

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

**Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del
Título de Ingeniero Ambiental**

**MEDIDAS DE INMISIÓN PARA PARTÍCULAS TOTALES
SUSPENDIDAS Y METALES PESADOS EN MUESTRAS DE AIRE
AV. MARISCAL SUCRE, SECTOR EL TEJAR, DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO.**

Autor:

Fernando Palacios Jara

Director:

Dr. Carlos Ordóñez

Quito – Ecuador

2010

RESUMEN

En este trabajo se determinó la cantidad de partículas totales suspendidas en el aire en una zona del Distrito Metropolitano de Quito, en días alternados, por un periodo comprendido entre Enero y Junio de 2010, y posteriormente se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para el análisis de la concentración de siete metales en las PTS, entre ellos plomo, cromo y vanadio. Para este fin, se seleccionó el sector Túneles del Tejar, donde el periodo nominal de muestreo, fue de 12 horas a partir de las seis de la mañana, de esta manera se pudo obtener medidas dentro de los horarios picos de flujo vehicular del sector.

Para la recolección del material particulado en filtros de fibra de vidrio, se empleó un muestreador de alto volumen (HVS), consecuentemente se obtuvo en total seis muestras, una por día muestreado. En base al promedio registrado de la concentración de PTS ($241 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se cataloga a la zona de estudio como moderadamente contaminada, con concentraciones de PTS marcando una condición de proporcionalidad respecto al flujo vehicular en el sitio de muestreo. La concentración del metal bario es la más alta en relación a los otros metales analizados en el proyecto, con un valor promedio de $1131 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Palabras clave: Partículas, Contaminación Atmosférica, Atmósfera, Tráfico, Metales, Plomo, Cromo, Vanadio, Bario.

ABSTRACT

In this investigation was determinate the concentration of total particles suspended (TPS) in the air of a area of the Metropolitan District of Quito, in the alternated days, for the period between January and June 2010, after that, using the spectrophotometry technique of atomic absorption for the analysis of the concentration of seven metals in the TPS, between them: lead, chrome and vanadium. For the study, was selected the area of the tunnels in the neighborhood “El Tejar”, where the nominal period of sampling, was 12 hours from six o'clock in the morning to obtain measures inside the rush hours of traffic flow in the area selected. The equipment High Volume Sampler (HVS) was used for the compilation of the TPS in filters of glass fiber, consistently there were obtained in total six samples, one for sampled day. On the basis of the average registered of the concentration of TPS ($241 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The area of study as reasonably contaminated, with concentrations of TPS increased in relation to the vehicular flow. The concentration of the barium was the highest compared to the other metals analyzed in this project, with a concentration of $1131 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Keywords: Particle air pollution, Atmosphere, Traffic, Metals, Lead, Chrome, Vanadium, Barium.

CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEORICO	9
2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	9
2.2 CALIDAD DEL AIRE (INMISIÓN).....	9
2.3 MATERIAL PARTICULADO.....	10
2.3.1 Partículas Sedimentables.....	13
2.3.2 Partículas En Suspensión.....	13
2.3.3 Propiedades Físicas ¹	15
2.3.4 Fuentes De Material Particulado.....	16
2.3.5 Efectos del Material Particulado ¹	16
2.4 METALES PESADOS.....	17
2.4.1 Bario.....	18
2.4.2 Cadmio ²	19
2.4.3 Cobre ²	20
2.4.4 Cromo ²	21
2.4.5 Níquel ²	22
2.4.6 Plomo ²	23
2.4.7 Zinc ²	25
2.5 MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN (HVS).....	25
2.6 NORMATIVA LEGAL EXISTENTE.....	26
2.6.1 Normativa para PTS en aire.....	26
2.6.2 Normativa para metales en aire.....	30
3. METODOLOGIA	31
3.1 MEDICIÓN DE PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS EN EL AIRE.....	31
3.1.1 Equipo de muestreo.....	31
3.1.2 Calibración del equipo.....	31
3.1.3 Procedimiento de preparación de los filtros previo al muestreo.....	32
3.1.4 Procedimiento para el muestreo de Aire.....	32
3.2 DIGESTIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS.....	33

3.2.1 Procedimiento de digestión química de las muestras.....	33
3.3 MEDICIÓN DE METALES EN LAS MUESTRAS PREPARADAS.....	33
3.3.1 Procedimiento de medición de la concentración de metales.....	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 RESULTADOS.....	34
Cuadro 5: Condiciones de tráfico del sitio de muestreo.....	34
4.2.1 Cálculo de concentración de partículas totales en suspensión.....	36
(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).....	38
4.2.2 Cálculo de la concentración de metales pesados.....	38
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1 CONCLUSIONES:.....	49
5.2 RECOMENDACIONES.....	50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO 1: MAPA DEL SITIO.....	53
ANEXO 2: ANEXO FOTOGRÁFICO.....	54
ANEXO 3: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	56

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema mundial que tiene gran repercusión en la vida diaria de las personas, debido a que es en los centros urbanos y sus alrededores en donde se localizan las principales actividades industriales y también lugares puntuales donde existe un alto flujo vehicular que se ha incrementado en los últimos años con el crecimiento demográfico.

El estudio comprendió las medidas de inmisión a través del monitoreo de aire en el sitio de alto flujo vehicular, sobre el sector “El Tejar”, por el periodo entre Enero y Junio de 2010, en el cual el horario de muestreo comprendía normalmente entre las 6:00 hasta las 18:00. De esta manera se pudo obtener medidas dentro de los horarios picos de flujo vehicular del sector.

La recolección de datos y muestras de material particulado se pudo obtener realizando un control continuo, dentro de la fase de muestreo, considerando las diferentes variables, meteorológicas, físicas y de tránsito vehicular. Se tomaron en total seis muestras de aire. Posteriormente se efectuó en laboratorio el análisis para la cuantificación de la concentración de PTS y metales pesados de todas las muestras.

En el año 2006 la CORPAIRE realizó el proyecto de investigación “Análisis de metales pesados (Cd, Pb V, Zn y Hg) en muestras de material particulado PM_{10} , de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).”, en el que realizó el análisis de metales pesados de 116 muestras de PM_{10} , recogidas en filtros de microfibra de cuarzo, correspondiente a 5 estaciones de monitoreo de aire. La concentración de metales pesados de los filtros entregados por la CORPAIRE, se obtuvo utilizando la técnica de

espectroscopía de absorción atómica, con los métodos recomendado por la EPA. Como resultado se obtuvo que las concentraciones más variables son las del Plomo, que para el año de estudio, su promedio anual fue de 5.03 ng/m³. En comparación a un estudio anterior, en el cual se obtuvo un promedio anual de 2.82 ng/m³, por lo que se determinó un aumento de concentración de 2.21 ng/m³ en el lapso de dos años. Entre otros resultados obtenidos, se determinó una disminución del Cadmio y del Vanadio.

La creciente demanda del transporte genera la combustión de los mismos y por tanto emisiones al ambiente a lo que estamos expuestos, lo que implica un riesgo de carácter agudo para la salud de las personas y para la salubridad de la ciudad.

Por lo tanto, la presencia de Partículas Totales Suspendidas (PTS) y Metales Pesados representa un inconveniente ambiental en la actualidad, por lo que la medición de PTS y Metales Pesados constituye un primer aporte para la visualización del inconveniente y el futuro planteamiento de soluciones factibles que permitan minimizar este problema ambiental.

Como objetivo principal se estableció: realizar un estudio descriptivo de las concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS) y Metales Pesados en el sector de “El Tejar”, dentro del Distrito Metropolitano de Quito los objetivos específicos fueron:

- Recolectar seis muestras de aire en el sector de “El Tejar”.
- Realizar la caracterización química de las muestras recolectadas.
- Determinar las concentraciones de PTS y Metales Pesados: Bario, Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo, y Zinc.

El sitio de muestreo fue ubicado en el sector de “El Tejar” en el centro de Quito, lugar de gran actividad, considerado un sitio de alto flujo vehicular, por el que transitan todo tipo de vehículos, livianos, transporte público y pesado, así como también gran cantidad de personas que reside o tiene su actividad en dicho sector (Figura 2, Anexo 1).

Para el sitio de muestreo, se utilizó el (suministro eléctrico) del Centro de Control de Túneles, de la Empresa Metropolitana de Obras Públicas, (EMOP), que se encuentra a la salida del túnel de san Diego, justo en el desvío para el centro de la ciudad, (Figura 2, Anexo 2).

2. MARCO TEORICO

2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

La contaminación atmosférica se da por la presencia de contaminantes de tipo gaseoso, vapores o partículas, éstos pueden ser gases inorgánicos, especialmente óxidos de nitrógeno, azufre y carbono. Vapores orgánicos como los responsables del smog fotoquímico y las partículas atmosféricas (material particulado) que son emitidas directamente a la atmósfera o se forman por procesos químicos después de su emisión causando problemas de contaminación significantes. Los problemas que se generan por la contaminación atmosférica se manifiestan a distintas escalas espaciales y temporales, especialmente en las grandes ciudades donde el tráfico vehicular se ha incrementado en los últimos años, como es el caso de la ciudad de Quito; o aquellas ciudades con grandes parques industriales.

2.2 CALIDAD DEL AIRE (INMISIÓN).

Recepción de contaminantes en el medio ambiente (aire, agua, suelo) procedentes de una fuente emisora. Frecuentemente el término se utiliza como sinónimo de niveles de inmisión, que es la contaminación de sustancias contaminantes en un medio determinado. Son los niveles de inmisión o de calidad del aire los que determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Por lo tanto para minimizar la contaminación atmosférica, es necesario, por un lado, el control de las emisiones atmosféricas (niveles de emisión) y, por el otro, el control de la vigilancia de la presencia de los contaminantes en el aire en distintos puntos receptores (niveles de inmisión). (Gran Diccionario Enciclopédico Visual Océano, 2003).

2.3 MATERIAL PARTICULADO.

“El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera. Generalmente el término aerosol atmosférico se utiliza como sinónimo de partículas atmosféricas”. (Ayora C, 2004). El término material particulado o partículas atmosféricas se refiere tanto a partículas en suspensión como a partículas sedimentables ($>20\mu\text{m}$) las cuales tienen tiempos de residencia cortos en la atmósfera. En general las partículas de tamaños inferiores a $0,1\mu\text{m}$ se originan por procesos de condensación mientras que las partículas mayores se forman por pulverización o combustión que comúnmente es consecuencia de actividades humanas. La fracción de materia particulada con tamaños entre $0,1 - 2\mu\text{m}$ se forman por procesos de coagulación de partículas más pequeñas (acumulación), a partir de pequeños núcleos existentes. (Ayora C., 2004).

Las partículas o material particulado que llegan como contaminante a la atmósfera tienen efectos significantes que constituyen varios problemas ambientales: pueden afectar al balance de de la radiación terrestre donde reducen y distorsionan la visibilidad. Las partículas de diámetros menores $0,1\mu\text{m}$ dispersan la luz de la misma manera que las moléculas por lo que no son las más importantes en este efecto, pero las propiedades de dispersas e interceptar la luz de partículas mayores de $1\mu\text{m}$ son proporcionales al área de la sección transversal de cada partícula, y por otro lado las partículas de $0,1-1\mu\text{m}$ en lugar a fenómenos de interferencia ya que su tamaño es igual a la dimensión de las longitudes de onda de la luz visible (Manahan S., 2007).

Por otro lado las partículas poseen efectos nocivos para la salud. Aquellas de tamaño relativamente grande son retenidas en las cavidades nasales y en la faringe y partículas pequeñas logran penetrar hasta el sistema respiratorio, ocasionando el bloqueo de ciertos órganos como los pulmones interfiriendo en el paso del aire, o pueden llegar al sistema sanguíneo o al linfático. (Ayora C., 2004).

Pueden clasificarse por su origen como contaminantes primarios, es decir que se emiten directamente a la atmósfera o como contaminantes secundarios; que sufren transformaciones químicas después de haber sido emitidas, en general estas proporcionan superficies activas donde ocurren las reacciones químicas atmosféricas heterogéneas y pueden constituir los sitios de formación de condensación de vapor de agua, por todas estas transformaciones la influencia del material particulado en el tiempo y fenómenos de contaminación es significativa (Fernández A., 2001).

Por otra parte se ha clasificado a estos de contaminantes por su tamaño, con lo que se ha logrado distinguir el tipo de efectos que tienen sobre la salud de los seres humanos o sobre otros seres vivos. Bajo estos conceptos se las ha clasificado en: partículas de la fracción de tamaño de *partículas finas* la constituyen dos grupos: el primer grupo de partículas tienen un diámetro aerodinámico de hasta $0,08\mu\text{m}$ llamadas partículas finas o de nucleación que provienen directamente de fuentes de combustión o de la condensación de los gases que han llegado a la atmósfera por emisión y se ha enfriado; el tiempo de residencia llega hasta una hora ya que sus pequeños tamaños hacen que tiendan a coagular con partículas más grandes, o actúan como núcleos para que a partir de ellas se formen los agregados o gotas de niebla (Fernández A., 2001).

El siguiente grupo de partículas tienen diámetros entre 0,08-2µm llamadas **partículas finas o de acumulación** que provienen de la coagulación de partículas más pequeñas emitidas de las fuentes de combustión, condensación de especie volátiles, conversión gas-partícula y por el levantamiento de polvos de tierra. Por otro lado están las partículas gruesas son de 2 o 3µm resultantes de actividades agrícolas y están formadas por materiales de origen geológico. Estas permanecen poco tiempo en la atmósfera y son las descritas como sedimentables. (Fernández A., 2001).

Otra de las características que se toma en cuenta del material particulado es su composición química, en algunos casos incluyen elementos livianos como el aluminio, silicio, calcio, potasio, etc. Y también pueden ser elementos pesados como hierro, zinc, vanadio, plomo, titanio y ciertos compuestos orgánicos de elevada toxicidad que incluso pueden tener efectos cancerígenos; por lo que son los elementos más estudiados, de acuerdo a Préndez. (1993) el material particulado antropogénico está constituido por los siguientes materiales:

- Partículas sólidas que se derivan de las fuentes fijas o móviles producto de la combustión del petróleo, leña o carbón
- Partículas <0,2µm provenientes de las reacciones fotoquímicas entre óxido nitroso (NO_x) e hidrocarburos
- Aerosoles secundarios, producto de la transformación de gases en material particulado como los sulfatos.

El proceso por el cual una partícula se genera a partir de un gas es de gran importancia en términos de contaminación atmosférica, tanto a nivel de las fuente emisoras como de la calidad del aire en las ciudades. Se estima que casi el 30% de la masa de un aerosol se

genera por este proceso, y son estas las partículas (diámetros entre 0,1-1 μ m) que dispersan fácilmente la luz ocasionando la pérdida de visibilidad. Estos mismos aerosoles pueden formarse por la coagulación o solidificación de las pequeñas gotas, puede darse simultáneamente en la transformación gas-partícula (Préndez M., 1993)

2.3.1 Partículas Sedimentables.

Son partículas presentes en el aire que se depositan por acción de la gravedad (deposición seca) y por contaminantes gaseosos y partículas no sedimentables arrastradas por lluvia (deposición húmeda), por lo que su captación depende mucho de las condiciones meteorológicas de los períodos de muestreo. Por estudios previos se ha podido deducir que la este tipo de partículas están entre los diámetros de 25 a 100 micras con un diámetro típico de de masa media de 50 a 60 micras. Su composición química es muy diversa, por lo que algunas veces se las puede catalogar como contaminantes tóxicos potenciales. (Fernandez A., 2001).

Los efectos de las partículas sedimentables son muy diversos, éstas deterioran bienes por ataque químico superficial o monumentos, afectan la visibilidad, pueden producir contaminación considerable en suelos por lo que afectan directamente a las plantas.

Las partículas tienen tamaño semejante al de las ondas de la luz visible (0.38 a 0.76nm) son las que provocan este efecto. (Jiménez B., 2002)

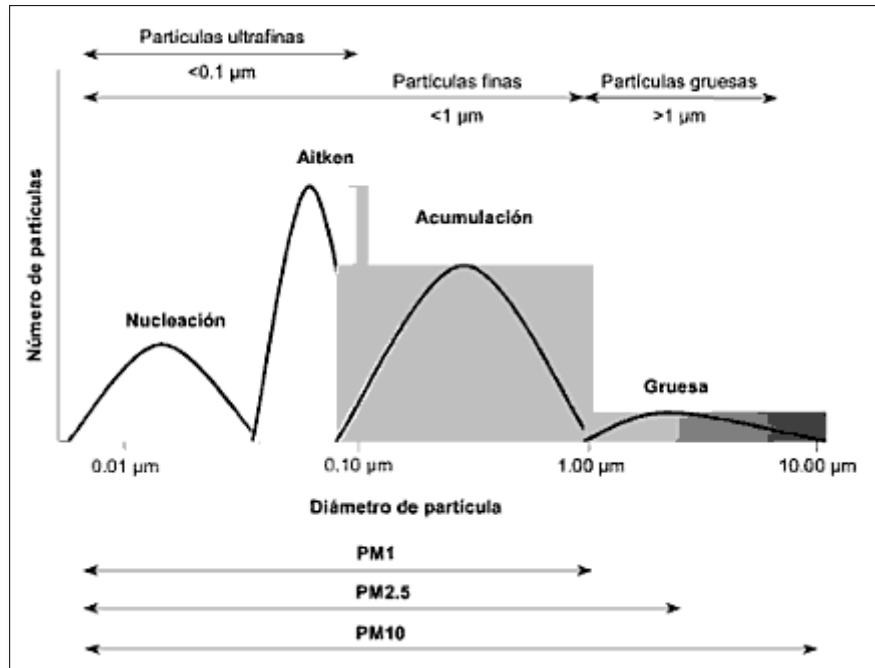
2.3.2 Partículas En Suspensión.

Se pueden definir como *“todas las partículas sólidas o líquidas presentes en el aire y de tamaño suficientemente reducido como para no depositarse con rapidez, por efecto de la*

gravidad, sobre la superficie terrestre. Pueden definirse igualmente como materias susceptibles de ser extraídas del aire si este pasa a través de un filtro apropiado” (Fernández A., 2001, p. 51). Se forman por una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, tienen diámetros entre 0,005 hasta 100 μ m y forman suspensiones mecánicas estables e implican largos períodos de residencia, Su origen y composición es muy diverso, ya que pueden resultar de procesos de combustión, de la transformación de otros contaminantes o de mecanismos naturales, ya sea que provengan de los suelos o que tengan un origen biológico como materias fecales (excremento de animales, incluyendo el hombre), polen, bacterias, esporas o quistes, forman parte de las partículas suspendidas que respiramos.

Los estudios y regulaciones ambientales se centran en PST menores a las 100 μ m de diámetro aerodinámico, específicamente: PM₁₀ de diámetros aerodinámicos menores de 10 μ m y las PM_{2,5} partículas ultra finas menores a 2,5 μ m. estas últimas por su tamaño permanecen más tiempo y se transportan a mayores distancias que las partículas PM₁₀, por lo que las fuentes de emisión se encuentran lejos de los sitios de muestreo (Celis J., 2004).

Este tipo de material particulado tiene efectos sobre la salud que se puede distinguir a través de un punto de vista físico o químico. Físicamente por sus pequeños tamaños pueden penetrar fácilmente a las vías respiratorias más profundas con lo que afectan directamente a órganos más sensibles y por otro lado químicamente estas contienen una gran variedad de compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos que al llegar a los órganos afectan por su toxicidad. (Fernández A., 2001).



Tomado de: Puigcerver, 2008, p. 43

Figura 1. (Distribución del número de partículas en función del diámetro)

2.3.3 Propiedades Físicas¹.

Las partículas se pueden clasificar de acuerdo a su origen en:

Polvo: Son partículas sólidas pequeñas (1 a 100µm), que se forman por el rompimiento de partículas, generalmente se genera en industrias donde se manejan con carbón, o cemento. Se desplazan por las corrientes de aire mientras se encuentran en suspensión.

Humo: Son muy finas que resultan de la combustión incompleta de sólidos orgánicos ejemplo: carbón, madera y tabaco. Su diámetro varía entre 0.5 y 1 µm.

Fumos: Son partículas finas, por lo general provienen de óxidos metálicos de Zn y Pb, formados por la condensación de los vapores sólidos, esto es, por procesos como destilación, calcinación y fundición. Miden entre 0.03 y 0.3 µm.

¹ Jiménez B., 2002

Cenizas volantes: Son partículas no combustibles muy finas que se tiñen en los efluentes gaseosos de combustión de carbón generalmente, son muy parecidos en tamaño al polvo.

Están compuestas generalmente de óxidos de silicio, aluminio, fierro y calcio, también provocan suciedad y abrasión en las construcciones. La porción más fina es muy difícil de remover y entran fácilmente en los pulmones provocando enfermedades.

Niebla: Son pequeñas gotas que se forman debido a la condensación de un vapor, tiene un tamaño por lo general inferior a 10 μm .

Aerosol: Son gotas pequeñas que se forman por la atomización de líquidos, como es el caso de los herbicidas y pesticidas. Su tamaño varía entre 10 y 1000 μm .

2.3.4 Fuentes De Material Particulado.

En términos generales el material particulado entre 2.5 μm y 10 μm proviene los vehículos (fuente más común en la ciudad de Quito) y por procesos industriales. El material $\text{PM}_{2.5}$ proviene principalmente del escape de los gases de combustión de los vehículos, humo de tabaco, smog fotoquímico, etc.

2.3.5 Efectos del Material Particulado¹.

Las áreas pobladas generalmente alcanzan concentraciones entre 60 y 300 μg de PTS/ m^3 . En cuanto a la salud, las partículas menores a 10 μm de fracción respirable, aproximadamente un tercio queda en los pulmones, en general causan irritación de las vías respiratorias, agravan el asma y favorecen las enfermedades cardiovasculares.

Las partículas pueden servir como superficie de adsorción para gases tóxicos. Se relacionan con la enfermedad de los pulmones negros en mineros, silicosis y asbestosis. La contaminación por partículas finas causa el deterioro de las vías respiratorias, en un periodo de tiempo corto. A largo plazo, puede generar enfermedades crónicas, cáncer y muerte prematura.

La EPA estima que en Estados Unidos más de 8% del cáncer de pulmón de no fumadores se debe a la fracción respirable contenida en las emisiones de los vehículos que no funcionan con diesel.

En cuanto al clima las partículas reflejan y absorben parte de la energía solar, por lo que se habla de un decremento de la temperatura de la tierra.

2.4 METALES PESADOS.

Desde el punto de vista ambiental y de contaminación atmosférica los metales traza son los más peligrosos para los seres vivos, aunque estos metales apenas tienen un 0.1% de abundancia. Estos no se degradan ni química ni biológicamente, pueden ser arrastrados a grandes distancias del lugar donde se originan y es por esto que sus efectos se van acumulando en las cadenas tróficas representando riesgos para los seres humanos cuando animales y plantas se utilizan como alimentos. Entre ellos el Hg, As, Cd, Pb, y Be fueron clasificados por la EPA como peligrosos (Jiménez B., 2002).

2.4.1 Bario

2.4.1.1 Generación

La forma más común de bario en la naturaleza es el sulfato de bario, que en un grado específico, es usado para una mejor observación en la toma de radiografías, ya que este absorbe gran cantidad de rayos X, por lo tanto su contraste de luz en la placa es más notorio.

Los compuestos del Bario son también usados para hacer lubricantes, pinturas, azulejos, vidrio y gomas. Debido al uso extensivo del Bario en las industrias, el Bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Como resultado las concentraciones de Bario en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las concentraciones que ocurren de forma natural en muchos lugares (Fernández, 2001). El Bario puede ser liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y durante la producción de compuestos de Bario.

2.4.1.2 Efectos

Entres los efectos tóxicos por ingestión de sales de bario, son malestares de vómito y diarrea que podrían estar asociados a hemorragias del estómago, el intestino o riñones (Fernández, 2001). Por vía respiratoria, al ser inhalado el bario, puede ser absorbido por los pulmones y directamente a la mucosa nasal, lo cual podría ser transportado al torrente sanguíneo.

En cuanto a la inhalación específicamente de óxido de bario, causa irritación a la nariz y garganta (Menéndez F., 2006).

2.4.2 Cadmio².

2.4.2.1. Generación

Constituye un subproducto de la industria del zinc, ya que en la naturaleza se encuentran estrechamente ligados y se obtiene para fines industriales en el curso del refinado del zinc. En los últimos 20 años ha aumentado notablemente el consumo industrial del cadmio, en forma de óxido, sulfuro, cloruro, bromuro, o sulfato, según la aplicación.

La generación de cadmio se da en una serie de aplicaciones, entre las cuales tenemos:

- La industria del zinc y la extracción del cadmio a partir de sus residuos.
- Este metal se emplea como pigmento, como estabilizador y aditivo de plásticos.
- Cadmiado de metales, que son hierro, acero y cobre; esta operación tiene fines análogos al cromado y se realiza bien por sumersión en sus sales o bien por un procedimiento electrolito.
- Aleación del cadmio con el acero y el cobre (fabricación de cables eléctricos), con lo que se aumenta ductilidad, maleabilidad y resistencia al desgaste de estos metales. Otra aleación importante de cadmio con el plomo, el zinc y el bismuto, llamada aleación de Wood, que se utiliza para la fabricación de fusibles y cortocircuitos eléctricos y térmicos de seguridad.
- Una mezcla de sulfuro de cadmio y de zinc, fluorescente, se utiliza como trazador atmosférico
- Tambien el cadmio se encuentra a menudo como contaminante en los abonos fosfatados y en los sedimentos de los incineradores utilizados también como abonos

- Y además de hallarse en algunos alimentos, el cadmio se encuentra también en el humo del tabaco.

2.4.2.2 Efectos

Este metal puede ser absorbido por vía respiratoria y digestiva. Y se acumula en pulmones, riñón, hígado, páncreas, glándula tiroides, testículos y glándulas salivares. Su eliminación puede ser por la orina o vía intestinal, pero sin embargo se trata de una eliminación lenta. Se dice que la vida media del cadmio en el organismo es mayor de 10 años.

Sus efectos tóxicos son, a la vez, irritante local y tóxica general. La acción irritante sería responsable de los incidentes agudos de la intoxicación; se ejerce sobre la mucosa nasal, el árbol respiratorio y el tubo digestivo. La acción tóxica general se manifiesta principalmente sobre la función renal y los tejidos pulmonar y óseo.

2.4.3 Cobre²

2.4.3.1 Generación

Es uno de los más abundantes como fuentes se puede nombrar a las industrias metalúrgicas, procesos de refinado, centrales térmicas y en cualquier proceso que se empleen combustibles fósiles. Puede encontrarse en altas concentraciones en agua, en las biotas en algunas áreas localizadas de las actividades mineras.

2.4.3.2 Efectos

A pesar de que el cobre es un oligoelemento necesario para la vida, unos niveles altos de este elemento en el organismo pueden ser dañinos para la salud. La inhalación de niveles altos de cobre puede producir irritación de las vías respiratorias. La ingestión de niveles

altos de cobre puede producir náuseas, vómitos y diarrea. Un exceso de cobre en la sangre puede dañar el hígado y los riñones, e incluso causar la muerte.

En los animales superiores, los daños cerebrales, se relacionan por envenenamiento con cobre. Ingerir por vía oral una cantidad de 30 g de sulfato de cobre es potencialmente letal en los humanos.

2.4.4 Cromo².

2.4.4.1 Generación

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial.

El cromo metálico, que es la forma de cromo (0), se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera.

2.4.4.2 Efectos

El cromo se absorbe por vía digestiva, respiratoria y cutánea, pues este tóxico posee una gran afinidad por las proteínas orgánicas, a las que se fija formando compuestos muy estables. Se fija también a los eritrocitos, aunque no tiene selectividad acumulativa para el pulmón. Se elimina muy lentamente por la orina. Entre las patologías de cromo más comunes tenemos:

Cuadros respiratorios: La acción irritante de sales de cromo puede provocar cuadros inflamatorios de las vías respiratorias, con dolor faríngeo, tos, sensación dolorosa y broncoespasmo. También se pueden producir reacciones alérgicas con cuadros de asma bronquial.

Acción Cancerígena: se ha demostrado, sin lugar a dudas, la acción cancerígena del cromo y sus compuestos. La localización de estos cánceres se produce sobre todo en el pulmón por la acción de los cromatos y dicromatos alcalinos: cromato de calcio y estroncio, en primer lugar, y más secundariamente el cromato de plomo, el ácido crómico, etc. El cromato de zinc sería un potencial cancerígeno gástrico.

2.4.5 Níquel²

2.4.5.1 Generación

El níquel es un elemento natural muy abundante. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado que puede combinarse con otros metales, tales como el hierro, cobre, cromo y zinc para formar aleaciones. Estas aleaciones se usan para fabricar monedas, joyas, y artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable.

Los compuestos de níquel se usan en niquelado, para colorear cerámicas, para fabricar baterías y como catalizadores, que son sustancias que aceleran las reacciones químicas. El níquel se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas.

2.4.5.2 Efectos

El níquel es un micronutriente, sin embargo cantidades excesivas pueden ejercer efectos tóxicos. La absorción de este elemento y sus compuestos es por vía respiratoria, teniendo un efecto de carcinogénesis; el níquel carbonilo puede causar cáncer pulmonar y de fosas nasales.

2.4.6 Plomo²

2.4.6.1 Generación

El plomo es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles.

El plomo tiene muchos usos diferentes. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. La cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años. El uso del plomo como aditivo para gasolina se prohibió el año 1996 en Estados Unidos.

2.4.6.2 Efectos³

La toxicidad del Plomo puede ser muy aguda y ampliamente conocida, debido al pequeño tamaño de sus partículas, que fácilmente pueden ingresar a los pulmones. Se pueden distinguir tres claras fuentes de intoxicación, siendo estas:

- *Plomo metal*. Es tóxico cuando se funde a temperaturas próximas a los 500 °C ya que los vapores emitidos, posiblemente penetran en las vías respiratorias alcanzando fácilmente los alvéolos.
- *Derivados inorgánicos*. Son por lo general solubles, de los que se destacan:
 - *Óxidos*. El *minio* (Pb_2O_4) u óxido de plomo rojo, base de las pinturas anticorrosivas; el *litargirio* (PbO) o protóxido de plomo, y el bióxido de plomo (PbO_2).
 - *Cromato de plomo*, utilizado como colorante amarillo.
 - *Arseniato de plomo*, base de insecticidas.
 - *Carbonato de plomo o galena*, se lo encuentra de forma natural; es insoluble.
 - Otras sales. El *sulfato de plomo* o blanco de Mulhouse y el *antimoniato de plomo* o amarillo de Nápoles.
 - *Derivados orgánicos*. Son muy empleados en la industria, y pueden ser:
 - *Acetato de plomo* o sal de Saturno: es soluble y el único que produce intoxicaciones agudas por vía digestiva.
 - *Tetraetilo de plomo* es un antidetonante que se adicionaba a la gasolina para aumentar su capacidad de compresión, elevando así su rendimiento. Actualmente es prohibido su uso por sus riesgos toxicológicos.
 - *Estearato de plomo*, usado para dar estabilidad y consistencia al plástico.
 - *Naftenato de plomo*, es un componente de numerosos aceites y grasas de uso industrial.

Este metal puede ingresar a nuestro organismo por vía respiratoria, de mayor importancia en el medio laboral debido a que las partículas se inhalan por humos, vapores y polvos, y así también el plomo urbano que está presente en el tráfico (Fernández, 2001). Estas

partículas al ser bien pequeñas, penetran sin dificultad hasta los alveolos pulmonares donde pueden quedar retenidas.

2.4.7 Zinc²

2.4.7.1 Generación

Tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como el latón y bronce.

Algunos compuestos comunes de zinc que se encuentran en sitios de desechos peligrosos incluyen al cloruro de zinc, óxido de zinc, sulfato de zinc y sulfuro de zinc. Los compuestos de zinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas y ungüentos.

2.4.7.2 Efectos

Un efecto es la fiebre del zinc se produce por exposición directa a vapores del elemento, sus consecuencias son escalofríos, fiebre y náuseas.

2.5 MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN (HVS).

Los métodos de muestreo de los contaminantes atmosféricos se pueden dividir en dos grandes grupos que son: métodos continuos y discontinuos. Los métodos continuos implican la captación y análisis del contaminante en el punto de muestreo, de forma continua y automática, mientras que los métodos discontinuos suponen la captación del

² Fernández A., 2001

³ Lauwerys R, 1994

contaminante en el punto de muestreo y su posterior transporte hasta el laboratorio, donde se realizará el análisis.

Los equipos de alto volumen tienen un caudal de 10 – 60 m³/hora. El muestreador de aire de alto volumen puede contener dispositivos que separan las partículas grandes de las pequeñas y se colocan en el equipo de muestreo de manera que el aire pasa por el dispositivo antes de atravesar el filtro. De esta manera se separan las partículas que exceden el diámetro especificado. Permiten determinar las fracciones de partículas PM10 y PM 2,5. (Orozco, C, 2002)

2.6 **NORMATIVA LEGAL EXISTENTE**

2.6.1 **Normativa para PTS en aire.**

La Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, en la sección 4.1.2 *Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente*, establecido en el Libro VI, Anexo 4 del **Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria**, define que:

4.1.2.2 *Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.*

4.1.2.3 *Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:*

$$C_c = C_o * \frac{760\text{mmHg}}{P_b\text{mmHg}} * \frac{(273 + t^{\circ}\text{C})^{\circ}\text{K}}{298^{\circ}\text{K}}$$

donde:

C_c : concentración corregida

C_o : concentración observada

P_{bl} : presión atmosférica local

$t^{\circ}C$: temperatura local

En la sección 4.1.2.1 *“Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.*

Material particulado menor a 10 micrones (PM10).- El promedio aritmético de la concentración de PM₁₀ de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 µg/m³), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.”

Así mismo esta sección define los siguientes niveles de concentración máxima permitida para los contaminantes más comunes del ambiente atmosférico:

Cuadro 1: Niveles críticos de contaminación, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a temperatura de 25 °C y

1 atm de presión

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de carbono, concentración promedio en 8 horas	15000	30000	40000
Ozono, concentración promedio en una hora.	300	600	800
Dióxido de Nitrógeno concentración promedio en una hora.	1200	2300	3000
Dióxido de azufre, concentración promedio en 24 horas.	800	1600	2100
Material Particulado PM10, concentración promedio en 24 horas.	250	400	500

(Fuente: TULAS).

La Norma ecuatoriana de calidad del aire define que: “la concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ”.

La sección 4.1.4 *De los métodos de medición de los contaminantes comunes del aire ambiente*. En Referencia a la EPA40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M. determina el siguiente método de muestreo:

Cuadro 2. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE.

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
<p>Material</p> <p>Particulado PM10</p>	<p>Nombre: Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal.</p> <p>Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.</p> <p>Descripción: el equipo muestreador, de alto caudal o de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 10 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 10 micrones serán captadas en un filtro, de alta eficiencia, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas.</p> <p>Métodos Alternos: podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, tanto del tipo Microbalanza Oscilante como el tipo Atenuación Beta. En el primer caso, el equipo muestreador, equipado con entrada aerodinámica PM10, posee un transductor de masa de las oscilaciones inducidas por el material particulado. En el segundo tipo, el equipo muestreador, con entrada PM10, contiene una fuente de radiación beta que determina la ganancia de peso en un filtro, a medida que este experimenta acumulación de partículas.</p>

(Fuente: TULAS)

Cuadro 3: Norma nacional para la calidad del aire y guía global de la OMS en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Período de muestreo	Guía de la OMS ^a	Norma Técnica de Calidad del Aire Ecuatoriana ^b
PM10	24 horas	50	150
	Anual	20	50

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010)

a: Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, actualización mundial 2005.

b: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del aire ambiente.

2.6.2 Normativa para metales en aire.

Cuadro 4: Guía global de la OMS para el plomo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Período de muestreo	Guía de la OMS ^a	Norma Técnica de Calidad del Aire Ecuatoriana
Plomo	Anual	$1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010)

a : Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, actualización mundial 2005.

3. METODOLOGIA

3.1 MEDICIÓN DE PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS EN EL AIRE.

Para la toma de muestras se utilizó la técnica de alto volumen y filtros apropiados para la recolección de partículas suspendidas en la atmosfera urbana del sector seleccionado. El dispositivo para la captación de las muestras de aire es un muestreador de alto volumen (Hi-vol air samplers) marca Thermo Andersen G991 operado con un flujo entre 1,0 y 1,3 m³/minuto durante 12 horas, medidos a 1 atmósfera y 25 °C. Se emplearon filtros de fibra de vidrio Ederol MGA/1 de 203mm x 254 mm y grosor de 0.22mm, previamente acondicionados para el análisis de PTS en las seis muestras de aire.

3.1.1 Equipo de muestreo.

El muestreador HVS tiene una bomba de succión que genera flujos entre 1,0 y 1,3 m³/minuto durante 12 horas, medidos a 1 atmósfera y 25 °C. Consta de un dispositivo para colocar el filtro, en el cual quedan retenidas las partículas durante el muestreo, la velocidad de flujo de aire muestreado y la geometría del muestreador, permiten coleccionar partículas hasta 50 µm de diámetro, como se muestra en la figura 3 Anexo 2.

3.1.2 Calibración del equipo.

La calibración del equipo está asociada al trabajo o desempeño del mismo, tomando en cuenta los flujos de aire del muestreador, mediante el manómetro con la columna de agua; se regula la diferencia de presión recomendada (2.4 - 2.9 pulgadas), la misma que fue establecida en base a la curva de calibración proporcionada por la CORPAIRE (Anexo 3), y que corresponde a la ecuación lineal:

$$Y = 0,32x + 0,312 \quad (1)$$

donde: Y Caudal en (m³/min)

Con la variación de las presiones registradas (ΔP) en el muestreo, se reemplaza en la fórmula por la variable x , y se obtiene el caudal de aire muestreado Y .

3.1.3 Procedimiento de preparación de los filtros previo al muestreo.

- Chequear visualmente fallas en los filtros.
- Rotular.
- Acondicionar dentro del desecador durante 24 horas antes del muestreo.
- Registrar los pesos iniciales de los filtros.

3.1.4 Procedimiento para el muestreo de Aire.

- Instalar el filtro en el muestreador (HVS)
- Conectar el muestreador HVS durante doce horas.
- Registrar información de campo, (filtro, fecha, hora de inicio, hora de cierre, condiciones de tráfico, presión inicial, presión final)
- Al cabo de las doce horas de muestreo, se retiró cuidadosamente el filtro, doblándolo de modo que se hallen en contacto solo las superficies expuestas.
- Previo al análisis del laboratorio, el filtro se acondicionó durante 24 horas.
- Una vez acondicionado el filtro, se registra el peso final del filtro con PTS (Cuadro 6).

3.2 DIGESTIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS.

Este método nos sirve para remover (oxidar) la materia orgánica, y solubilizar los cationes a partir de todas las formas presentes.

3.2.1 Procedimiento de digestión química de las muestras.

- Tomar la cuarta parte del filtro con el material particulado.
- Dividir esta parte en pedazos de aproximadamente 1 cm^2 y trasladar a un vaso de precipitación de 100 ml.
- Adicionar 50 ml de mezcla ácida de ácido nítrico más ácido perclórico (HNO_3 - HClO_4) relación 3:1.
- El vaso y su contenido, someter a calentamiento ($140\text{ }^\circ\text{C}$) en una placa eléctrica, (Figura 5, Anexo 2), hasta que el volumen se reduzca a 10 ml aproximadamente.

3.3 MEDICIÓN DE METALES EN LAS MUESTRAS PREPARADAS.

Mediante el uso de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca PERKIN Elmer A 200, se tomó las lecturas de las concentraciones de cada muestra generada en el muestreo de aire del sector seleccionado según el procedimiento 3.3.1.

3.3.1 Procedimiento de medición de la concentración de metales.

- Preparar las curvas de calibración para cada metal utilizando una solución patrón de 1000 mg/L, y preparando las diluciones recomendadas en cada caso, según el rango de trabajo óptimo.
- Realizar las lecturas de las concentraciones para cada muestra y registrar los resultados en $\mu\text{g/L}$. (Cuadro 7).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS.

En la recolección de las seis muestras de aire, se tomó en cuenta las condiciones de tráfico del sitio de muestreo para determinar su incidencia en los días muestreados. Dentro del desarrollo del proyecto también existió el cierre parcial del túnel por mantenimiento.

Cuadro 5: Condiciones de tráfico del sitio de muestreo.

Muestra N°	Día de la semana	Condiciones del Tráfico
1	Viernes	Normal
2	Viernes	Normal
3	Miércoles	Cierre parcial del Túnel
4	Miércoles	Cierre parcial del Túnel
5	Sábado	Normal, Túnel Rehabilitado
6	Viernes	Normal, Medida Pico y Placa.

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

El material particulado se determinó de la diferencia entre el peso final del filtro y el peso inicial del mismo, expresado en gramos.

Cuadro 6. Material particulado en las muestras de aire.

Muestra	Peso Inicial Filtro Acondicionado (g)	Peso Final Filtro (g)	Peso Material Particulado (g)	ΔP^a (pulgadas)	Volumen de Aire (m ³)
1	3,9520	4,0749	0,1229	2,7	835.20
2	3,9285	4,1666	0,2381	2,9	892.80
3	3,9394	4,0230	0,0836	2,8	869.76
4	3,9572	4,0476	0,0904	2,9	881.28
5	3,9485	4,1228	0,1743	2,7	835.20
6	3,9399	4,1431	0,2032	2,8	858.24

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

Cuadro 7. Concentración de metales (Lecturas directas en el espectrofotómetro de Absorción Atómica).

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ba	11,23	5,77	17,97	12,45	11,59	11,11
Cd	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	ILD
Cr	0,33	0,30	1,17	0,02	0,17	0,62
Cu	0,57	0,55	0,50	1,36	0,34	0,43
Ni	1,30	0,46	0,23	1,38	0,10	0,11
Pb	8,58	7,65	5,00	6,68	4,52	4,40
Zn	2,29	3,66	6,90	5,14	3,44	3,51

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

ILD: Inferior al límite de detección por el método empleado.

a: Variación de presión de trabajo del equipo

4.2 DISCUSIÓN

4.2.1 Cálculo de concentración de partículas totales en suspensión.

- Para determinar el *caudal de aire*, se utilizó la ecuación 1
- Multiplicamos el caudal del aire por el tiempo de recolección de la muestra (minutos) para obtener el *volumen de aire muestreado*.

$$V = Y * t \quad (2)$$

donde:

- V volumen de aire (m³)
- Y caudal o flujo de aire (m³/min)
- t tiempo de recolección de la muestra (minutos)

- Finalmente, se obtuvo los PTS presentes en la muestra, determinando la diferencia de los pesos iniciales y finales de los filtros utilizados (cuadro 6.), y dividiendo para el volumen de aire muestreado, como muestra la ecuación (3).

$$[Co]PTS = \frac{(Pf - Pi) \times 10^6}{V} \quad (3)$$

donde:

- PTS partículas totales en suspensión (µg/m³)
- Pf peso filtro final (g)
- Pi peso inicial filtro acondicionado (g)
- V volumen de aire (m³)

- Los valores de concentración de PTS se corrigieron a condiciones estándar de temperatura (298 °K) y presión atmosférica de (760 mmHg), de acuerdo a la norma ecuatoriana de calidad del aire, en la sección 4.1.2.3 siendo:

$$[Cc]PTS = \frac{[Co]PTS \times P_2 \times T_1}{P_1 \times T_2} \quad (4)$$

donde:

[Cc]PTS	concentración de PTS corregida (µg/m ³)
[Co]PTS	concentración de PTS observada (µg/m ³)
P ₂	presión atmosférica a C.E. (mmHg)
T ₂	temperatura a C.E. (°K)
P ₁	presión local del sitio (mmHg)
T ₁	temperatura local del sitio (°K)

Ejemplo: Las ecuaciones 3 y 4, tomando los valores de la muestra 3 (cuadro 6),

donde:

P _f = 4.0230 (g)	P _i = 3.9394 (g)	V = 869.76 (m ³)
P ₁ = 546 mmHg	T ₁ = 293°K	P ₂ = 546 mmHg
T ₂ = 298°K		

$$[Co]PTS = \frac{(P_f - P_i) \times 10^6}{V} \quad (3)$$

$$[Co]PTS = \frac{(4.0230 - 3.9394) \times 10^6}{869.76}$$

$$[Co]PTS = 96.12 \mu g / m^3$$

$$[Cc]PTS = \frac{[Co]PTS \times P_2 \times T_1}{P_1 \times T_2} \quad (4)$$

$$[Cc]PTS = \frac{96.12 \times 760 \times 293}{546 \times 298}$$

$$[Cc]PTS = 131.5 \mu g/m^3$$

Cuadro 8. Concentración de PTS.

Muestra N°	PTS Corregido ($\mu g/m^3$)
1	201
2	364
3	131
4	140
5	285
6	323

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

4.2.2 Cálculo de la concentración de metales pesados.

- Las concentraciones de metales se calcularon multiplicando la lectura de la concentración del metal en el Espectrofotómetro por los mililitros del extracto ácido, y dividiendo para el volumen de aire que atravesó el filtro, por la fracción que representa el extracto en la muestra total, tenemos:

$$[C \text{ metal}] \mu g/m^3 = \frac{L \times V_e}{V \times F} \quad (5)$$

donde:

L lectura original del metal en el EAA ($\mu g/ml$)

Ve volumen del extracto ácido (ml)

F fracción de la muestra total (1/4 del filtro completo = 0.25)

V volumen de aire (m³)

- Los valores de concentración de metales se corrigieron a condiciones estándar de temperatura (298 °K) y presión atmosférica de (760 mmHg), de acuerdo a la norma ecuatoriana de calidad del aire, en la sección 4.1.2.3 siendo:

$$[Cc]_{metal} = \frac{[C]_{metal} \times P_2 \times T_1}{P_1 \times T_2} \quad (6)$$

donde:

[Cc]metal concentración de metales corregida (µg/m³)

[C]metal concentración de metales (µg/m³)

P₂ presión atmosférica a C.E. (mmHg)

T₂ temperatura a C.E. (°K)

P₁ presión local del sitio (mmHg)

T₁ temperatura local del sitio (°K)

Ejemplo: Tomamos el valor del Cobre de la muestra 3 (cuadro 7) en donde:

L= 0.50 µg/ml

V= 869.76 m³

$$[C_{metal}] \mu g / m^3 = \frac{L \times V_e}{V \times F} \quad (5)$$

$$[Cu] \mu g / m^3 = \frac{0.50 \times 10}{869.76 \times 0.25}$$

$$[Cu] \mu g / m^3 = 0.0229$$

$$[Cc]_{metal} = \frac{[C]_{metal} \times P_2 \times T_1}{P_1 \times T_2} \quad (6)$$

$$[Cc]_{metal} = \frac{0.0223 \times 760 \times 293}{546 \times 298}$$

$$[Cc]_{metal} = 0.03 \mu g / m^3$$

Cuadro 9. Concentración de metales en las muestras de aire en (ng/m^3).

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ba	736	353	1131	773	759	709
Cd	3	2	1	2	3	<i>ILD</i>
Cr	22	18	74	1	11	40
Cu	37	34	31	84	22	27
Ni	85	28	14	86	7	7
Pb	562	469	315	415	296	281
Zn	150	224	434	319	225	224

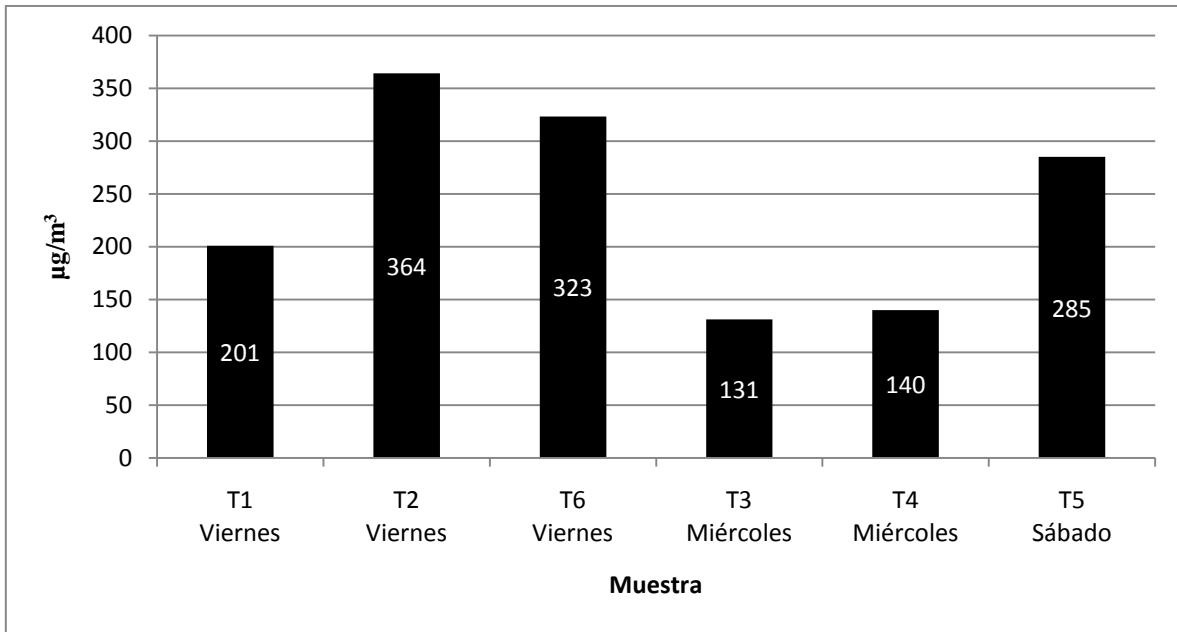
(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

Cuadro 10. Resumen de datos y valores estadísticos para PTS ($\mu g/m^3$) y metales (ng/m^3)

Medición	MUESTRA						Min	Max	Promedio	Percentil 90
	T1	T2	T3	T4	T5	T6				
PTS	201	364	131	140	285	323	131	364	241	344
Ba	736	353	1131	773	759	709	353	1131	744	952
Cd	3	2	1	2	3	<i>ILD</i>	1	3	3	3
Cr	22	18	74	1	11	40	1	74	28	57
Cu	37	34	31	84	22	27	22	84	39	61
Ni	85	28	14	86	7	7	7	86	38	85
Pb	562	469	315	415	296	281	281	562	390	516
Zn	150	224	434	319	225	224	150	434	263	377

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

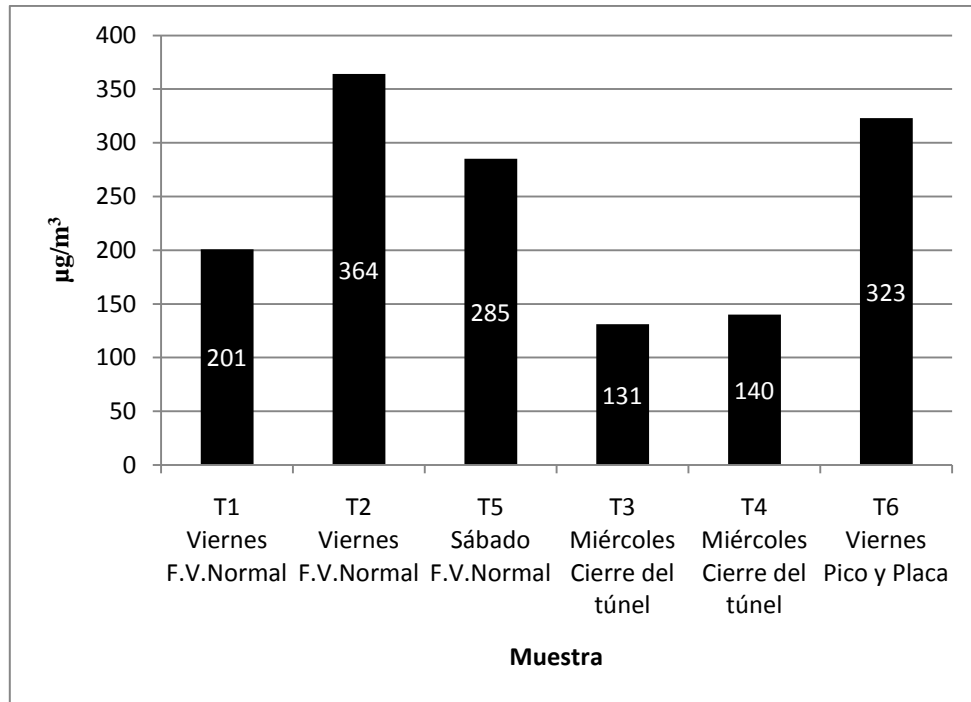
ILD: Inferior al límite de detección por el método empleado.



(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

Gráfico 1. Concentración de PTS en las muestras de aire con su día de la semana.

- La Muestra T5, fue tomada un día sábado (cuadro 5), su concentración es de 285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que resulta ciertamente “alta”; esto puede atribuirse a que existe gran actividad comercial en la zona, y también al paso de transporte interprovincial.
- La concentración promedio de PTS es, 241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 10). Al comparar con la norma técnica de calidad del aire (cuadro 1), indica un nivel cercano a alerta, hay que tomar en cuenta que la norma rige para material particulado muestreado en 24 horas.
- El percentil 90 corresponde a 344 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto significa que, los valores esperados para PTS serán iguales o menores a esta cifra.



F.V.: Flujo Vehicular.

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

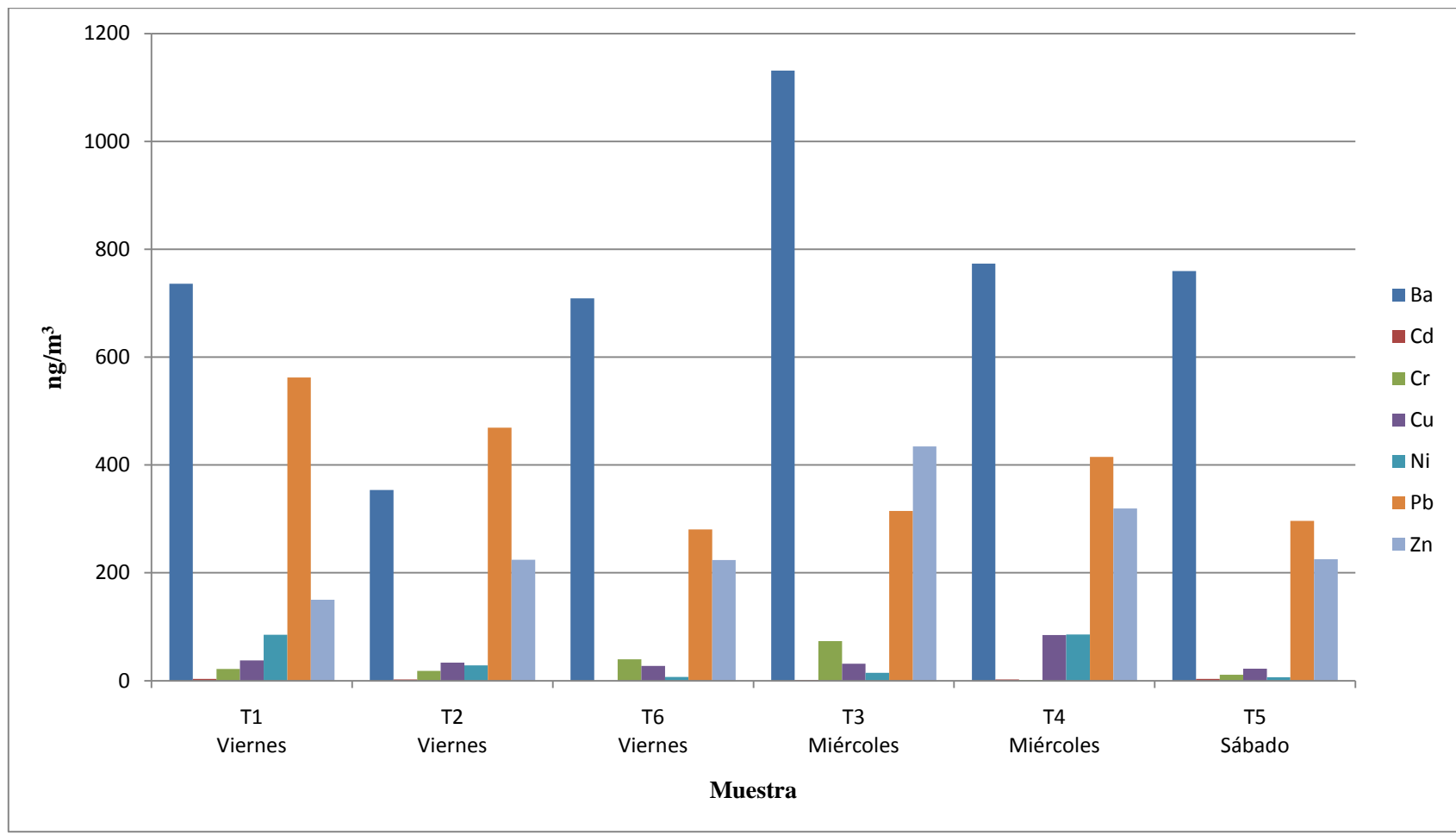
Gráfico 2: Concentración de PTS y condiciones de flujo vehicular.

- Además del cierre parcial de túneles, en la ciudad de Quito se implementó como medida de restricción de la movilidad, el denominado “pico y placa”, que consiste en, el impedimento de circular de acuerdo último dígito de placa, durante los horarios picos establecidos entre: 7:00 a 9:30 h. y de 16:00 a 19:30 h.
- Las Muestras T3 y T4 presentan una menor concentración de PTS, ya que el flujo vehicular fue interrumpido por un cierre parcial de túneles para su mantenimiento, razón por la cual, disminuyó el flujo vehicular, en al menos el 50 %, permitiéndose el paso exclusivo de transporte escolar, transporte público, y taxis. Mientras las obras se llevaban a cabo en un sentido de circulación del túnel, el sentido contrario quedaba para el uso exclusivo del tipo de transporte mencionado (Anexo 2, Figura 4).

- La concentración más alta fue la muestra T2, del viernes 29 de enero del 2010 con una concentración de $364 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuadro 8), esto tiene relación con el hecho de que el dato fue tomado antes del cierre de túneles con flujo vehicular normal.

Para efectos del proyecto, la Muestra T6 (Cuadro 5), fue tomada el día viernes, en el cual se aplicaba la modalidad “pico y placa”.

- Al comparar los tres viernes muestreados, cuyo promedio es de $296 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con la muestra T5 del sábado que es de $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cuadro 8). Podemos observar que son prácticamente iguales; hemos excluido el día miércoles debido a que el flujo vehicular disminuyó por el cierre parcial de túneles.

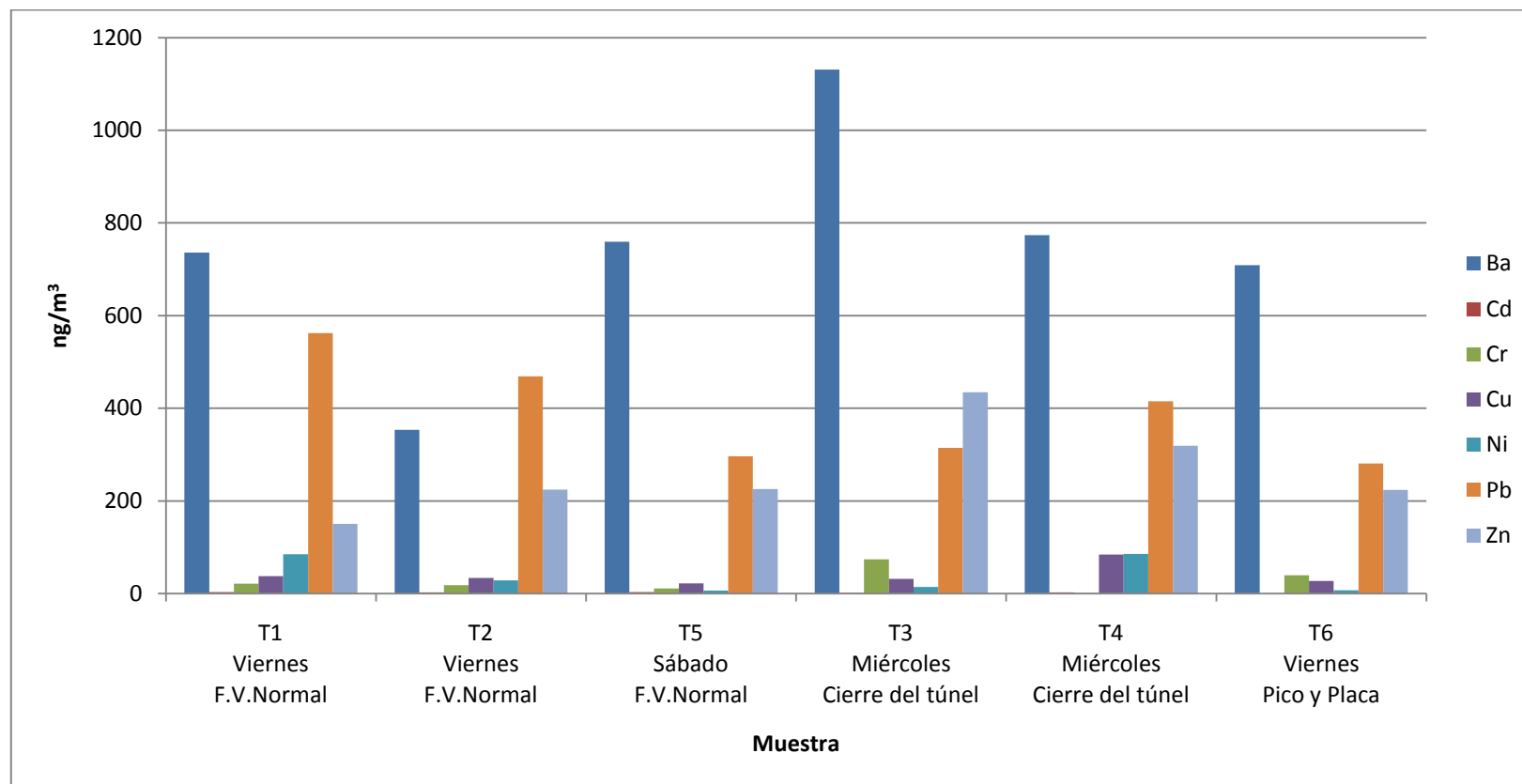


(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

Gráfico 3: Concentración de Metales en muestras de aire con el día de la semana.

- El valor máximo de Bario fue de 1131 ng/m³.El promedio fue 744 ng/m³ y el mínimo fue 353 ng/m³.
- El percentil 90 corresponde a 952 ng/m³, esto significa que, los valores esperados de bario serán iguales o menores a esta cifra.
- La presencia de bario en las muestras de aire estaría originada en residuos de lubricantes utilizados en los vehículos.
- El valor máximo de Cadmio fue de 3 ng/m³.El promedio fue 3 ng/m³ y el mínimo fue 1 ng/m³. Constituye la menor concentración en las muestras de aire.
- El percentil 90 corresponde a 3 ng/m³, esto significa que, los valores esperados de cadmio serán iguales o menores a esta cifra.
- El máximo valor para Cromo fue 74 ng/m³, el promedio fue 28 ng/m³. y el mínimo fue 1 ng/m³.
- El percentil 90 corresponde a 57 ng/m³, esto significa que, los valores esperados de cromo serán iguales o menores a esta cifra.
- El máximo valor para Cobre fue 84 ng/m³, el promedio fue 39 ng/m³ y el mínimo fue 22 ng/m³.
- El percentil 90 corresponde a 61 ng/m³, esto significa que, los valores esperados de cromo serán iguales o menores a esta cifra.
- El máximo valor para Plomo fue 562 ng/m³, el promedio fue 390 ng/m³ y el mínimo fue 281 ng/m³. Lo que implica que existe una presencia de plomo en la zona de estudio, y está relacionado con la quema de combustibles fósiles.

- El percentil 90 para Plomo corresponde a 516 ng/m^3 , esto significa que, los valores esperados de plomo serán iguales o menores a esta cifra.
- El máximo valor para Níquel fue 86 ng/m^3 , el promedio fue 38 ng/m^3 . y el mínimo fue 7 ng/m^3 .
- El percentil 90 para Níquel corresponde a 85 ng/m^3 , esto significa que, los valores esperados de níquel serán iguales o menores a esta cifra.
- El máximo valor para Zinc fue 434 ng/m^3 , el promedio fue 263 ng/m^3 . y el mínimo fue 150 ng/m^3 .
- El percentil 90 para Zinc corresponde a 377 ng/m^3 , esto significa que, los valores esperados de zinc serán iguales o menores a esta cifra.



F.V.: Flujo Vehicular

(Elaborado por: Fernando Palacios, 2010).

Grafico 4: Concentración de Metales con las condiciones de flujo vehicular.

- En las muestras T3 y T4 la concentración de zinc es alta, y corresponde al día en que se produce el cierre parcial del túnel, para realizar obras de mantenimiento; esto podría ser la razón para registrar su alta concentración.

Para las muestras T5 y T6 existe una disminución de la concentración respecto al mismo metal.

- En la Muestra T6 el flujo vehicular disminuye por la medida “pico y placa”, la concentración de plomo también disminuye mientras que, la Muestra T1 presenta la mayor concentración de plomo, dicha muestra fue realizada antes del cierre parcial del túnel en donde el flujo vehicular fue normal.
- La muestra T3 contiene la mayor concentración de cromo, esta muestra fue tomada durante el cierre parcial del túnel en donde el flujo vehicular se redujo, y se efectuaron actividades de mantenimiento y construcción.
- En la muestra T3 tomada durante el cierre parcial del túnel, registra la mayor presencia de bario en el material particulado, este hecho puede estar ligado a que, el bario es un componente de los pigmentos en pinturas y en otros productos de construcción, que fueron utilizadas cerca al punto de muestreo seleccionado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

- La concentración de PTS presenta una condición de proporcionalidad respecto al flujo vehicular en el sitio de muestreo.
- En lo referente a la concentración de metales, el cierre parcial de túneles no se evidencia como un factor relevante para su disminución.
- La concentración de PTS en la atmosfera urbana del sitio de muestreo escogido, es claramente superior en los días que tienen flujo vehicular normal, comparado con los días que hubo restricción vehicular por cierre parcial del túnel o por la modalidad “pico y placa”.
- Los valores de PTS obtenidos son bastante similares entre ellos, ya que si bien, el día viernes existe mayor flujo vehicular, este está compuesto en su mayoría por vehículos livianos y transporte público, en cambio el sábado, el flujo vehicular es menor, pero se registra la circulación de transporte interprovincial pesado que emite mayor cantidad de material particulado.
- La concentración del metal Bario es la más alta en relación al resto de metales analizados en el presente trabajo, posiblemente se deba al residuo utilizado en lubricantes de vehículos, aunque lo dicho tendría que someterse a confirmación.
- El valor de la concentración de los metales no pudo ser comparada adecuadamente con la normativa ambiental disponible, ya que el presente trabajo constituye un caso específico de muestreo sobre las concentraciones puntuales reales de los mencionados metales.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se deberían realizar muestreos bajo diferentes condiciones meteorológicas, para conocer la verdadera influencia de las precipitaciones en la concentración del material particulado atmosférico.
- Se debería realizar mediciones de PM10 y PM2.5 para determinar qué tipo de partículas están presentes y en qué cantidad, por lo tanto se podría tener mayor información del tamaño del material particulado más abundante ya que el punto de muestreo corresponde a zona habitada.
- Realizar un muestreo continuo por 24 horas, para poder comparar con la legislación vigente disponible. También para confirmar que las concentraciones, ya sean de PTS o de metales, puedan ser similares o diferentes durante todo un día.
- Realizar muestreos durante toda la semana a fin de evaluar el efecto del “día de la semana” en la concentración de los contaminantes.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Atlas Ambiental*, Distrito Metropolitano de Quito, 2008.
- **Ayora C. y otros**, *Los sistemas terrestres y sus implicaciones mediambientales*, Ministerio de Educación y Ciencia, España, 2004.
- **Boubel, R.**, *Fundamentals of air pollution*, Academic Press, San Diego, 1994.
- **Celis, J.**, *Aspectos generales de la contaminación atmosférica por material particulado*, Universidad e Concepción, Chile.
- **Domenech, X.**, *Química Atmosférica. Origen y efectos de la contaminación*, Miraguano Editores, Madrid, 1995.
- **Fernández A.**, *Especiación Química y Física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla*, Universidad de Sevilla, 2001.
- *Gran Diccionario Enciclopédico Visual*, Edición 2003.
- **Jiménez, B.**, *La contaminación ambiental en México*, editorial Limusa, 2002.
- **Kiely, G.**, *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, Mc. Graw-Hill, 1999.
- **Lauwerys, R.**, *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*, Masson, España, 1994, página 201.
- **Lodge, J.**, *Methods of air sampling and analysis*, CRC Press, 3rd edition, 1988, página 430.

- **Manahan, S.**, *Introducción a la Química Ambiental*, Reverté ediciones, México 2007.
- **Marr, I.L., Cresser, M.S., Gómez Ariza, J.L.**, *Química analítica del medio ambiente*. Universidad de Sevilla, Sevilla, 1989.
- **Menéndez, F.**, *Higiene industrial: manual para la formación del especialista*, Editorial Lex Nova, 2006.
- **Naciones Unidas**, *Lista Consolidada de los productos cuyo consumo o venta han sido prohibidos, retirados, sometidos a restricciones rigurosas o no han sido aprobados por los gobiernos*, PRODUCTOS QUÍMICOS, Novena Edición, 2004.
- **Orozco, C. y otros**, 2003. *Contaminación ambiental: una visión desde la química*, Thomson editores, Madrid.
- **Préndez, M.**, *Características de los contaminantes atmosféricos*. Santiago de Chile, 1993.
- **Puigcerver, M.**, *El medio atmosférico: meteorología y contaminación*, Universitat de Barcelona, 2008, página 43.
- **Trujillo, C.**, *MONITOREO DE PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS Y METALES PESADOS EN EL AIRE DE LA PARROQUIA LIMONCOCHA*, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2006.
- **Villacis, V.**, *MONITOREO DE LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO Y OZONO TROPOSFÉRICO EN SITIOS DE ALTO FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE QUITO*, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2006.

ANEXO 1: MAPA DEL SITIO



Imagen satelital tomada de Google Earth (maps.google.com/)

Barrio: El Tejar

Parroquia: Santa Prisca

ANEXO 2: ANEXO FOTOGRÁFICO.

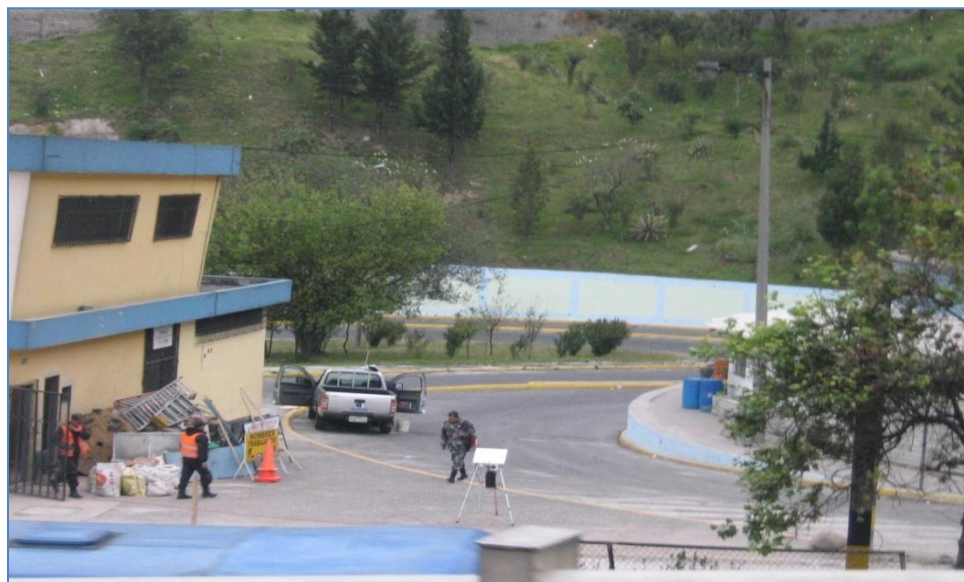


Figura #2, Vista Norte – Sur del sitio de muestreo.



Figura 3. Hi-Vol Sampler



Figura 4: Vista posterior del sitio de muestreo.



Figura 5 *Digestión Ácida* - Muestras en la placa eléctrica.

ANEXO 3: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

SEK PTS	
CONDITIONS	
Corrected Pressure (mm Hg):	544
Temperature (deg K):	293

CALIBRATION ORIFICE	
Slope:	0.99514
Intercept:	-0.02180

CALIBRATION					LINEAR REGRESSION	
Plate or Test #	P Calibrador (in)	Qa (m3/min)	P equipo (in)	Pcorregida	m	b
			6.5			
1	0.60	0.593	1.00	0.73	2.283226953	-0.705383139
2	1.40	0.895	1.70	1.25	0.102270408	0.122394161
3	2.00	1.065	2.30	1.69	0.992038583	0.082981212
4	3.40	1.382	3.25	2.39	498.4231343	4
5	3.85	1.469	3.65	2.68	3.432082699	0.027543526
6	4.00	1.497	3.80	2.79	#N/A	#N/A

	X	Q(m3/min)
P trabajo actual	1.50	0.79
P trabajo correguir	2.40	1.08
	2.90	1.24

