	3.70	31.3 to 58.1
Beryllium, Be 1020	Traceable to: NIST SRM 3105a µg/L	7.50 ± 0.0380	7.50 ± 0.233	1.96	0.563	6.38 to 8.63
Cadmium, Cd 1030	Traceable to: NIST SRM 3108 µg/L	8.63 ± 0.0440	8.63 ± 0.178	1.96	0.534	6.90 to 10.4
Chromium, Cr (total) 1040	Traceable to: NIST SRM 3112a µg/L	43.8 ± 0.223	43.8 ± 0.777	1.96	2.25	37.2 to 50.4
Copper, Cu 1055	Traceable to: NIST SRM 3114 µg/L	1,790 ± 9.13	1,790 ± 18.9	1.96	89.5	1,610 to 1,970
Iron, Fe 1070	Traceable to: NIST SRM 3126a µg/L	965 ± 4.92	958 ± 19.5	1.96	49.8	858 to 1,060
Lead, Pb 1075	Traceable to: NIST SRM 3128 µg/L	63.8 ± 0.325	63.8 ± 1.29	1.96	4.03	44.7 to 82.9
Lithium, Li 1080	Traceable to: NIST SRM 3129a µg/L	147 ± 0.749	147 ± 4.33	2.12	7.35	132 to 162
Manganese, Mn 1090	Traceable to: NIST SRM 3132 µg/L	667 ± 3.40	659 ± 8.89	1.96	29.1	601 to 717
Mercury, Hg 1095	Traceable to: NIST SRM 3133 µg/L	3.26 ± 0.0160	3.26 ± 0.118	1.96	0.489	2.28 to 4.24
Nickel, Ni 1105	Traceable to: NIST SRM 3136 µg/L	160 ± 0.814	160 ± 2.80	1.96	7.99	136 to 184
Selenium, Se 1140	Traceable to: NIST SRM 3149 µg/L	27.7 ± 0.141	27.7 ± 0.775	1.96	2.27	22.2 to 33.2
Zinc, Zn 1190	Traceable to: NIST SRM 3168a µg/L	967 ± 4.93	967 ± 21.2	1.96	61.4	870 to 1,060
Aluminum, Al 1000	Traceable to: NIST SRM 3101a µg/L	1,440 ± 7.36	1,420 ± 28.5	1.96	89.7	1,240 to 1,600

### Additional Information

#### Preparation Instructions

Partially fill a 1000-mL volumetric flask with reagent-grade water (near 20 degrees C) and add 1 mL of trace-metal-grade nitric acid. Open ampule QCI-016-1 (be careful to avoid cuts on glass) and transfer 10.0 mL of concentrate to the volumetric flask. Fill the flask to volume with reagent-grade water and mix well. The sample is now ready for immediate analysis. A reagent-grade blank should be analyzed concurrently for background correction. The water blank should be made to match the acid matrix of the standards and samples.

NOTE: The 0.15% v/v nitric acid specification is a minimum; the amount and type of acid may be altered to routine analytical procedures if needed.

<sup>1</sup> Certified values are the robust statistical mean when prepared according to instructions from an Interlaboratory Study or are based on historic Interlaboratory Study Results (i.e. TNI Fields of PT Tables).  
<sup>2</sup> The standard deviation is the robust statistical standard deviation from the round robin interlaboratory study.  
<sup>3</sup> Acceptance limits are based on US EPA RCRA, WS, and WP Interlaboratory Study Results.  
<sup>4</sup> Expanded Uncertainty - All uncertainty values in this document expressed as *value* are expanded uncertainties.  
<sup>5</sup> k: Coverage factor derived from a t-distribution table, based on the degrees of freedom of the data set. Confidence Interval = 95%

Traceability: The standard was manufactured under an ISO 9001/17025 certified quality system. The balance used to weigh raw materials is accurate to +/- 0.00001g and calibrated regularly using mass standards traceable to NIST. All dilutions were performed gravimetrically. Additionally, individual analytes are traceable to NIST SRMs where available.

THIS PRODUCT WAS DESIGNED, PRODUCED AND VERIFIED FOR ACCURACY AND STABILITY IN ACCORDANCE WITH ISO 17025, ISO GUIDES 34 AND 35, AND ILAC G13 2000.

MSDS reports for components comprising greater than 1.0% of the solution or 0.1% for components known to be carcinogens are available upon request.

208 16




R.T. Corporation - 2931 Soldier Springs Rd. - Laramie, WY 82070 - US  
 Phone (307) 742-5452 - Fax (307) 745-7936  
 An ISO 9001 registered company

Page 1 of 1

# RTC Certificate of Analysis

## Trace Metals 1 - WS

Number **QCI-016-1**  
 Lot **016288**  
 Solvent (Matrix) **Water, 5% Nitric**  
 Hazard **Toxic, Corrosive**  
 Storage & Handling **Store at 4°C. Allow to equilibrate to room temperature prior to opening.**  
 Expiration Date **See Sample Label**  
 Certification Date: **4/8/2011**  
 Certified By:  **Christopher Rucinski - QA Director**

Analyte	Units	Assigned <sup>4</sup> (Gravimetric) Value	Certified <sup>1,4</sup> Value	k <sup>5</sup>	Standard <sup>2</sup> Deviation	Acceptance Limits <sup>3</sup>
Arsenic, As 1010	Traceable to: NIST SRM 3103a Lot 010713 µg/L	34.0 ± 0.170 ✓	34.0 ± 0.449	1.96	1.65	23.8 to 44.2
Beryllium, Be 1020	Traceable to: NIST SRM 3105a µg/L	3.80 ± 0.0200 ✓	3.80 ± 0.0835	1.96	0.285	3.23 to 4.38
Cadmium, Cd 1030	Traceable to: NIST SRM 3108 Lot 060531 µg/L	3.87 ± 0.0200 ✓	3.87 ± 0.0766	1.96	0.311	3.10 to 4.64
Chromium, Cr (total) 1040	Traceable to: NIST SRM 3112a Lot 990607 µg/L	146 ± 0.740 ✓	146 ± 1.53	1.96	6.01	124 to 168
Copper, Cu 1055	Traceable to: NIST SRM 3114 Lot 891811 µg/L	1,060 ± 5.42 ✓	1,060 ± 13.2	1.96	53.0	954 to 1,170
Iron, Fe 1070	Traceable to: NIST SRM 3126a Lot 051031 µg/L	205 ± 1.05 ✓	203 ± 4.13	1.96	17.1	169 to 237
Lead, Pb 1075	Traceable to: NIST SRM 3128 Lot 030721 µg/L	91.2 ± 0.470 ✓	91.2 ± 1.29	1.96	5.21	63.8 to 119
Lithium, Li 1080	Traceable to: NIST SRM 3129a µg/L	387 ± 1.97 ✓	387 ± 8.29	2.10	29.0	329 to 445
Manganese, Mn 1090	Traceable to: NIST SRM 3132 µg/L	393 ± 2.01 ✓	389 ± 4.85	1.96	17.7	354 to 432
Mercury, Hg 1095	Traceable to: NIST SRM 3133 Lot 061204 µg/L	6.14 ± 0.0300 ✓	6.14 ± 0.219	1.96	0.921	4.30 to 7.98
Nickel, Ni 1105	Traceable to: NIST SRM 3136 Lot 000612 µg/L	193 ± 0.990 ✓	193 ± 2.26	1.96	14.5	163 to 222
Selenium, Se 1140	Traceable to: NIST SRM 3149 Lot 992100 µg/L	24.0 ± 0.120 ✓	24.0 ± 0.510	1.96	2.40	19.2 to 28.8
Zinc, Zn 1190	Traceable to: NIST SRM 3168a Lot 001402 µg/L	784 ± 3.96 ✓	784 ± 11.3	1.96	39.2	705 to 863
Aluminum, Al 1000	Traceable to: NIST SRM 3101a µg/L	1,640 ± 8.37 ✓	1,610 ± 23.0	1.96	101	1,400 to 1,820

### Additional Information

#### Preparation Instructions

Partially fill a 1000-mL volumetric flask with reagent-grade water (near 20 degrees C) and add 1 mL of trace-metal-grade nitric acid.

Open ampule QCI-016-1 (be careful to avoid cuts on glass) and transfer 10.0 mL of concentrate to the volumetric flask.

Fill the flask to volume with reagent-grade water and mix well.

The sample is now ready for immediate analysis.

A reagent-grade blank should be analyzed concurrently for background correction. The water blank should be made to match the acid matrix of the standards and samples.


NOTE: The 0.15% v/v nitric acid specification is a minimum; the amount and type of acid may be altered to routine analytical procedures if needed.



2931 Soldier Springs Road  
 Laramie, WY 82070  
 Phone: 307.742.5452  
 Fax: 307.745.7936  
 Web: www.RT-Corp.com

# RTC Certificate of Analysis

## Trace Metals 1 - WP

Number QCI-034-1  
 Lot 016276  
 Solvent (Matrix) Water, 5% Nitric  
 Hazard Toxic, Corrosive  
 Storage & Handling Store at room temperature, 18 to 20°C.  
 Expiration Date See Sample Label  
 Certification Date: 6/16/2011  
 Certified By:  Christopher Rucinski - QA Director

Analyte	Units	Assigned <sup>4</sup> (Gravimetric) Value	Certified <sup>1,4</sup> Value	k <sup>5</sup>	Standard <sup>2</sup> Deviation	Acceptance Limits <sup>3</sup>
Arsenic, As 1010	Traceable to: NIST SRM 3103a Lot 010713 µg/L	770 ± 3.93	774 ± 14.4	1.96	42.1	648 to 900
Beryllium, Be 1020	Traceable to: NIST SRM 3105a µg/L	241 ± 1.23	238 ± 5.05	1.96	11.4	204 to 272
Cadmium, Cd 1030	Traceable to: NIST SRM 3108 Lot 060531 µg/L	60.2 ± 0.310	60.1 ± 1.05	1.96	3.18	50.5 to 70.0
Chromium, Cr (total) 1040	Traceable to: NIST SRM 3112a Lot 990607 µg/L	412 ± 2.10 ✓	412 ± 7.60	1.96	18.1	358 to 467
Cobalt, Co 1050	Traceable to: NIST SRM 3113 Lot 000630 µg/L	327 ± 1.67	327 ± 6.52	1.96	13.4	287 to 367
Copper, Cu 1055	Traceable to: NIST SRM 3114 Lot 891811 µg/L	80.9 ± 0.410	81.1 ± 1.31	1.96	3.64	70.0 to 92.0
Iron, Fe 1070	Traceable to: NIST SRM 3126a Lot 051031 µg/L	2,880 ± 14.7	2,900 ± 42.7	1.96	114	2,550 to 3,240
Lead, Pb 1075	Traceable to: NIST SRM 3128 Lot 030721 µg/L	1,720 ± 8.78	1,710 ± 26.7	1.96	67.4	1,500 to 1,910
Lithium, Li 1080	Traceable to: NIST SRM 3129a µg/L	452 ± 2.30	452 ± 18.3	2.15	45.2	316 to 588
Manganese, Mn 1090	Traceable to: NIST SRM 3132 µg/L	2,440 ± 12.4 ✓	2,450 ± 36.4	1.96	86.0	2,200 to 2,710
Mercury, Hg 1095	Traceable to: NIST SRM 3133 Lot 061204 µg/L	9.73 ± 0.0500 ✓	9.61 ± 1.03	1.96	1.20	5.99 to 13.2
Nickel, Ni 1105	Traceable to: NIST SRM 3136 Lot 000612 µg/L	1,310 ± 6.75 ✓	1,320 ± 16.6	1.96	45.7	1,180 to 1,470
Selenium, Se 1140	Traceable to: NIST SRM 3149 Lot 992106 µg/L	1,530 ± 7.78	1,490 ± 29.7	1.96	91.9	1,220 to 1,770
Vanadium, V 1185	Traceable to: NIST SRM 3165 µg/L	1,440 ± 7.37	1,440 ± 30.2	1.96	57.8	1,260 to 1,610
Zinc, Zn 1190	Traceable to: NIST SRM 3168a Lot 001402 µg/L	774 ± 3.95 ✓	777 ± 15.6	1.96	37.5	665 to 890
Aluminum, Al 1000	Traceable to: NIST SRM 3101a µg/L	1,800 ± 9.19	1,790 ± 37.3	1.96	105	1,480 to 2,100



2931 Soldier Springs Road  
 Laramie, WY 82070  
 Phone: 307.742.5452  
 Fax: 307.745.7936  
 Web: www.RT-Corp.com

**Anexo 3: Resultados del análisis de estándares de control de calidad de cada metal.**

<b>Metal</b>	Mn
<b>Nombre</b>	QCI-016-1
<b>Lote</b>	16288
<b>Máximo</b>	0,432
<b>Mínimo</b>	0,354
<b>Valor certif.</b>	0,389

<b>Metal</b>	Zn
<b>Nombre</b>	QCI-034-1
<b>Lote</b>	16276
<b>Máximo</b>	0,890
<b>Mínimo</b>	0,665
<b>Valor certif.</b>	0,777

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (mg/l)</b>	<b>Observación</b>
11/11/2011	0,420	Cumple
24/11/2011	0,420	Cumple
15/12/2011	0,408	Cumple
22/12/2011	0,431	Cumple
05/01/2012	0,374	Cumple
10/01/2012	0,416	Cumple
17/01/2012	0,383	Cumple

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (mg/l)</b>	<b>Observación</b>
11/11/2011	0,818	Cumple
24/11/2011	0,774	Cumple
15/12/2011	0,835	Cumple
22/12/2011	0,831	Cumple
05/01/2012	0,846	Cumple
10/01/2012	0,833	Cumple
17/01/2012	0,830	Cumple

<b>Metal</b>	Al
<b>Nombre</b>	QCI-034-1
<b>Lote</b>	16276
<b>Máximo</b>	2,100
<b>Mínimo</b>	1,480
<b>Valor certif.</b>	1,790

<b>Metal</b>	Cd
<b>Nombre</b>	QCI-016-1
<b>Lote</b>	13758
<b>Máximo</b>	10,400
<b>Mínimo</b>	6,900
<b>Valor certif.</b>	8,630

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (mg/l)</b>	<b>Observación</b>
11/11/2011	1,792	Cumple
24/11/2011	1,885	Cumple
07/12/2011	1,909	Cumple
21/12/2011	1,628	Cumple
06/01/2012	2,085	Cumple
10/01/2012	1,780	Cumple
17/01/2012	1,979	Cumple

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (µg/l)</b>	<b>Observación</b>
21/11/2011	8,240	Cumple
25/11/2011	8,077	Cumple
07/12/2011	8,620	Cumple
20/12/2011	7,606	Cumple
27/12/2011	7,732	Cumple
11/01/2012	7,996	Cumple
16/01/2012	8,856	Cumple

<b>Metal</b>	Pb
<b>Nombre</b>	QCI-016-1
<b>Lote</b>	13758
<b>Máximo</b>	82,900
<b>Mínimo</b>	44,700
<b>Valor certif.</b>	63,800

<b>Metal</b>	Ca
<b>Nombre</b>	St. 1mg/l
<b>Máximo</b>	1,050
<b>Mínimo</b>	0,950
<b>Valor</b>	1,000

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (µg/l)</b>	<b>Observación</b>
09/11/2011	77,930	Cumple
30/11/2011	58,870	Cumple
14/12/2011	64,590	Cumple
20/12/2011	68,330	Cumple
27/12/2011	71,180	Cumple
11/01/2012	64,640	Cumple
16/01/2012	75,540	Cumple

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (mg/l)</b>	<b>Observación</b>
21/11/2011	1,009	Cumple
24/11/2011	1,012	Cumple
15/12/2011	1,041	Cumple
22/12/2011	0,997	Cumple
05/01/2012	0,989	Cumple
10/01/2012	1,035	Cumple
17/01/2012	0,984	Cumple

<b>Metal</b>	V
<b>Nombre</b>	St. 100 µg/l
<b>Máximo</b>	110
<b>Mínimo</b>	90
<b>Valor</b>	100

<b>Fecha</b>	<b>Lectura (µg/l)</b>	<b>Observación</b>
21/11/2011	103,1	Cumple
24/11/2011	101,7	Cumple
14/12/2011	105,1	Cumple
20/12/2011	102,2	Cumple
27/12/2011	93,970	Cumple
11/01/2012	106,200	Cumple
16/01/2012	108,700	Cumple

## Anexo 4: Cálculo modelo de la prueba t y ANOVA.

### A4.1. Prueba t

Se utilizó la fórmula para la comparación de dos medias experimentales ( $x_1$ ,  $x_2$ ) provenientes de poblaciones con desviaciones estándar desiguales ( $s_1$ ,  $s_2$ ) con un número ( $n_1$ ,  $n_2$ ) de determinaciones de cada muestra:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2.2)$$

Los grados efectivos de libertad se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{grados efectivos} = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n-1)}} \quad (2.3)$$

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del valor t para el caso de Al con las medias de los años 2009 y 2010 para las siete estaciones de monitoreo.

**Tabla A4.1. Resultados de la concentración de Al en las siete estaciones de monitoreo para los años 2009 y 2010.**

		Al (ng/m <sup>3</sup> )	
		2009	2010
		1499,82	1442,1
		1901,65	506,67
		1368,73	194,37
		656,18	737,06
		786,04	733,21
		358,79	215,72
		1424,49	4308,34
<b>Promedio</b>		1142,2429	1162,4957
<b>Des. Est.</b>		549,61448	1449,3421

$$\text{grados efectivos} = \frac{\left(\frac{549,61448^2}{7} + \frac{1449,3421^2}{7}\right)^2}{\frac{549,61448^4}{7^2(7-1)} + \frac{1449,3421^4}{7^2(7-1)}} = 7,69 \cong 8$$

El valor de  $t_t$  en la tabla de distribución de Student con 8 grados de libertad es 2,3060041.

$$t_c = \frac{1142,2429 - 1162,4957}{\sqrt{\frac{549,61448^2}{7} + \frac{1449,3421^2}{7}}} = 0,0345691$$

Como el valor de  $t_c$  es menor al  $t_t$  no existe una diferencia significativa entre las medias de los dos años de monitoreo para Al.

#### A4.2. ANOVA

Para realizar el análisis de varianza se deben calcular los parámetros generales del ANOVA que constan en la Tabla 2.5 del capítulo 2 de la disertación. A continuación se muestra el cálculo ejemplo para el análisis de varianza de la concentración de Ca en las siete estaciones de monitoreo para el año 2009 utilizando la siguiente tabla:

**Tabla A4.2. ANOVA de Ca en las siete estaciones de monitoreo durante el año 2009.**

<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de suma de cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>F<sub>t</sub></b>	<b>Criterio</b>
<b>Entre los grupos (Estaciones)</b>	6	8630174,1	1438362,35	0,6992236	8,9406451	No hay diferencia significativa
<b>Dentro de los grupos (Meses)</b>	3	43198784,02	2057084,95			
<b>Total</b>	9	51828958				

Los datos utilizados para el cálculo son los siguientes:

Año 2009	MESES				Promedio
	1	2	3	4	
<b>Cotacollao</b>	4165,76	0,00	0,00	83,01	1062,19
<b>Belisario</b>	4989,98	21,82	0,00	83,01	1273,70
<b>Jipijapa</b>	3996,15	21,82	0,00	0,44	1004,60
<b>El Camal</b>	0,00	3,01	2,8	0,00	1,45
<b>Guamaní</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Los Chillos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Tababela</b>	0,00	28,41	0,00	0,00	7,10
			<b>Promedio Total</b>		478,44

### Suma de cuadrados

*Suma de cuadrados entre meses*

$$SDC_w = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$x_{ij}$  = valor de cada determinación

$\bar{x}$  = media de las repeticiones

$$SDC_w = ((4165,76 - 1062,19)^2 + (0,0 - 1062,19)^2 + (0,0 - 1062,19)^2 + (83,01 - 1062,19)^2 + (4989,98 - 1273,70)^2 + (21,82 - 1273,70)^2 + (83,01 - 1273,70)^2 + (0,44 - 1273,70)^2 + (3996,15 - 1004,60)^2 + (21,82 - 1004,60)^2 + (0,0 - 1004,60)^2 + (0,44 - 1004,60)^2 + (28,41 - 7,10)^2)$$

$$SDC_w = 43198784,02$$

*Suma de cuadrados entre estaciones*

$$SDC_B = n \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$\bar{x}_i$  = media de las medias

n = Número de muestras para cada estación

$\bar{x}$  = media de las repeticiones de cada estación

$$SDC_B = ((1062,19 - 478,44)^2 + (1273,70 - 478,44)^2 + (1004,60 - 478,44)^2 + (1,45 - 478,44)^2 + (0,0 - 478,44)^2 + (0,0 - 478,44)^2 + (7,10 - 478,44)^2) * 4$$

$$SDC_B = 8630174,08$$

*Suma de cuadrados total*

$$SC_T = SC_W + SC_B$$

$$SC_T = 43198784,02 + 8630174,08$$

$$SC_T = 51828958$$

## **Media de cuadrados**

*Media de cuadrados entre estaciones*

$$DCM_w = \sigma_w^2 = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{h(n-1)}$$

$$DCM_w = 43198784,02 / 7(4-1)$$

$$DCM_w = 2057084,95$$

*Media de cuadrados entre meses*

$$DCM_b = \sigma_b^2 = \frac{n \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{h-1}$$

$$DCM_B = 8630174,08 / 7- 1$$

$$DCM_B = 1\ 1438362,35$$

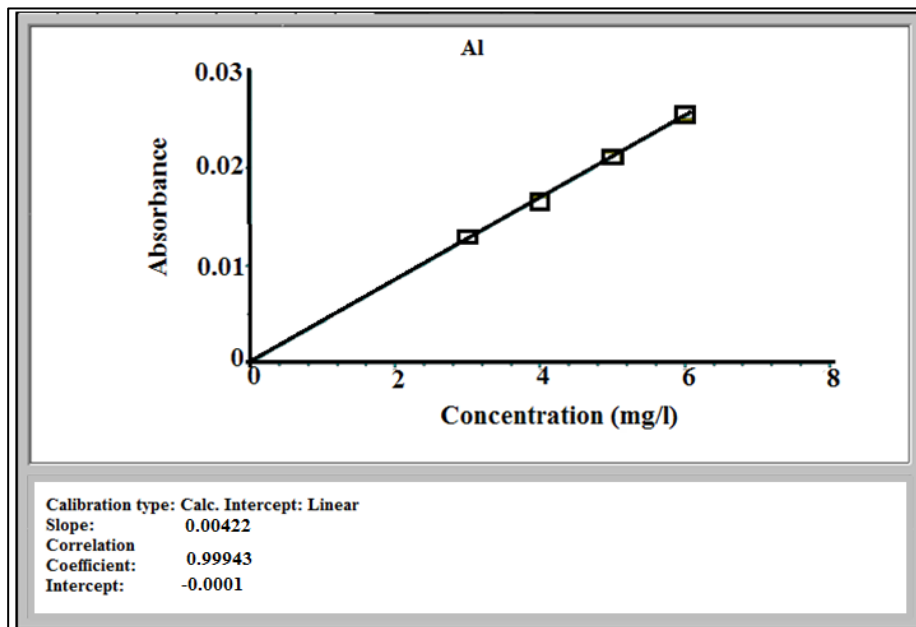
**Cálculo de F**

$$F = \frac{DCM_b}{DCM_w}$$

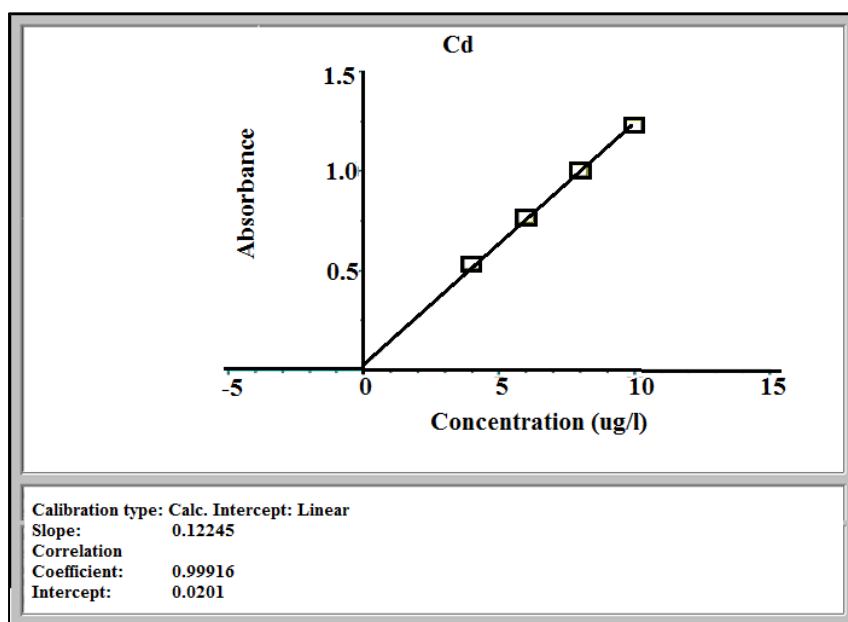
$$F = 1438362,35 / 2057084,95$$

$$F = 0,70$$

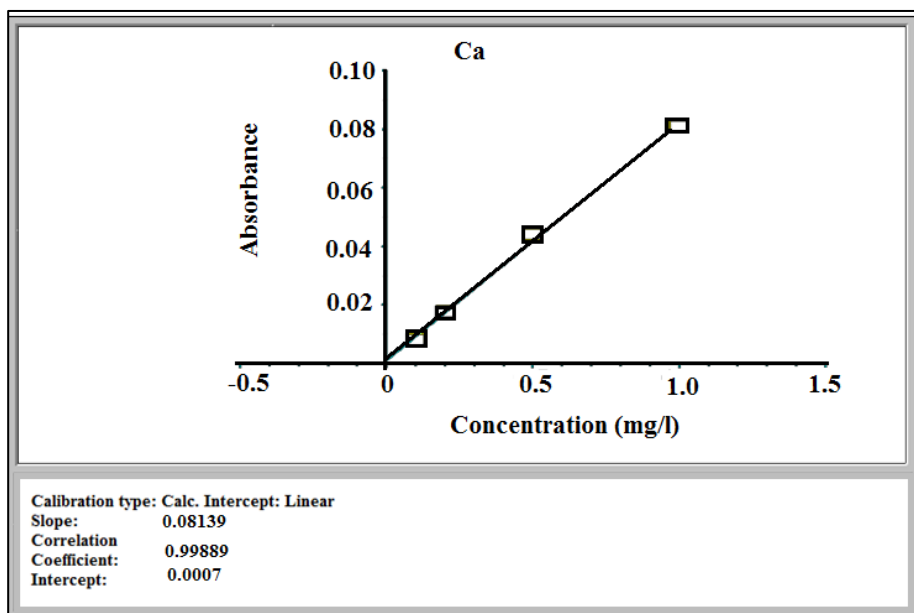
**Anexo 5: Curvas de calibración generadas por el software del equipo.**



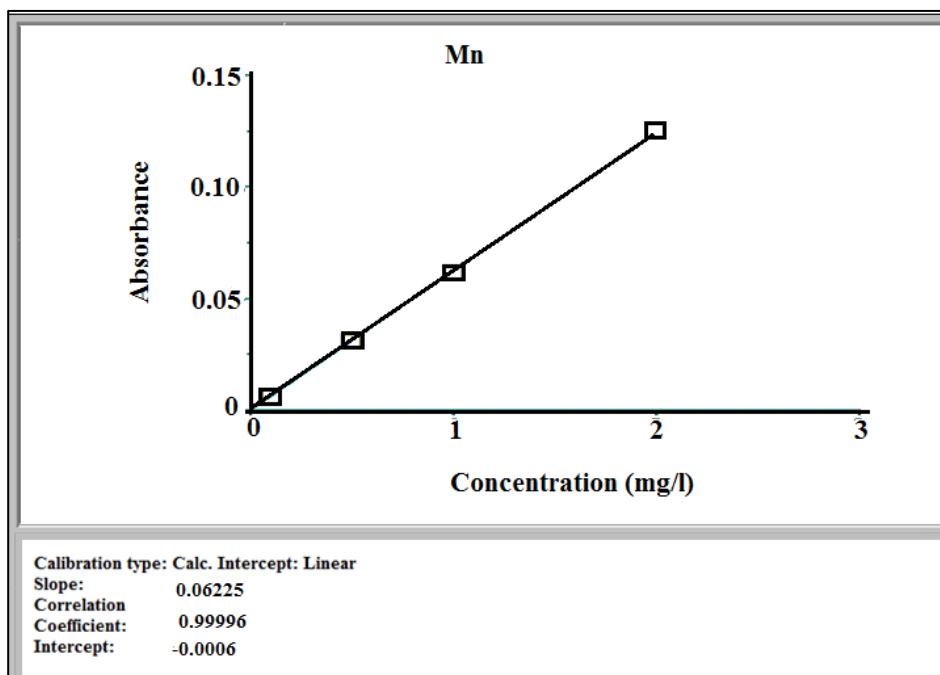
**Figura A5.1. Curva de calibración de Al generada por el software.**



**Figura A5.2. Curva de calibración de Cd generada por el software.**



**Figura A5.3. Curva de calibración de Ca generada por el software.**



**Figura A5.4. Curva de calibración de Mn generada por el software.**

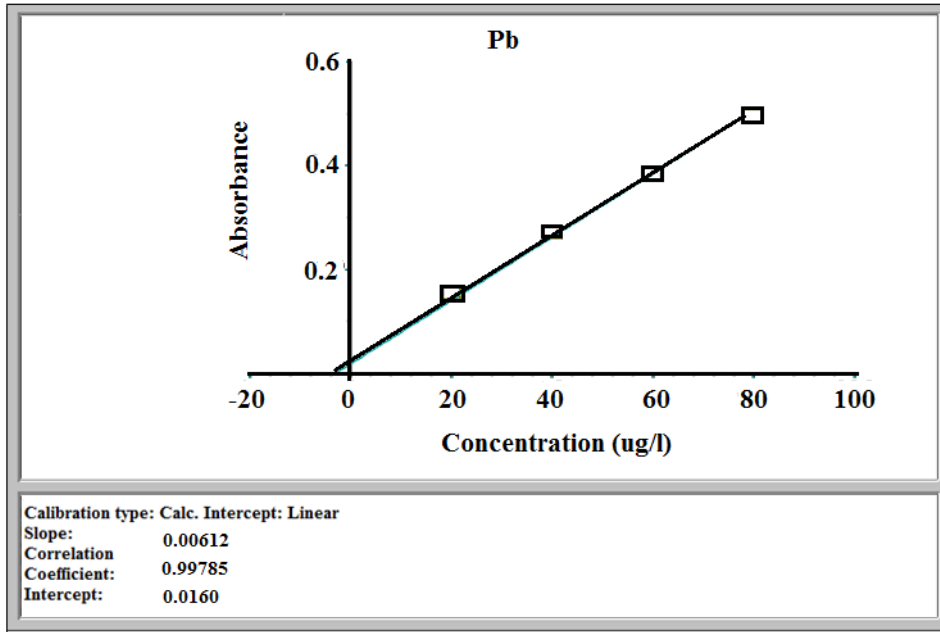


Figura A5.5. Curva de calibración de Pb generada por el software.

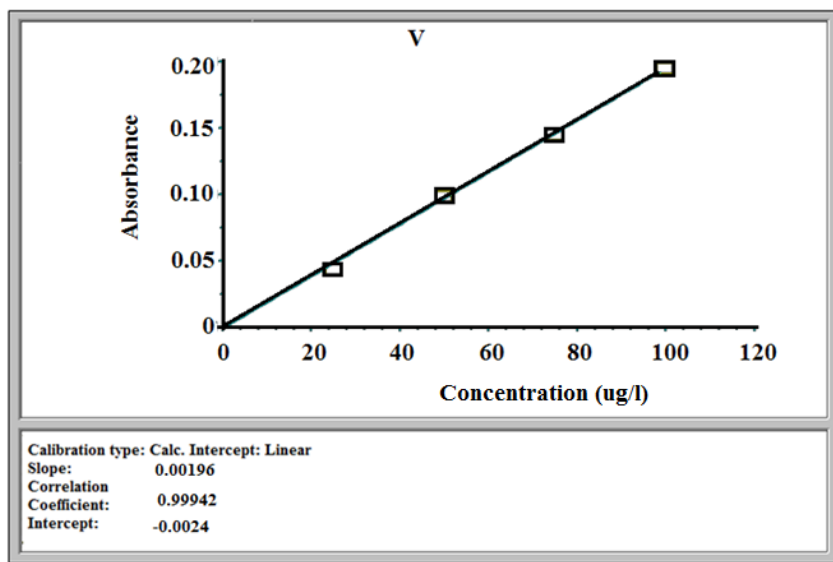


Figura A5.6. Curva de calibración de V generada por el software.

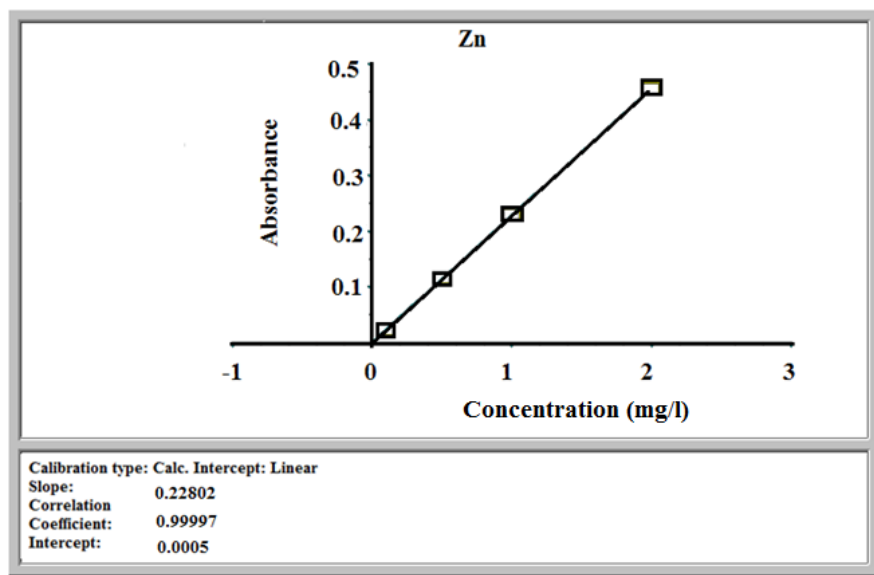


Figura A5.7. Curva de calibración de Zn generada por el software.

### Anexo 6: Cálculo modelo de la concentración en $\text{ng/m}^3$ de metales.

Los resultados obtenidos de cada muestra se presentan en  $\text{mg/l}$  en el equipo; no obstante, para poder conocer la cantidad de metales presentes en el aire de Quito se requiere que los datos se encuentren en  $\text{ng/m}^3$ .

En la tabla A6.1 se encuentran los datos necesarios para el cálculo de la concentración en  $\text{ng/m}^3$ .

La muestra MP-468 corresponde a la estación Jipijapa del año 2010 y los datos a la concentración de aluminio. La muestra MP-877 pertenece a la estación Los Chillos del año 2010 y los datos a la representan la concentración de plomo.

**Tabla A6.1. Datos para el cálculo de la concentración en  $\text{ng/m}^3$ .**

Muestra	$[\text{PM}_{10}]$ filtro( $\mu\text{g/m}^3$ )	Lectura del equipo ( $\text{mg/l}$ )	Lectura del blanco ( $\text{mg/l}$ )	lectura muestra- blanco	Peso inicial del filtro (g)	Peso $\frac{1}{4}$ filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Peso filtro final - Peso inicial (g)	Concentración ( $\text{ng/m}^3$ )
MP-468	56,01	4,416	1,1058	3,3102	4,3976	1,0949	4,4665	0,0689	548,86
MP-877	26,31	0,02035	0,00399	0,0164	4,2956	1,0953	4,3276	0,032	2,66

Para el cálculo de la concentración en  $\text{ng}/\text{m}^3$  se utilizó la ecuación 2.1 de la siguiente manera:

$$\text{ng}/\text{m}^3 = \frac{50 \times \frac{F}{M} \times (N-A) \times H}{S \times G} \quad (2.1)$$

Donde:

50: volumen de aforo.

F: peso en gramos del filtro completo con  $\text{PM}_{10}$ .

M: peso en gramos del pedazo de filtro.

N: lectura del metal en el equipo en  $\text{mg}/\text{l}$ .

A: lectura del blanco en  $\text{mg}/\text{l}$ .

H: concentración de  $\text{PM}_{10}$  en el filtro expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

G: peso en gramos de  $\text{PM}_{10}$  en el filtro completo.

S: factor de conversión a  $\text{ng}/\text{m}^3$ , siendo este 1000.

$$\text{ng Al}/\text{m}^3 = \frac{50 \times \frac{4,3976}{1,0949} \times (4,416 - 1,1058) \times 56,01}{1000 \times 0,0689} = 548,84$$

$$\text{ng Pb}/\text{m}^3 = \frac{50 \times \frac{4,2956}{1,0953} \times (0,02035 - 0,00399) \times 26,31}{1000 \times 0,0320} = 2,66 \cong 2,7$$

## Anexo 7: Concentraciones de metales de los años 2006- 2008

<b>Año 2006</b>	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	7,93	35,03	6,4	0,15
<b>Belisario</b>	4,42	38,23	4,29	0,11
<b>Jipijapa</b>	3,78	30,69	8,95	0,1
<b>Guamaní</b>	6,24	41,62	5,33	0,3
<b>Los Chillos</b>	4	44,57	16,07	0,12

<b>Año 2007</b>	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	4,88	7,62	66,43	342	8,24	0,14	1422
<b>Belisario</b>	5,58	10,67	64,42	416	14,09	0,09	1155
<b>Jipijapa</b>	4,65	7,03	87,89	234	12,91	0,02	1029
<b>Guamaní</b>	11,65	12,52	81,93	597	11,01	0,24	1187
<b>Los Chillos</b>	4,73	12,47	83,85	555	27,05	0,09	1168

<b>Año 2008</b>	<b>Pb (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zn (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Al (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cd (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ca (ng/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cotocollao</b>	4,28	5,75	40,13	308	5,94	0,11	901
<b>Belisario</b>	6,17	14,52	40,88	306	9,88	0,14	866
<b>Jipijapa</b>	3,64	5,22	38,41	270	13,84	0,08	985
<b>Guamaní</b>	5,07	6,8	53,93	396	7,87	0,15	1025
<b>Los Chillos</b>	2,47	3,9	55,06	217	19,81	0,07	709
<b>Tababela</b>	2,65	8,6	22,49	633	7,14	0,09	928

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, María José Maldonado Arízaga, C.I. 171586406-1, autora del trabajo de graduación intitulado “Caracterización del material particulado suspendido  $PM_{10}$  de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por Espectroscopía de Absorción Atómica”, previa a la obtención del grado académico de Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 2012

Srta. María José Maldonado Arízaga

C.I. 171585406-1