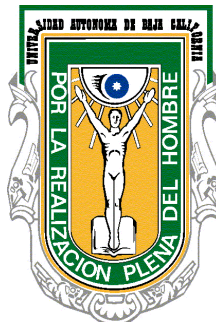


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO Y  
METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN CALLES DE  
LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**I.Q. ANALY QUIÑONEZ PLAZA**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. FERNANDO T. WAKIDA KUSUNOKI**

CO-DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ENRIQUE GARCÍA FLORES**

**Universidad Autónoma de Baja California**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**  
**COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FOLIO No. 151

Tijuana, B. C., a 10 de agosto de 2015

C. Analy Quiñonez Plaza  
Pasante de: Maestro en Ciencias  
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la  
Opción TESIS

Es propuesto, por los C. Dres. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki y Enrique  
García Flores

Quiénes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente,  
referido al tema: “EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES DE  
PETRÓLEO Y METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN CALLES  
DE LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C.”

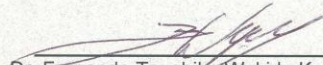
el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

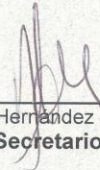
- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- MARCO TEORICO
- III.- DESCRIPCION DE SITIOS DE MUESTREO
- IV.- METODOS
- V.- RESULTADOS Y DISCUSION
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- REFERENCIAS
- VII.- ANEXOS


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS E INGENIERÍA

  
Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki  
Director de Tesis

  
Q. Noemi Hernández Hernández  
Secretario

  
Dr. Enrique García Flores  
Co-Director de Tesis

  
Dr. Luis Enrique Palafox Maestre  
Director

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por la confianza que depositaron en mí, por siempre estar para ahí para escucharme y creer tanto como yo en que cuando se quiere lograr algo, se puede. Gracias por su apoyo incondicional.

A Luis por apoyarme, quererme y soportarme en las buenas y en las malas, por confiar en mí y en mis metas.

A mi asesor y mentor, Dr. Fernando T. Wakida Kusunoki, por su apoyo, tolerancia, confianza e incondicional apoyo a la realización de este proyecto y por cada día transmitirme nuevas ideas y conocimientos.

A mis hermanos, especialmente a Hebert por mostrarme que no hay límites cuando se trata de crecimiento y por ser un ejemplo a seguir.

A mi familia por estar siempre al pendiente de mí, que a pesar de la distancia me apoyan, en especial a tía Celia por ser un apoyo desde siempre.

A mis ángeles en el cielo, mis abuelos.

A mi familia de posgrado Kenia, Carolina, Héctor, Ayla, Susy, Rita, Victor, Leo, Rafa, Dalia, Miguel Pastrana y Paty. A todos gracias.

A todos los chicos del servicio social, por su disponibilidad y aligerar la carga.

A la Universidad Autónoma de Baja California, en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería mediante el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería y a los maestros que lo integran por transmitir sus conocimientos.

Al Dr. Luis Enrique Palafox Maestre, director de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería.

A CONACYT por la beca No. 360723 otorgada para los estudios de maestría en el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería.

Al Honorable Jurado, por sus aportaciones en la revisión del trabajo final.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, campus Tijuana bajo la dirección del profesor:

Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki

Y la co-dirección del profesor:

Dr. Enrique García Flores

Este trabajo fue apoyado por los recursos otorgados del proyecto No. 3877 dentro de la 16<sup>va</sup> convocatoria interna de apoyo a proyectos de investigación.

# ÍNDICE

	Página
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Resumen.....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	3
1.3. Hipótesis de trabajo.....	4
1.4. Objetivo general.....	4
1.5. Objetivos específicos .....	4
1.6. Organización de la tesis .....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Sedimentos depositados en calles (RDS).....	6
2.1.1. Composición de los sedimentos depositados en calles (RDS) .....	10
2.2. Metales pesados .....	13
2.2.1. Metales pesados en sedimentos de depositados en calles (RDS) .....	15
2.3. Hidrocarburos totales de petróleo (HTP).....	21
2.3.1. Generalidades.....	21
2.3.2. Fracciones de hidrocarburos totales de petróleo.....	24
2.3.3. Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en sedimentos depositados en calles (RDS).....	25
2.4. pH.....	26
2.5. Materia orgánica .....	27
2.6. Textura .....	28
<b>3. DESCRIPCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO</b>	
3.1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio.....	30
3.2. Medio físico .....	31
3.2.1. Clima.....	31
3.2.2. Características y usos de suelo.....	31

3.2.3.	Orografía e hidrografía .....	32
3.3.	Selección de los puntos de muestreo .....	32
3.4.	Descripción de sitios de muestreo de sedimentos depositados en calles y suelos	33

#### **4. MÉTODOS**

4.1.	Muestreo .....	38
4.2.	Análisis de muestras de sedimentos depositados en calles .....	38
4.2.1.	Extracción y purificación de los HTP.....	38
4.2.2.	Tratamiento de las muestras de sedimentos depositados en calles para análisis de mercurio.....	42
4.2.3.	Método de digestión de suelos con grasas y aceites para análisis de metales pesados .....	43
4.2.4.	Análisis de textura de sedimentos depositados en calles .....	44
4.2.5.	Contenido de materia orgánica en sedimentos depositados en calles.....	45
4.2.6.	Análisis de pH de los sedimentos depositados en calles .....	47

#### **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

5.1.	Características fisicoquímicas de sedimentos depositados en calles (RDS).....	48
5.1.1.	pH y materia orgánica.....	48
5.1.2.	Textura de suelo.....	50
5.1.3.	Fracciones de partículas de suelo.....	51
5.2.	Hydrocarburos totales de petróleo (HTP).....	56
5.2.1.	Concentración de HTP en sedimentos depositados en calles .....	56
5.2.2.	Relación entre tamaño de partículas y concentración de HTP .....	57
5.2.3.	Relación entre concentración de HTP y material de construcción .....	60
5.2.4.	Relación entre concentración de HTP y tráfico .....	63
5.2.5.	Relación entre uso de suelo y concentración de HTP.....	65
5.3.	Metales pesados en sedimentos depositados en calles.....	67
5.3.1.	Concentración de metales pesados en sedimentos depositados en calles ...	67
5.4.	Análisis estadístico de metales pesados en sedimentos depositados en calles ....	72
5.4.1.	Correlaciones entre parámetros analizados y metales pesados.....	72
5.4.2.	Índice de geoacumulación .....	74

5.4.3.	Análisis de componentes principales .....	77
5.4.4.	Metales pesados y material de construcción.....	78
5.4.5.	Metales pesados e intensidad de tráfico.....	78
5.5.	Comparación de resultados con otros estudios publicados .....	79
5.5.1.	Comparación de la concentración de HTP con otros estudios publicados .	79
5.5.2.	Comparación de la concentración de metales pesados con otros estudios publicados.....	80
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>85</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>97</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama esquemático de fuentes que conforman los sedimentos depositados en calles.....	7
Figura 2.2. Cascada de sedimentos urbanos, que muestra los caminos de, y los cambios en, partículas de sedimentos urbanos desde su fuente hasta desaparecer.....	9
Figura 2.3. Producción mundial de petróleo.....	22
Figura 2.4. Escala de pH.....	27
Figura 2.5. Diagrama triangular de clasificación de textura de suelos.....	29
Figura 3.1. Localización del municipio de Tijuana.....	31
Figura 3.2. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.....	35
Figura 3.3. (a) Acumulación de sedimentos depositados en calles sitio 4; (b) recolección de sedimento; (c) toma de muestra; (d) sedimento depositado en calles.....	36
Figura 3.4. (a) Vista oeste a este del sitio 7; (b) medios de transporte circulando por el sitio 18; (c) vista de oeste a este sitio 7 con vehículos; (d) sitio 16 .....	37
Figura 4.1. Extracción de HTP con equipo Soxhlet.....	40
Figura 4.2. Curva estándar para cálculo de % de materia orgánica.....	56
Figura 5.1. Porcentaje de materia orgánica y pH de muestras de RDS.....	49
Figura 5.2. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 1 al 5).....	52
Figura 5.3. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 6 al 10).....	53
Figura 5.4. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 11 al 15).....	54
Figura 5.5. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 16 al 20).....	54
Figura 5.6. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 21 al 25).....	55
Figura 5.7. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 26 al 30).....	55
Figura 5.8. Comparativo de concentración de HTP (< 2 mm) por material de construcción.....	62
Figura 5.9. Comparativo de concentración de HTP (< 63 µm) por material de construcción.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Elementos inorgánicos provenientes de vehículos y de su uso.....	17
Tabla 2.2.	Composición del desgaste de neumáticos y frenos.....	18
Tabla 2.3.	Concentraciones de metales pesados en RDS encontrados en diferentes estudios.....	20
Tabla 2.4.	Niveles de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en RDS encontrados en diferentes estudios.....	26
Tabla 3.1.	Distribución porcentual de la población por municipio según sexo.....	30
Tabla 3.2.	Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos depositados en calles....	33
Tabla 3.3.	Descripción de sitios donde se colectaron muestras de suelo de referencia....	37
Tabla 5.1.	Resultados de análisis de pH y materia orgánica en RDS.....	49
Tabla 5.2.	Textura del suelo, material de construcción y tipo de uso de suelo.....	50
Tabla 5.3.	Resultados de cuantificación de HTP en las dos fracciones.....	56
Tabla 5.4.	Resultados de cuantificación de HTP en sitios de referencia.....	57
Tabla 5.5.	Porcentaje de grasa contenido en la fracción más pequeña.....	59
Tabla 5.6.	Concentración de HTP clasificadas por material de construcción.....	60
Tabla 5.7.	Clasificación de intensidad de tráfico de los sitios estudiados.....	63
Tabla 5.8.	Concentración de HTP por uso de suelo de los sitios analizados.....	66
Tabla 5.9.	Concentración de metales pesados en sedimentos depositados en calles.....	68
Tabla 5.10.	Correlación entre los diferentes metales analizados y otros parámetros de los sedimentos depositados en calles.....	73
Tabla 5.11.	Clasificación de índice de geoacumulación y grado de contaminación.....	74
Tabla 5.12.	Valores promedio de los índices de geoacumulación de metales pesados en las muestras y basal de los sedimentos depositados en calles.....	75
Tabla 5.13.	Análisis de componentes principales para metales en sedimentos depositados en calles.....	77
Tabla 5.14.	Comparación de la concentración de HTP en sedimentos depositados en calles de este estudio y los obtenidos en otros estudios.....	80
Tabla 5.15.	Comparación de la concentración de metales pesados en sedimentos depositados en calles.....	81

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizaron muestreos de sedimentos depositados en calles (RDS por sus siglas en inglés) de la ciudad de Tijuana, B.C., con el propósito de evaluar los niveles de contaminantes presentes en éstos. Los contaminantes de estudio fueron los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg y Pb). Para analizar los HTP, las muestras fueron separadas en dos tamaños de partículas: < 2 mm y < 63 µm. La extracción de los HTP se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita en la NMX-AA-134-SCFI-2006 y cuantificados por gravimetría. Los metales pesados fueron analizados mediante un espectrómetro de absorción atómica. Los resultados han confirmado la presencia de éstos contaminantes en los sedimentos de calles de la zona urbana de Tijuana. Se observaron altas concentraciones de HTP en todos los sitios, especialmente en aquellos que tienen asfalto como material de construcción de la calle. Las medias de concentración de HTP para la fracción de < 2 mm fueron de  $4208 \pm 2144$  mg/kg y para la fracción de < 63 µm fueron de  $6759 \pm 3732$  mg/kg. Las concentraciones medias de los metales analizados fueron: 31.8 mg/kg para Pb, 41.4 mg/kg para Cu, 15.8 mg/kg para Cr, 0.1 mg/kg para Cd y 0.1 mg/kg para Hg. De acuerdo a los índices de geoacumulación de Muller, las muestras están de moderadamente contaminados a fuertemente contaminados para Pb y Cu. Mientras que para el Cr, 10 muestras resultaron moderadamente contaminadas. Para Hg y Cd, la mayoría de las muestras resultaron no contaminadas. Los datos obtenidos por el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de correlación de Pearson indican que la principal fuente de metales en los sedimentos depositados en calles de Tijuana es el desgaste de las partes móviles de los vehículos y las partículas producto del desgaste del asfalto.

**Palabras clave:** RDS, metales pesados, HTP, sedimentos, contaminación, Tijuana.

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

En el presente estudio se recolectaron muestras de sedimentos depositados en calles con la finalidad de analizar el contenido de metales pesados e hidrocarburos totales de petróleo. Los sedimentos depositados en calles (RDS, por sus siglas en inglés) se definen como aquellos materiales que se acumulan en las calles pavimentadas y se componen de las partículas y polvos, los cuales pueden tener origen natural o antropogénico. Estos sedimentos contienen diversas sustancias contaminantes y pueden provocar serios problemas de contaminación ambiental. Cuando estos sedimentos se incorporan al drenaje pluvial, su tiempo de residencia y vida aumentan, lo que les permite recorrer grandes distancias. En la actualidad en nuestro país no se ha identificado a los sedimentos depositados en calles como un material que contiene contaminantes tóxicos, por lo que no se cuenta con regulaciones que permitan un manejo adecuado de los mismos. Existen diversas maneras de evitar la acumulación los sedimentos y disminuir la cantidad que se deposita en los cuerpos de agua, algunas de las medidas preventivas podrían ser el aspirado, el lavado y el barrido rutinario manual o mecánico de las calles y avenidas.

El manejo inadecuado de los materiales y residuos peligrosos ha provocado un grave problema de contaminación en suelos y cuerpos de agua alrededor del mundo. En México, la industria del petróleo ha tenido un impacto negativo en materia ambiental. Debido a la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los productos petroquímicos básicos. A mediados de los años 70, la petroquímica básica se convirtió en una de las actividades con mayor contribución a la contaminación, al igual que la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes,

plásticos, pinturas, pigmentos y gases industriales que pasaron a ser las actividades más relevantes por su impacto al ambiente (Quadri, 1994).

El fenómeno de la contaminación por metales no es un problema reciente, ya que la utilización de éstos en las actividades antropogénicas se remonta desde las civilizaciones antiguas hasta el presente. Se han registrado casos de intoxicaciones, enfermedades, muerte y ecocidio. Por ejemplo, en épocas de los romanos la intoxicación por plomo conocida como saturnismo, afectó a aquellos que estuvieron en contacto prolongado con utensilios domésticos. Durante la revolución industrial, la industria metalúrgica tomó un gran auge y con ello la utilización de metales como cobre y bronce. En Japón, la intoxicación con cadmio conocida como Itai-Itai, provocó alrededor de 100 muertes hasta 1965. En 1976, la empresa “Cromatos de México” regaló sus desechos de cromo a los habitantes de la población de lechería Tultitlán, Estado de México para tapar los baches, como resultado murieron varias personas con perforación de tabique nasal y cáncer de pulmón. A nivel regional, han existido casos de contaminación de suelos por metales pesados, como los casos de “Alco Pacífico” y “Metales y Derivados”, donde se abandonaron grandes cantidades de escoria de plomo (Santes-Álvarez, 2009).

En otras regiones del mundo se han realizado trabajos de investigación relacionados a sedimentos depositados en calle. Okonkwo *et al.*, (2006) analizaron las concentraciones de HTP en sedimentos de calles y gasolineras en Sudáfrica. La concentración media de HTP encontradas en calles con uso de suelo habitacional fue de 206 a 300 mg/kg y de 340 a 562 mg/kg en gasolineras.

Las mediciones de concentraciones de metales pesados y de hidrocarburos totales de petróleo en sedimentos depositados en calles son importantes para comprender sus

características y estimar los efectos a la salud que éstos pueden provocar, así como proponer estrategias tendientes a su control y minimización.

En México son pocos los estudios publicados donde se reporten los niveles de metales pesados y de hidrocarburos totales de petróleo presentes en sedimentos depositados en calles, por lo que los resultados de este estudio proveerán las bases para proponer medidas para su manejo en nuestro país. Los contaminantes contenidos en estos sedimentos provienen principalmente del uso del automóvil como serían el desgaste de piezas móviles, frenos, carrocería. Se estima que un 97% de los automóviles que circulan en Tijuana son de modelos anteriores a diez años (INECC, 2008) lo que aumenta el desgaste y emisiones, además se conoce que hay un vehículo por cada 2.42 habitantes (IMPLAN, 2008).

## **1.2. Justificación**

El barrido de calles en ciudades como Tijuana no es una práctica que se realice en forma regular, ocasionando la acumulación de sedimentos. Estos sedimentos se componen de partículas de diferentes tamaños, siendo las partículas finas  $< 10 \mu\text{m}$  respirables y en consecuencia generar problemas a la salud. Se debe agregar que éstos sedimentos contienen compuestos cuya toxicidad a los seres humanos es conocida (metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros). Los RDS han sido identificados como una de las principales fuentes de contaminación en los escurrimientos pluviales urbanos, debido a que éstos son arrastrados hacia los cuerpos de agua durante eventos de alta precipitación. Con respecto a lo anterior, Hoffman *et al.* (1984) estimaron que el 36% de los HAP introducidos al ambiente es debido a los escurrimientos urbanos.

En México no existe regulación alguna sobre el manejo de los sedimentos depositados en calle, por lo cual es de suma importancia la cuantificación de los

contaminantes presentes en los mismos, para proponer medidas pertinentes para su manejo y control. En diferentes países se han propuesto alternativas de solución como el control de contaminantes en las partes de los vehículos y en los fluidos (aceites, líquidos de frenos, entre otros). Otra alternativa de control más simple de aplicar es el barrido regular para disminuir la acumulación de estos sedimentos.

### **1.3. Hipótesis**

Los sedimentos depositados en las calles (RDS) de la ciudad de Tijuana, B.C. contienen altas concentraciones de contaminantes tales como hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y metales pesados tóxicos.

### **1.4. Objetivo general**

Evaluar los niveles de contaminantes presentes en los sedimentos depositados en calles de la zona urbana de la ciudad de Tijuana, B.C.

### **1.5. Objetivos específicos**

1. Cuantificar la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg y Pb) en los sedimentos depositados en calles de la ciudad de Tijuana.
2. Cuantificar la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en sedimentos depositados en calles de la ciudad de Tijuana.
3. Identificar las fuentes de HTP y metales pesados en los sedimentos depositados en calles.

## **1.6. Organización de la tesis**

Este documento consta de seis capítulos distribuidos de la manera siguiente: el capítulo 1 corresponde a la Introducción; el capítulo 2 al marco teórico de la investigación; el capítulo 3 presenta la descripción de los sitios de muestreo detalladamente; en el capítulo 4 se describen las metodologías de muestreo y análisis; en el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos y su discusión. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones de la investigación. Además de los capítulos anteriores, se presenta un capítulo de referencias y anexos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Sedimentos depositados en calles (RDS)**

El medio ambiente urbano, es uno de los entornos que ha tenido un creciente interés globalmente, ya que se estima que un 50% de la población de la Tierra habita o trabaja en este tipo de ambiente (ONU, 2003). Las características propias de los entornos urbanos como el suelo, la hidrología, las vías fluviales y atmósferas únicas dan lugar a una amplia gama de estudios. Los problemas de contaminación ambiental y sostenibilidad ambiental han resultado en una gran cantidad de proyectos de investigación sobre calidad de aire y suelo urbano, calidad de aguas subterráneas, aguas y escurrimientos superficiales; sin embargo los sedimentos urbanos y el papel de éstos en el medio ambiente se han descuidado en gran medida en comparación del resto de las áreas. Por otra parte, cada vez se reconoce más la importancia de los entornos urbanos en la salud humana y como consecuencia de ello, los conocimientos y estudios de la calidad del medio urbano poco a poco ha ido en aumento.

El término urbano es utilizado para hacer referencia a aquellas áreas donde el ecosistema ha sido significativamente modificado por los humanos, ya sea por sus asentamientos o las actividades asociadas a ello. Se caracterizan por sus modificaciones ambientales físicas, químicas y biológicas, como resultado de la construcción de edificios a gran escala. Anteriormente el término utilizado para hablar de contaminación en las calles era sedimento urbano; sin embargo, Sutherland (2003) propuso el término de sedimentos depositados en calles. Las calles y avenidas son una parte esencial del paisaje urbano, y a menudo son fuentes de contaminantes (McKenzie *et al.*, 2008). Los sedimentos depositados en calles (RDS por sus siglas en inglés) son aquellos materiales que se recolectan de las calles pavimentadas y están compuestos por polvos y partículas que se han depositado y

acumulado a lo largo de las calles de una ciudad. Esta acumulación de sedimentos es provocada por medios naturales como: la deposición atmosférica, suelo, restos vegetales y por medios antropogénicos tales como las emisiones vehiculares, desgaste de las partes móviles de los vehículos, desgaste de neumáticos y frenos, desgaste de materiales de construcción y pintura de la señalización de calles, además en gran medida por el arrastre de polvo ocasionado principalmente por vehículos y camiones, además del polvo proveniente de áreas verdes y erosión (Taylor y Perry, 2007; Forcada *et al.*, 1996; Brisa *et al.*, 1999; Amato *et al.*, 2010; Bovea *et al.*, 2010; Hong y Zhaojie, 2010).

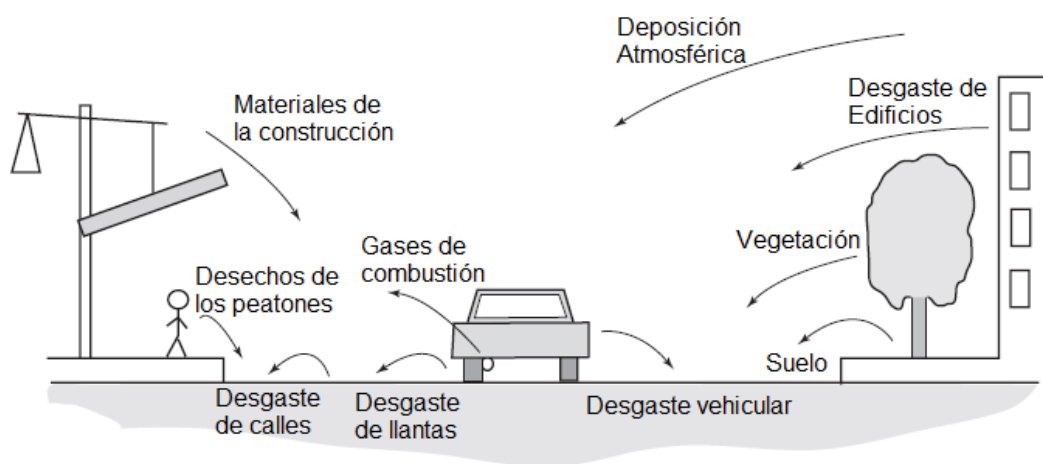


Figura 2.1. Diagrama esquemático de fuentes que conforman los sedimentos depositados en calles (Taylor y Perry, 2007).

Los sedimentos depositados en calles están compuestos principalmente por suelo y material de construcción de las calles y avenidas. Según Hopke *et al.*, (1980) los sedimentos depositados en calles están formados por un 75% de suelos. Debido a la presión generada por las regulaciones de calidad de agua, los estudios acerca de sedimentos y polvos depositados en calles están teniendo un gran auge en los últimos años. Se ha encontrado que la mayoría de los contaminantes se encuentran en la fracción más fina de

éstos polvos, los cuales son fácilmente arrastrados por los escurrimientos pluviales. Cuando estas partículas se incorporan al drenaje pluvial, tienen la capacidad de mantenerse suspendidas durante más tiempo y por lo tanto ser transportadas a distancias más largas. La fracción más fina de los polvos de calle es muy fácilmente re-suspendida por el tráfico o por el viento y pueden también ser transportados a los cuerpos de agua mediante escurrimientos pluviales. Se ha comprobado que los sedimentos y polvos depositados en calles, pueden ser una fuente importante de contaminantes a cualquier cuerpo de agua, los cuales corren un gran riesgo de verse contaminados si los sedimentos depositados en calles y avenidas no son removidos (Walker y Wong, 1999; Kang *et al.*, 2009). Existen diversas formas de evitar la re-suspensión de dichos polvos y de impedir que lleguen a los cuerpos de agua y los contaminen, tales como el aspirado, el lavado y el barrido rutinario manual o mecánico de calles y avenidas. German y Svensson (2001) llevaron a cabo una investigación en la cual demostraron que se puede remover hasta un 80% de los contaminantes mediante el barrido de calles. El transporte de los RDS en ambientes urbanos no es tan simple, ya que pueden tomar distintas rutas y el estudio de ellos es complejo. El transporte de los sedimentos depositados en calles a través de los entornos urbanos se puede representar con lo que se conoce como cascada de sedimentos urbanos (Figura 2.2).

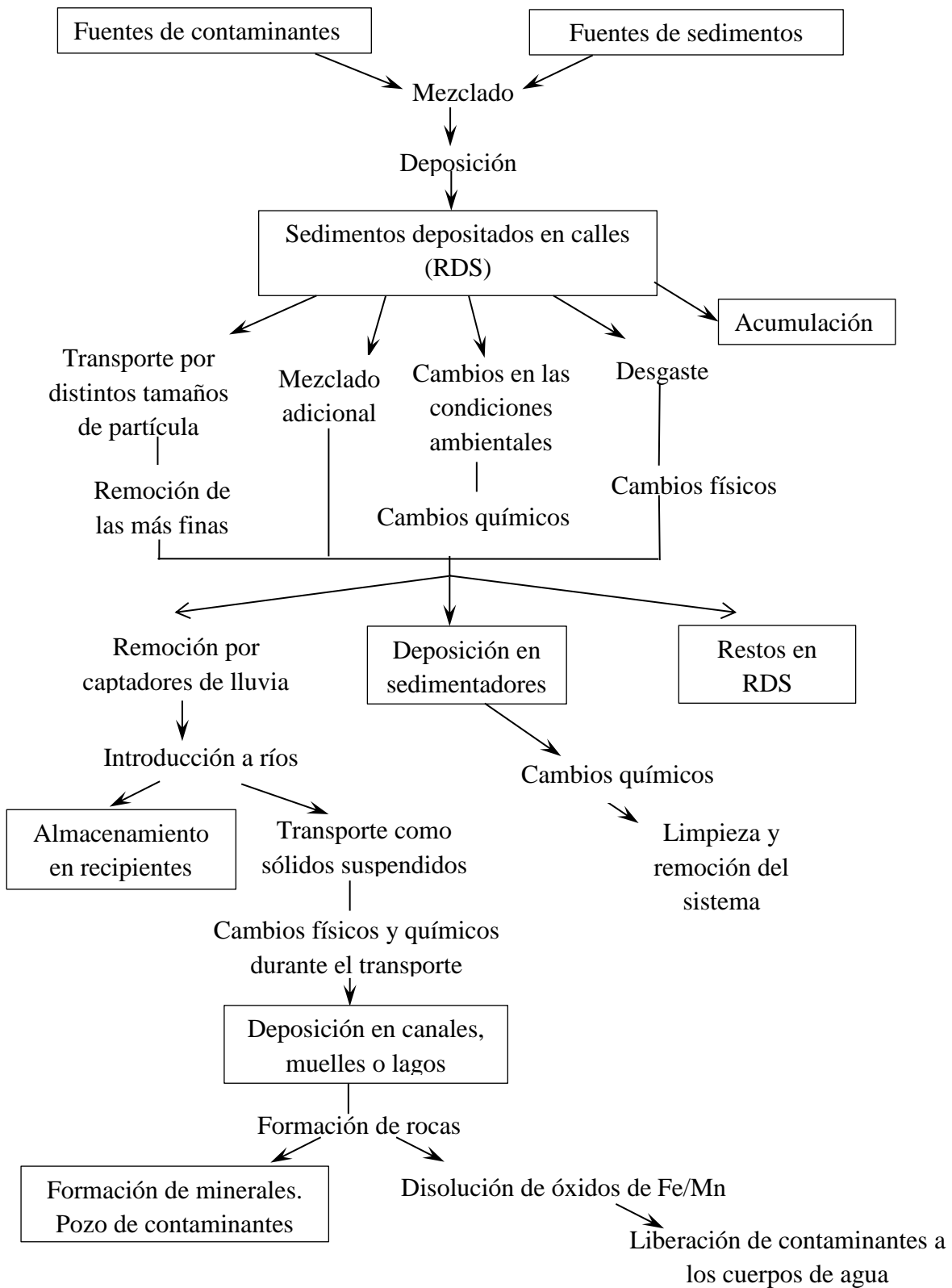


Figura 2.2. Cascada de sedimentos urbanos, que muestra los caminos de, y los cambios en, partículas de sedimentos urbanos desde su fuente hasta desaparecer. (Modificado y extendido por Charlesworth y Lees, 1999).

En otros estudios se ha encontrado que la limpieza en las calles de una ciudad está directamente relacionada a su imagen pública y al concepto que los visitantes se lleven de ésta (Riccio *et al.*, 1988); una ciudad limpia atrae las inversiones, el turismo y es evaluada positivamente por sus ciudadanos (Bel, 2006; Benito *et al.*, 2011; De Borger *et al.*, 1994; Forcada *et al.*, 1996; Giménez y Prior, 2003). En cambio, una ciudad sucia induce a la sociedad a generar más desechos (Arafath *et al.*, 2007). Por lo tanto, una ciudad que no se limpia de manera rutinaria crea un impacto visual negativo, especialmente en quienes visitan el lugar.

### **2.1.1. Composición de los sedimentos depositados en calles (RDS)**

Los RDS no solo contienen polvo, sino que también están compuestos por residuos que los automóviles dejan en el pavimento por el desgaste de éstos y de sus partes como lo son los neumáticos y los frenos. Así mismo contienen fluidos del vehículo tales como aceites y combustibles (Fergusson, 1984; Sutherland, 2003; Folkeson *et al.*, 2008). Por otra parte, se ha comprobado que el uso del freno libera pequeñas partículas de un tamaño sumamente fino (Thorpe y Harrison, 2008). Los sedimentos de calle también han sido identificados como contribuyentes significativos para la contaminación del agua y el aire, ya que ambos son un buen medio para transportar a los contaminantes que se encuentren en zonas adyacentes a ellos. Se ha determinado también que los sedimentos y polvos depositados en las calles pueden contener considerables cantidades de sustancias tóxicas como son: metales pesados e hidrocarburos derivados del petróleo (Brown and Peake, 2006; Boonyatumanond *et al.*, 2007; Xinwei *et al.*, 2009). Estos contaminantes son arrastrados por las lluvias hacia el drenaje pluvial donde los contaminantes, especialmente los metales pesados, quedan sedimentados. Sutherland y Tolosa (2000) llevaron a cabo una

investigación en Hawaii, donde se encontró que los polvos de calle y los contaminantes asociados a éstos están típicamente disponibles para movilizarse y transportarse hacia los sistemas de drenaje mediante los escurrimientos pluviales; además encontraron un significativo enriquecimiento antropogénico de metales, especialmente plomo. Maltby *et al.*, (1995) y Pitt *et al.*, (1995) establecieron la relación entre los escurrimientos pluviales y la presencia de sustancias tóxicas como metales inorgánicos. Las fuentes de elementos inorgánicos potencialmente tóxicos en los RDS incluyen las emisiones vehiculares, desgaste del pavimento, desgaste de frenos y neumáticos, deposición atmosférica, erosión y los mencionados anteriormente en el capítulo 2.1 (Taylor, 2007). Por ejemplo los frenos al desgastarse liberan partículas muy finas que van desde unos pocos cientos de nanómetros hasta unos pocos micrómetros de diámetro; la tasa de desgaste y las características de los desechos asociados a la fricción están en función de la velocidad del vehículo, la frecuencia del frenado, las condiciones del vehículo y de la composición química de los frenos (Thorpe y Harrison, 2008). Garg *et al.*, (2000) estimaron que el desgaste de los frenos suma de 11 a 18 mg/vehículo•km para automóviles y de 29 mg/vehículo•km para camionetas; también encontró que a pesar de que se producen emisiones como resultado de la abrasión mecánica de los frenos, éstas no son significativas, ya que no aumentan las concentraciones de CO, CO<sub>2</sub> e hidrocarburos. Además de los frenos, el desgaste de los neumáticos también tiene una contribución importante en la composición de los RDS. Las altas velocidades y un estilo de manejo agresivo se asocian a un mayor desgaste en los neumáticos (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2009) y este desgaste contribuye a la cantidad de RDS con un promedio de 100 mg/vehículo•km. Rogge *et al.*, (1993) propusieron que la fricción entre el pavimento y el rodamiento de los neumáticos provoca un desgaste promedio de los neumáticos de entre 6 y 90 mg/km, dependiendo de las condiciones ya previamente

mencionadas; generalmente las altas velocidades, el uso de llantas viejas y las malas condiciones del pavimento provocan un mayor desgaste (Duong y Lee, 2011). Además del desgaste de frenos y llantas, el desgaste del pavimento contribuye también a la composición de los RDS. El desgaste del asfalto ha sido estimado por Muschack (1990) con un valor de 3.8 mg/vehículo•km. Las superficies de concreto están compuestas por agregados gruesos como arena, grava, roca, agua y cemento Portland, mientras que las de asfalto están conformadas por una mezcla de agregados minerales, arenas, relleno y aglutinantes, sin embargo la composición de estos materiales puede variar según el país. Diversos estudios han encontrado que el desgaste de los frenos y llantas origina partículas de un tamaño muy pequeño, el cual se considera como resuspendible (Garg *et al.*, 2000, Cha *et al.*, 1983). De acuerdo a la US EPA (2014) y a Berdowski *et al.*, (1997), un 98% en masa de las partículas del desgaste de frenos se pueden clasificar como PM<sub>10</sub> y de éstas un 40% es de PM<sub>2.5</sub>. Sartor y Boyd (1972) encontraron que solo el 50% de todos los tamaños de partículas que componen los RDS se pueden remover mediante barrido y que la tasa de remoción de material particulado menor a 104 µm es sólo de 15 a 20% (Sartor y Gaboury, 1984). En ocasiones a las barredoras o al personal de limpieza de calles les es imposible acceder a todos los espacios de la calle para limpiar debido a los carros estacionados. Así mismo, se ha encontrado que el barrido de calles en ocasiones puede presentar una baja efectividad removiendo las fracciones muy finas, lo cual puede llevar a la resuspensión por acción del viento, por el paso de vehículos o al arrastre de estos polvos hacia los cuerpos de agua mediante escurrimientos (Yuen *et al.*, 2012).

Algunos estudios han encontrado que la cantidad de exposición humana a ciertos contaminantes a través de suelo, es más alta que a través de aire o agua. (Menzie *et al.*, 1992). Debido a lo anterior, algunos países han tomado medidas y ya se cuenta con

normatividad para regular el manejo y disposición de los sedimentos y polvos depositados en calles y avenidas. En México, aún no se cuenta con regulación alguna sobre éste tema, debido principalmente a que no se han realizado suficientes estudios sobre ello y por lo tanto, se desconoce el contenido de contaminantes que estos sedimentos de calle pudieran tener.

## **2.2. Metales pesados**

Durante décadas, el proceso de industrialización en nuestro país, se desarrolló sin que existiesen restricciones legales para el manejo y derrame de materiales y residuos peligrosos; dentro de estos contaminantes se encuentran los metales pesados. Los metales pesados se han convertido en un tema muy estudiado en los últimos años; ya sea en el campo ambiental, como en el de salud pública, debido a los daños que causan. Estos daños son tan severos y en ocasiones ausentes de síntomas que es hasta que las concentraciones del contaminante en el organismo son lo bastante elevadas como para dar problemas cuando se percatan de su presencia, como resultado suele ser demasiado tarde para hacer algo (Nebel y Wright, 1999). Es por esto, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población a éstos elementos tóxicos, en particular a la población infantil.

Se definen como metales pesados aquellos elementos químicos cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Presentan una densidad igual o superior a  $5 \text{ kg/m}^3$  cuando se encuentran en forma elemental. Los metales pesados tóxicos de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), incluye a los siguientes elementos: antimonio (Sb), arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), cobalto

(Co), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plata (Ag), plomo (Pb), selenio (Se), talio (Ta), titanio (Ti), vanadio (V) y zinc (Zn), los cuales son muy utilizados en la industria y también en ciertos plaguicidas y medicinas. Los metales pesados, también conocidos como metales traza son de toxicidad extrema porque, como iones o en ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo los absorbe con facilidad. Dentro del organismo tienden a combinarse con las enzimas e inhibir su funcionamiento, incluso dosis muy pequeñas provocan consecuencias graves. Entre dichas consecuencias graves se pueden mencionar los defectos congénitos incapacitantes que causa el envenenamiento con Hg, o el retraso mental debido al saturnismo causado por el Pb (Nebel y Wright, 1999).

Los metales se clasifican en dos grupos:

1. Oligoelementos o micronutrientes. Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez rebasado cierto umbral. Incluyen: arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn).
2. Sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos e incluyen al bario (Ba), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) principalmente.

Su persistencia, acumulación y/o transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Navarro *et al.*, 2007).

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre, su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01% (Navarro *et al.*, 2007). Los valores promedio de concentración de metales pesados en suelos en la corteza terrestre son 92 mg/kg para Cr, 0.09 mg/kg para Cd, 28 mg/kg para Cu, 17 mg/kg para Pb, 47 mg/kg para Ni y 0.05 mg/kg para Hg (Rudnick y Gao, 2003). Estos metales pueden convertirse en contaminantes si su distribución en el ambiente, se altera

mediante actividades humanas. Las concentraciones anormales de metales pesados en los suelos se pueden deber a dos tipos de causas: causas naturales y causas antropogénicas (originadas por el hombre). Entre las causas naturales se tienen las erupciones volcánicas, la erosión, terremotos, tsunamis, etc., mientras que las causas antropogénicas pueden ser los vertidos industriales, minería, aplicación de productos químicos agrícolas, lodos residuales, gases de combustión, emisión de partículas por los automóviles y los residuos sólidos de origen doméstico. La dispersión de los contaminantes está influenciada por las condiciones meteorológicas como el viento, la lluvia o la intensidad del tráfico.

Los metales pesados están presentes en el suelo en forma de cationes y por lo tanto pueden mostrar una baja disponibilidad incluso a altas concentraciones; sin embargo, pueden combinarse como resultado de cambios en las condiciones ambientales o por la saturación de la capacidad de amortiguación de un suelo.

La dinámica de los metales pesados puede clasificarse principalmente en cuatro vías (Navarro *et al.*, 2007):

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.
- Retención de metales pesados en el suelo.

Debido a las características tóxicas, algunos metales pesados están prohibidos en la manufactura de productos y equipos electrónicos en concentraciones mayores a 1000 mg/kg tales como el Pb, Hg, Cd y Cr<sup>6+</sup>.

### **2.2.1. Metales pesados en sedimentos de depositados en calles (RDS)**

Se ha identificado que los sedimentos depositados en calles (RDS) contienen altas concentraciones de metales pesados, las cuales pueden ser dañinas a la salud (Lars *et al.*,

2006; Lin y Stenstrom 2005; Charlesworth *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2013). Se ha comprobado, de la misma manera, que algunos de estos metales pesados provienen del uso de automóviles. Los vehículos y sus emisiones son considerados la mayor fuente de contaminación en los RDS; sin embargo, algunos metales e hidrocarburos provienen del desgaste de los materiales de la construcción de la calle, por ejemplo el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el níquel (Ni), el plomo (Pb), el antimonio (Sb), el vanadio (V) y el zinc (Zn), son algunos de los metales que se pueden encontrar comúnmente en las partículas del desgaste de los frenos (Davis *et al.*, 2000; McKenzie *et al.*, 2008; Thorpe y Harrison, 2008; Duong y Lee, 2011).

En la Tabla 2.1 se observan las diferentes fuentes de metales pesados en RDS; se puede apreciar que son los frenos, los neumáticos, el desgaste del pavimento, los combustibles y lubricantes son los mayores contribuyentes de metales pesados tóxicos; se observa además que algunas fuentes contribuyen únicamente con un metal; sin embargo, es importante considerar dicho aporte en la identificación de fuentes y con ello la posibilidad de proponer medidas preventivas de emisión.

A pesar de que en la actualidad no se utilizan combustibles con plomo, pequeñas cantidades de éste aún pueden persistir en las orillas de las calles, debido a que la baja solubilidad del plomo le permite tener un tiempo de residencia alto en el suelo (Sutherland y Tolosa, 2000). Pequeñas cantidades de Cd, Cr, Cu, Ni y V son también utilizados en aditivos para reducir el desgaste del motor (Davis *et al.*, 2000). Las partículas de plomo pueden provenir también de las pinturas de la carrocería de automóviles y de las líneas de señalización de las carreteras. Otra parte de los automóviles que aporta metales son los catalizadores, los cuales contribuyen con paladio (Pd), platino (Pt) y rodio (Rh), mientras que el desgaste del motor libera Cr, Cu, Mn y Ni. La composición química del material

proveniente del desgaste de frenos depende del fabricante y del uso que se le dará a estos, ya sea para automóvil o camión. Legret y Pagotto (1999) y Hildemann *et al.*, (1991) encontraron un contenido de Cu de hasta 14% y muchos otros metales incluyendo Pb (4%), Zn (2%), Ca y Ba. La legislación europea menciona que la no utilización de Cd, Cr, Hg y Pb en los componentes de los vehículos puede reducir la introducción de contaminantes en las calles y por ello es que está prohibido poner en el mercado vehículos nuevos con materiales y componentes que contengan más de 0.1% de Pb, Hg o Cr o más de 0.01% de Cd (Swiss Chemicals Legislation, 2013).

Tabla 2.1. Elementos inorgánicos provenientes de vehículos y de su uso (Yuen *et al.*, 2012).

<b>Metal / Fuente <sup>a</sup></b>	<b>Bi</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>	<b>Rh</b>	<b>Sb</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>
Frenos		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓
Llantas		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						✓
Combustibles y Lubricantes	✓	✓		✓	✓			✓						✓	✓
Carrocería									✓						
Catalizadores										✓	✓	✓			
Desgaste del motor				✓	✓		✓	✓							
Superficie del camino		✓			✓	✓		✓	✓					✓	✓
Señalización de caminos									✓						
Maquinaria de reparación															✓

<sup>a</sup> Fuentes: Helmers, (1996); Lindgren, (1996); Davis *et al.*, (2000); Deletic and Orr, (2005); Folkesson *et al.*, (2008); McKenzie *et al.*, (2008); Sutherland *et al.*, (2008); Thorpe y Harrison, (2008); Duong y Lee, (2011).

Como se mencionó en la sección 2.1, las partículas provenientes del desgaste de llantas y de frenos contribuyen a la formación de los RDS e introducen metales pesados a éstos. Lindgren (1996), encontró que las partículas del desgaste del asfalto tienen mayor capacidad de adsorción de iones metálicos, debido a todo lo anterior algunos países cuentan con sus propios estándares de calidad de suelo en relación a metales pesados.

En la Tabla 2.2 se muestra la contribución de metales por desgaste de llantas y frenos en mg/kg. Se puede observar que las llantas contribuyen con metales como el Zn, Al, Pb y Cu y en el caso de los frenos con el Cu, Zn, Pb, Cr y Al. Se aprecia además que el desgaste de los frenos los que más aportan metales pesados a los RDS.

Tabla 2.2. Composición del desgaste de llantas y frenos, medias de concentración (mg/kg).

<b>Elemento</b>	<b>Llanta</b>	<b>Frenos</b>
Cd	4.7	22.4
Cr	23.8	2311
Cu	174	51112
Pb	176	6072
Zn	7434	8676
Al	324	2050
As	3.8	67.5

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2009.

Es bien sabido, que el suelo, el material parental y la roca madre son fuentes naturales de metales y que en ocasiones estas concentraciones se elevan a causa de actividades antropogénicas descritas anteriormente (Carlosena *et al.*, 1998). En 1994, 28 390 toneladas de Pb se emitieron a la atmósfera, con una contribución de 70% en transporte por calles

(Gromov y Emelina, 1994). Von Storch *et al.*, (2003) estimaron que el total de emisiones disminuiría hasta 12 600 toneladas, con una contribución de transporte de calles del 60%. En algunos países los sedimentos de calle han sido estudiados ampliamente en busca de contaminantes y se ha encontrado la presencia de estos en altas concentraciones, por ejemplo Zhao y colaboradores (2009) encontraron que los sedimentos recolectados en zonas industriales tienen concentraciones más altas de Cr, Cu, Ni y Pb que los sedimentos obtenidos de sitios comerciales y residenciales en Beijing. Sutherland (2003), analizó los sedimentos depositados en calles de 20 sitios en busca de Pb y los clasificó en 6 tamaños de partícula distintos, se encontró una concentración media de 170 mg/kg, con un rango de 4 a 1750 mg/kg y la fracción con mayor porcentaje de masa contenida en ella fue en la más pequeña ( $< 63 \mu\text{m}$ ), sin embargo no encontró diferencia significativa entre las concentraciones obtenidas para las diferentes fracciones de tamaño. Yuen *et al.*, (2012) estudiaron también la concentración de metales pesados (Al, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, Sc, Si y Zn) en RDS de acuerdo al tipo de uso de suelo (residencial e industrial) en la fracción de partícula  $< 63 \mu\text{m}$  y encontraron que en los sitios industriales las concentraciones de Co, Cr, Fe y Ni fueron mayores que en las zonas residenciales.

Los metales pesados tóxicos que se han analizado principalmente en los RDS son el Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Ni. En la Tabla 2.3 se muestra un condensado de las concentraciones de estos de metales pesados, obtenidas en diversos estudios de RDS en distintas ciudades alrededor del mundo. En dicha tabla se aprecia que los valores difieren notablemente en función de la ciudad de análisis. Por ejemplo, las ciudades industrializadas y con una alta densidad de población como Hong Kong presentan altas concentraciones de Cd, Pb y Zn, de igual manera para Nueva York y Londres, mientras que en países poco industrializados, las concentraciones de los metales son menores. Se observa además, que este tipo de

análisis se han venido desarrollando desde hace ya varias décadas; sin embargo, aún son muchos los países que no cuentan con este tipo de información sobre las concentraciones de contaminantes presentes en sus calles y por tanto no se adoptan medidas de solución.

Tabla 2.3. Concentraciones de metales pesados en RDS encontrados en diferentes estudios.

Área de estudio	Uso de suelo	Metal (mg/kg)							Referencia
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	
Nueva York, EU.	Residencial	8	125	356	NA	2583	1811	NA	Fergusson y Ryan, 1984
Halifax, Canadá	NA	1	69	87	NA	1297	468	NA	
Christchurch, NZ.	NA	1	48	153	NA	887	608	NA	
Kingston, Jamaica	NA	0.8	25	66	NA	863	765	NA	
Hong Kong	NA	24	327	600	78	1061	5149	7	Ho <i>et al.</i> , 2003
	NA	NA	124	110	NA	120	3840	NA	Yeung <i>et al.</i> , 2003
Hangzhou, China	NA	1.6	51	116	26	202	321	0.7	Zhang y Wang, 2009
Shaanxi, China	NA	NA	167	95	NA	230	421	0.6	Han <i>et al.</i> , 2006
Zhenjiang, China	NA	NA	129	158	125	589	686	NA	Zhu <i>et al.</i> , 2008
Londres, Inglaterra	Comercial	2.7	NA	108	NA	2100	539	NA	Harrison <i>et al.</i> , 1981
	NA	13	116	198	NA	3031	1174	NA	Fergusson y Ryan, 1984
Madrid, España	NA	NA	NA	188	44	193	476	NA	De Miguel <i>et al.</i> , 1997

Continuación Tabla 2.3

Oslo, Noruega	NA	1.4	NA	123	41	180	412	NA	
Oahu, Hawaii	Residencial	NA	NA	NA	NA	170	NA	NA	Sutherland, 2003
Singapur	Industrial	NA	NA	929	592	280	1224	NA	Yuen <i>et al.</i> , 2012
	Residencial	NA	NA	383	77	395	1608	NA	
	Residencial	0.7	86	297	53	68.6	274	NA	Umid <i>et al.</i> , 2009
	Comercial	0.3	73	97.7	10.3	111	620	NA	
	Industrial	2.4	1245	9069	186	338	1900	NA	
Baoji, China	NA	NA	NA	123	49	408	715	NA	Xinwei <i>et al.</i> , 2009
Bogotá, Colombia	Alto tráfico	0.44	NA	38.7	NA	74.1	65.3	NA	Zafra <i>et al.</i> , 2013
Ogun, Nigeria	Estaciona- miento público	NA	NA	20.6	NA	4.24	NA	NA	Adeniyi <i>et al.</i> , 2010
	Parada de autobús	NA	NA	19.3	NA	3.72	NA	NA	
Tshwane, Sudáfrica	Zona residencial	0.1	NA	2.3	NA	0.1	10.2	NA	Okonkwo <i>et al.</i> , 2006
	Alto tráfico	0.8	NA	0.74	NA	0.30	6.5	NA	

NA=No hay datos disponibles

## 2.3. Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)

### 2.3.1. Generalidades

En el año 2011, la producción mundial de petróleo aumentó pasando los 83 mil millones de barriles diarios, siendo el consumo a nivel mundial 90 millones de barriles diarios de petróleo (SENER, 2012). En la Figura 2.3 se observa el comportamiento de la

producción mundial diaria de barriles de petróleo desde el año 2001 hasta el 2012 y se aprecia un aumento del 15% en la última década, lo cual conlleva a mayor introducción de los derivados de éste al medio ambiente.

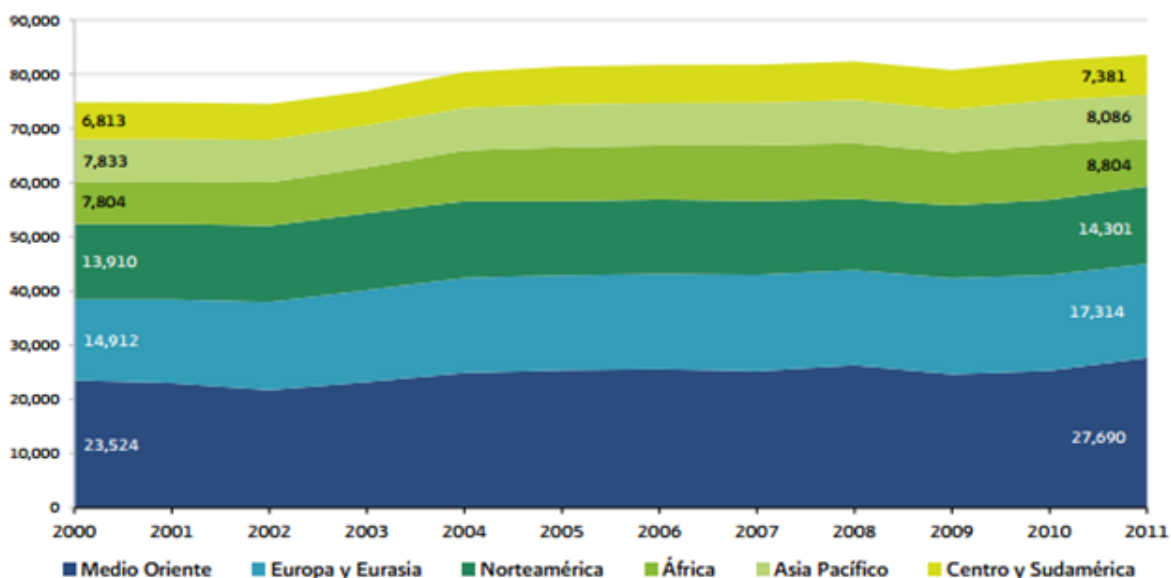


Figura 2.3. Producción mundial de petróleo crudo por región, 2000-2011 en miles de barriles diarios (British Petroleum, 2012).

El petróleo está compuesto en más de un 90% por una mezcla muy compleja de hidrocarburos que, al ser procesados en las refinerías, son separados en una gran variedad de subproductos con diversos usos. Así, el término hidrocarburos totales de petróleo (HTP) se utiliza para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados del petróleo crudo, por lo que los HTP son una mezcla de sustancias químicas. Se les llama hidrocarburos porque casi todos los componentes están formados por carbono e hidrógeno (ATSDR, 1999). Se definen como la cantidad medible de hidrocarburos a base de petróleo en el medio ambiente, por lo tanto su análisis depende del medio en que se encuentren (Gustafson, 1997). Algunos HTP son líquidos incoloros o de color claro que se

evaporan fácilmente, mientras que otros son líquidos espesos de color oscuro o semisólidos que no se evaporan.

Los hidrocarburos y sus derivados son sustancias de alto peso molecular, son insolubles en agua y resultan muy tóxicos para los organismos vivos; son compuestos inflamables, con densidades variables y diferentes puntos de ebullición dependientes del número de átomos que posean en su estructura. Muchos de estos tienen un olor característico a gasolina, kerosén o aceite (ATSDR, 1999). Debido a que en la actualidad los usos de productos derivados del petróleo son muchos, la posibilidad de contaminación ambiental derivada de éstos es alta. La medida de los HTP es una cantidad bruta y no se identifican sus componentes y generalmente no es práctico medir cada uno de ellos ya que son muchos, por tanto el valor de HTP representa aún una mezcla; sin embargo, es útil medir la cantidad total del conjunto de hidrocarburos que se encuentran en una muestra de suelo, agua o aire.

Químicamente los hidrocarburos, además de estar formados por carbono e hidrógeno, contienen también en menor cantidad nitrógeno, azufre y oxígeno, así como trazas de metales. Su configuración es compleja debido a la capacidad que tiene el átomo de carbono para formar cadenas, existiendo así dos tipos de hidrocarburos: alifáticos y aromáticos. Los hidrocarburos de bajo peso molecular son gases, mientras que los de alto peso molecular son líquidos o sólidos a temperatura ambiente. Los hidrocarburos totales de petróleo entran en contacto con el medio ambiente generalmente a consecuencia de accidentes de la industria o como productos secundarios a raíz de su uso comercial o privado.

Los HTP que son liberados al suelo pueden movilizarse hacia el agua subterránea a través de éste y allí los componentes pueden separarse individualmente dependiendo de sus propiedades químicas. Los HTP no son fácilmente biodegradables y pueden bioacumularse

en el medio ambiente. La exposición a los HTP puede afectar prácticamente a cualquier persona y han sido implicados como causas de cáncer en los seres humanos, ya que las fuentes de las que provienen son muy comunes tales como vapores de gasolina en las gasolineras, derrames de aceite de motor en el pavimento, sustancias químicas utilizadas tanto en el lugar de trabajo como en el hogar, plaguicidas, entre otros (ATSDR, 1999). Algunos de los compuestos de los HTP pueden afectar el sistema nervioso. Estudios en animales han demostrado efectos en los pulmones, sistema nervioso central, hígado y riñones a causa de la exposición a los compuestos de HTP. De la misma manera, se ha demostrado que ciertos compuestos de estos HTP pueden afectar la reproducción y el feto en los animales. Un compuesto importante presente en los HTP es el benceno y se ha demostrado que este compuesto es cancerígeno en seres humanos. Los hidrocarburos totales de petróleo pueden entrar y salir del cuerpo cuando la persona respira, los ingiere en algún alimento o bebida, o cuando los toca y pasan rápidamente al torrente sanguíneo cuando se respiran; la mayoría de estos abandonan el cuerpo mediante la orina o en el aliento y se ha observado una notable acumulación de HTP en los organismos que se encuentran en suelos contaminados. Debido a lo anterior se han realizado diversos estudios en relación a los HTP en diferentes matrices desde suelo y sedimentos hasta seres vivos como lombrices.

### **2.3.2. Fracciones de hidrocarburos totales de petróleo**

Los científicos han dividido a los HTP en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua, estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo, cada fracción contiene muchos productos químicos individuales (USEPA, 2005). Estas fracciones son fracción ligera, fracción media y fracción pesada.

### **Fracción ligera**

Esta fracción está compuesta por una mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10).

### **Fracción media**

La fracción media es una mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28).

### **Fracción pesada**

Los hidrocarburos de fracción pesada con aquellos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomo de carbono (C28 a C40).

### **2.3.3. Hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en sedimentos depositados en calles (RDS)**

Los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) se encuentran presentes en los polvos y sedimentos depositados en calles, en ocasiones en cantidades que se podrían considerar dañinas al medio ambiente y a la salud humana (Adeniyi y Owoade, 2010). Existe muy poca o casi nula información sobre los HTP en sedimentos de calle, esto debido a que no se han realizado muchos estudios sobre el tema. En la Tabla 2.4 se resumen los resultados de los estudios sobre HTP en sedimentos depositados en calles (RDS). Según Adeniyi y Owoade, (2010) las concentraciones de HTP varían según la intensidad de tráfico, los HTP fueron cuantificados en tres distintos sitios: un estacionamiento público, una parada de autobús y una calle con tráfico bajo. Se observó que la concentración de HTP en la calle con poco tráfico era mucho menor que en los otros dos sitios estudiados; sin embargo, las concentraciones de los tres sitios que presentan son bajas en comparación con los

resultados encontrados por Okonkwo *et al.*, (2006), que analizaron cuatro estaciones de gasolina, tres avenidas con tráfico alto y dos zonas residenciales en Sudáfrica. Las mayores concentraciones de HTP fueron encontradas en las estaciones de gasolina y atribuidas a los derrames accidentales de combustibles.

Tabla 2.4. Niveles de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) en RDS encontrados en diferentes estudios.

Área de estudio	Uso de suelo	HTP (mg/kg)	Referencia
Ogún, Nigeria	Estacionamiento público	19.43 ± 1.27	Adeniyi y Owoade, 2010
	Parada de autobús	16.11 ± 1.85	
	Calle de bajo tráfico	0.33 ± 0.16	
Tshwane, Sudáfrica	Estación de gasolina	1866 ± 51.4	Okonkwo <i>et al.</i> , 2006
	Estación de gasolina	1880 ± 57.8	
	Estación de gasolina	562 ± 43.9	
	Estación de gasolina	2340 ± 62.6	
	Avenida de alto tráfico	505 ± 38.1	
	Avenida de alto tráfico	404 ± 32.7	
	Avenida de alto tráfico	852 ± 55.4	
	Zona residencial	206 ± 20.3	
Zona residencial	300 ± 36.4		

## 2.4. pH

El potencial hidrógeno, conocido como pH es una medición de la concentración de los iones hidrógeno presentes en una solución, es decir la acidez o alcalinidad de una solución, en este caso el suelo. Por lo anterior en 1908, el bioquímico danés Sören Peter Lauritz Sørensen propuso que en lugar de concentraciones de iones hidrógeno ( $H^+$ ) se

usaran sus logaritmos negativos. Este índice logarítmico se representa por el símbolo pH y su definición establece que  $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$  (Guerrero y Pujol, 2006). El pH se expresa en términos de una escala que va de 0 a 14 (Figura 2.4), lo anterior implica que un pH bajo indica una alta concentración de iones hidrógeno. El pH determina también el número de hidrógenos reemplazables en la muestra, lo cual es un indicador de que existe la presencia de metales pesados. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a valores de pH ácido, excepto el arsénico, el selenio, el molibdeno y el cromo, ya que éstos tienden a movilizarse a valores de pH alcalinos.

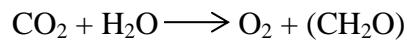


Figura 2.4. Escala de pH.

## 2.5. Materia Orgánica

El término materia orgánica del suelo es utilizado para todo el material orgánico incluyendo el humus (Rowell, 1994). La materia orgánica del suelo (MO) proviene de la descomposición de seres vivos que mueren sobre éste y de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene el suelo. El contenido de MO depende de varios factores como la humedad, la temperatura y la textura del suelo. La fuente primaria de la materia orgánica son los restos de plantas. Las fuentes de los elementos en la materia orgánica del suelo provienen principalmente de la fotosíntesis de las plantas, la cual combina el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera con el agua del suelo y produce carbohidratos, que son moléculas que contienen carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) con una relación de  $\text{CH}_2\text{O}$ ; en el

proceso el O<sub>2</sub> es liberado a la atmósfera. La reacción neta se representa de la siguiente manera:



Los suelos de textura fina suelen tener un mayor contenido de materia orgánica que aquellos suelos de textura gruesa. Al contenido de materia orgánica también se le conoce como contenido de carbono orgánico, y éste nos indica la calidad que tiene un suelo. En general, las propiedades fisicoquímicas del suelo que ejercen un efecto en la adsorción de metales son el pH, la materia orgánica y por último la capacidad de intercambio catiónico.

El método estándar para la determinación de materia orgánica es una técnica indirecta, en la cual el carbono de los materiales orgánicos es oxidado a CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos. La cantidad de agente oxidante utilizado es medida y la masa de carbono es determinada. En base al contenido de materia orgánica se calcula la masa de esta, es por ello es que en ocasiones se le conoce como contenido de carbono orgánico. El contenido de materia orgánica en suelos se presenta en un rango que varía desde 1.65 hasta 29 dependiendo el tipo de suelo y las características de éste.

## **2.6. Textura**

Los suelos son una mezcla de partículas minerales y material orgánico de distintos tamaños, su distribución por tamaño se denomina textura. El término textura se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo, el cual está compuesto por distintos tamaños de partículas, cuya distribución es importante conocer en cualquier estudio de suelo que se realice. Los términos para clasificación de textura o granulometría de un suelo son arcilla, limo y arena. Cada una de estas clasificaciones corresponde con una



### 3. DESCRIPCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

#### 3.1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Tijuana, Baja California, en lo que corresponde a la zona urbana de éste. El municipio de Tijuana se encuentra ubicado al noroeste de estado de Baja California, su cabecera municipal se ubica en las coordenadas 32° 32' de latitud norte y 117°03' de longitud oeste. El estado de Baja California se localiza en la región noroeste de la república mexicana y limita al norte con la frontera de Estados Unidos de América, al este por el río Colorado y el mar de Cortés, al sur por el paralelo 28 y al oeste por el océano Pacífico. Tijuana es la ciudad más poblada del estado de Baja California con una población de 1,559, 683 habitantes mostrado en la Tabla 3.1 (INEGI, 2010), con extensión territorial de 879.2 kilómetros cuadrados, que representan el 2.25% del estado. Su división política comprende nueve delegaciones municipales: San Antonio de los Buenos, Playas de Tijuana, la Mesa de Tijuana, la Presa, Centenario, Cerro Colorado, Centro y la Mesa de Otay. En la Figura 3.2 se aprecia en color rojo el municipio de Tijuana.

Tabla 3.1. Distribución porcentual de la población por municipio según sexo (Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010).

<b>Municipio</b>	<b>Total</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
<b>Baja California</b>	<b>3 155 070</b>	<b>50.4</b>	<b>49.6</b>
Ensenada	466 814	50.4	49.6
Mexicali	936 826	50.5	49.5
Tecate	101 079	52.8	47.2
Tijuana	1 559 683	50.2	49.8
Playas de Rosarito	90 668	51.1	48.9



Figura 3.1. Localización del municipio de Tijuana.

## **3.2. Medio Físico**

### **3.2.1. Clima**

El municipio de Tijuana presenta un clima mediterráneo, templado y semiestepario con temperaturas que oscilan entre los 15 °C y los 36 °C. Su promedio anual de precipitación pluvial es de 196.2 mm. En cuanto a los vientos dominantes, por lo regular provienen del suroeste al noreste durante todo el año.

### **3.2.2. Características y usos de suelo**

Entre los suelos que predominan mayormente en el municipio de Tijuana se encuentran el regosol, el xerosol, el litosol y el solonchak, siendo este último conocido por sus altas concentraciones de sal (Gobierno del Estado de Baja California, 2013). Los principales usos de suelo de Tijuana son el agrícola, el industrial y el turístico o comercial, siendo el uso industrial el que se encuentra principalmente en la zona urbana. Dentro de

este sector, la industria maquiladora es la más relevante, siguiéndole la industria de alimentos y bebidas, la industria de la construcción y la fabricación de productos metálicos y no metálicos. Las ramas comerciales más sobresalientes son la de alimentos y bebidas, prendas de vestir, gases y combustibles, materias primas y auxiliares, equipo de transporte, refacciones y accesorios (Gobierno del Estado de Baja California, 2013).

### **3.2.3. Orografía e hidrografía**

Su configuración orográfica consta de una serie de elevaciones que forman pequeñas mesetas, lomas y cerros que descienden ligeramente al mar, y que por su suelo de tipo rocoso dificulta la actividad agrícola. Entre los más importantes están el cerro Colorado. Las pendientes de cerros y cañadas ocasionan problemas a la mancha urbana debido a que se inunda en época de lluvias. Tijuana no cuenta con ríos permanentes y la única corriente de consideración es el río Tijuana, que tiene su origen en la Sierra de Juárez y desemboca en el Océano Pacífico (Gobierno del Estado de Baja California, 2013).

### **3.3. Selección de los puntos de muestreo**

La ubicación y la selección de los sitios de muestreo se realizaron en base a los siguientes criterios:

- a. Zonas alejadas de terrenos baldíos o espacios sin pavimentar, para evitar un efecto de dilución debido al arrastre de suelo de estos terrenos a las calles.
- b. Material de construcción de la calle: asfalto o concreto.
- c. Intensidad de tráfico: alto o bajo.
- d. Tipo de uso de suelo: industrial, comercial o habitacional.

- e. Para los sitios control se seleccionaron zonas alejadas de avenidas y calles con alta intensidad de tráfico y sin alteración por actividades antropogénicas para ser utilizadas como concentraciones basales de la presente investigación.

### 3.4. Descripción de sitios de muestreo de sedimentos depositados en calles y suelos

Se tomaron 34 muestras de sedimento de calle y suelo. Treinta muestras fueron de sedimentos depositados en calles tomadas directamente sobre el pavimento y cuatro muestras se tomaron de suelos alejados de actividades antropogénicas, las cuales fueron consideradas como sitios control. La Tabla 3.2 presenta una descripción de los sitios de muestreo de sedimentos en la cual se incluyen el nombre del sitio, el material de construcción de la calle, las coordenadas, la intensidad de tráfico y características.

Tabla 3.2. Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos depositados en calles.

Sitio	Nombre del sitio	Material de calle	Intensidad de tráfico	Coordenadas	Características/Usos de suelo
1	Otay Universidad	Asfalto	Bajo	32°31'34.28"N 116°58'24.94"O	Av. de los Ingenieros entre Filósofos y contadores/ Habitacional
2	Calzada Tecnológico	Concreto	Alto	32°31'47.64"N 116°58'1.94"O	Calzada Tecnológico frente a UABC/Comercial
3	Sigma	Concreto	Alto	32°32'36.01"N 116°56'34.76"O	Blvd. Bellas Artes, esq. con Av.Salvatierra /Industrial
4	MIT	Concreto	Alto	32°32'43.52"N 116°54'52.55"O	Blvd. Bellas Artes entre 1 y 3 Norte/Industrial
5	Panasonic	Asfalto	Bajo	32°32'29.75"N 116°55'10.78"O	Calle Uno Poniente, Col. Industrial Nueva Tijuana/Industrial
6	Terán-Terán	Asfalto	Alto	32°31'53.27"N 116°54'2.22"O	Blvd. Terán-Terán /Industrial
7	Ruta Hidalgo	Asfalto	Alto	32°29'55.99"N 116°53'38.82"O	Blvd. Clouthier/Comercial
8	Misión de las Californias	Asfalto	Bajo	32°30'09.60"N 116°54'12.68"O	Fraccionamiento Misión de las Californias /Habitacional

Continuación Tabla 3.2

<b>Sitio</b>	<b>Nombre del sitio</b>	<b>Material de calle</b>	<b>Intensidad de tráfico</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Características/Usos de suelo</b>
9	Gasolinera Insurgentes	Concreto	Alto	32°29'25.67"N 116°55'39.47"O	Gasolinera ubicada en Blvd. Insurgentes /Comercial
10	Parque Ind. Florido	Concreto	Bajo	32°26'59.07"N 116°52'9.83"O	Parque Industrial Florido /Industrial
11	Cecyte	Asfalto	Alto	32°28'5.80"N 116°51'46.21"O	Blvd. El Refugio /Comercial
12	Burger King	Concreto	Alto	32°29'8.05"N 116°56'37.43"O	Blvd. Clouthier esq. con Blvd. Díaz Ordaz /Comercial
13	Las Brisas	Asfalto	Alto	32°29'40.91"N 116°57'33.09"O	Blvd. Díaz Ordaz frente a Plaza Las Brisas /Comercial
14	5 y 10	Asfalto	Alto	32°30'5.43"N 116°57'53.46"O	Blvd. Lázaro Cárdenas frente a Soriana 5 y 10 /Comercial
15	Otay Constituyentes	Asfalto	Bajo	32°31'34.33"N 116°56'48.90"O	Calle Venustiano Carranza /Habitacional
16	La Mesa	Asfalto	Bajo	32°30'2.25"N 116°58'31.03"O	Calle Laureles, Col. La Mesa /Habitacional
17	San Pedro	Asfalto	Bajo	32°30'2.76"N 116°58'33.61"O	Calle San Pedro esq. con Quinta Alta /Habitacional
18	Mercado de todos	Asfalto	Alto	32°30'24.66"N 116°58'47.54"O	Blvd. Diaz Ordaz entre calle San Miguel y Av. Industrial /Comercial
19	Benítez	Concreto	Alto	32°30'36.58"N 116°58'48.55"O	Blvd. Benítez esq. con Miguel de Cervantes Saavedra /Comercial
20	20 de nov	Asfalto	Bajo	32°30'41.14"N 116°59'19.74"O	Av. 20 de Noviembre /Comercial
21	Hipódromo	Asfalto	Bajo	32°30'13.88"N 116°59'25.65"O	Av. de las Ferias /Comercial
22	Carl's Jr.	Asfalto	Bajo	32°30'48.92"N 117° 0'22.08"O	Blvd. Agua Caliente /Comercial
23	Siglo XXI	Asfalto	Bajo	32°31'16.79"N 117° 1'16.83"O	Calle Rio Bravo /Habitacional
24	Seminario	Asfalto	Bajo	32°31'32.82"N 117° 1'54.72"O	Calle 10ma afuera del Seminario /Comercial
25	Calle 7ma	Asfalto	Bajo	32°31'46.33"N 117° 2'14.97"O	Calle 7ma y Constitución /Comercial
26	Coahuila	Asfalto	Bajo	32°32'14.75"N 117° 2'40.54"O	Calle Coahuila /Habitacional
27	Zona río	Concreto	Alto	32°31'10.02"N 117° 0'29.37"O	Paseo de los héroes /Comercial

Continuación Tabla 3.2

28	Espadaña	Concreto	Alto	32°31'4.55"N 117° 0'33.31"O	Bvd. Sanchez Taboada frente a La Espadaña /Comercial
29	Postal	Asfalto	Alto	32°31'29.91"N 116°59'56.42"O	Calle Defensores de Baja California /Comercial
30	Tomas Aquino	Concreto	Bajo	32°31'45.40"N 116°59'4.91"O	Cercano a ITT Tomás Aquino /Habitacional

La ubicación de los sitios de muestreo se observan en la Figura 3.2, en la cual se puede apreciar que la zona de estudio abarca una gran parte de la zona urbana de la ciudad de Tijuana.

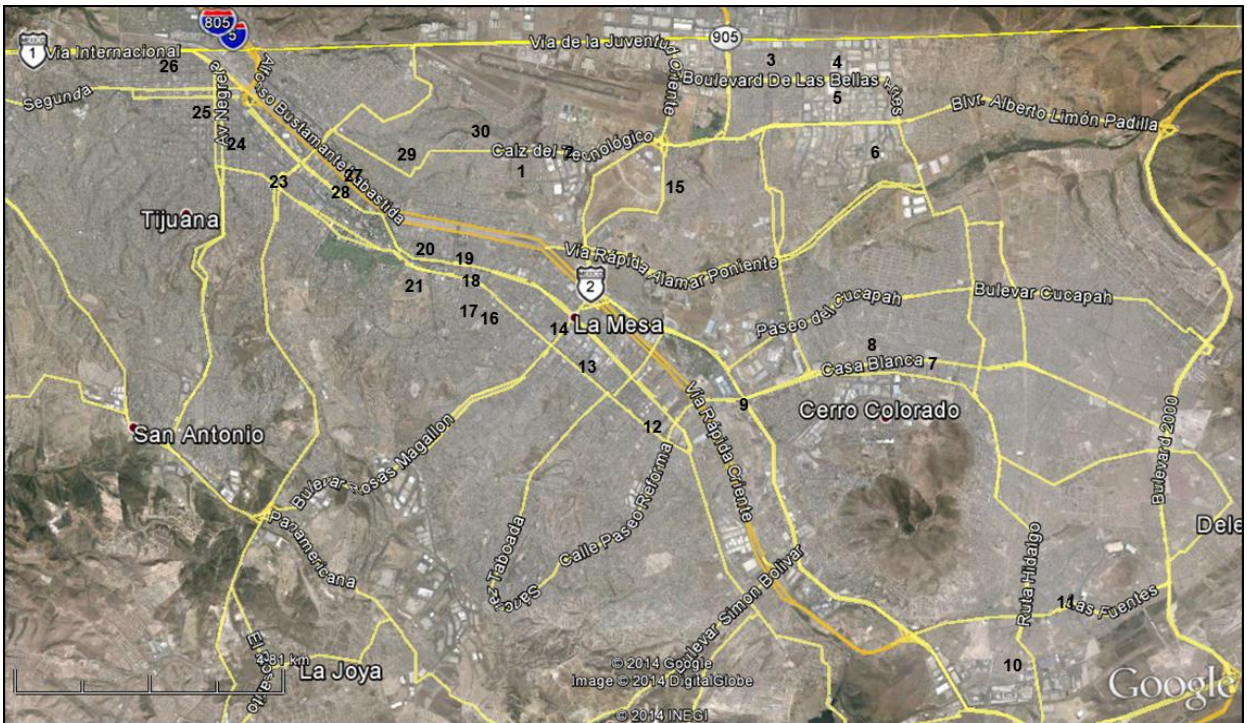


Figura 3.2. Mapa de ubicación de los sitios de muestreo.

En las Figuras 3.3 y 3.4 se observan algunos de los sitios seleccionados para realizar el muestreo. En la Figura 3.3 se aprecia la acumulación de sedimentos en la orilla de la calle (a) y el barrido que se realizó para recolectar la muestra en el sitio 4 (b) y (c). En la Figura 3.4 se observan algunas de las vialidades que fueron seleccionadas para realizar el muestreo y los distintos medios de transporte que circulan por ellas (b).



(a)



(b)



(c)

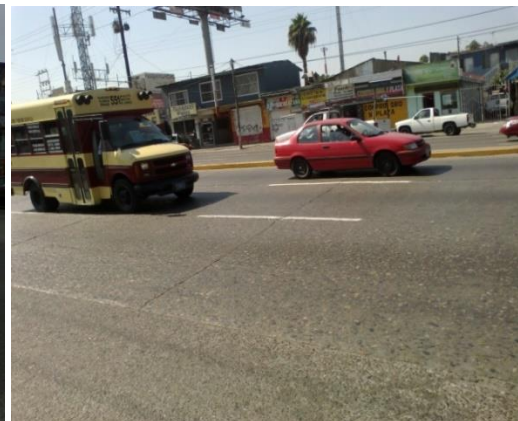


(d)

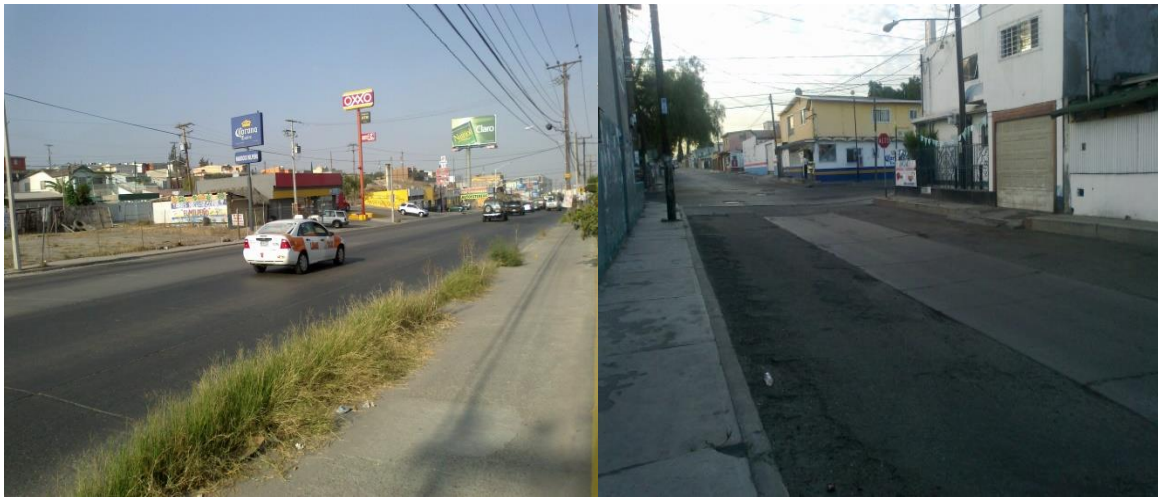
Figura 3.3. (a) Acumulación de sedimentos depositados en calles sitio 4; (b) recolección de sedimento; (c) toma de muestra; (d) sedimentos depositados en calles.



(a)



(b)



(c)

(d)

Figura 3.4. (a) Vista oeste a este del sitio 7; (b) medios de transporte circulando por el sitio 18; (c) vista de oeste a este sitio 7 con transito de vehículos; (d) sitio 16.

En la Tabla 3.3 se muestran las características de los sitios control, de los cuales se recolectó muestra de suelo para utilizar sus concentraciones como referencia basal tanto para HTP como para los metales pesados.

Tabla 3.3. Descripción de sitios donde se colectaron muestras de suelo de referencia.

Sitio	Ubicación	Coordenadas	Características
La Pechuga	La Pechuga, Tijuana, B.C.	32°31'48.60"N 116°56'59.12"O	Terreno baldío cercano a zonas habitacionales /comerciales
UABC	UABC Campus Otay	32°32'1.98"N 116°57'30.78"O	Terreno baldío dentro de la UABC Campus Otay
Palmas	UABC Valle de las Palmas, B.C.	32°26'9.95"N 116°40'28.95"O	Terreno baldío UABC Valle de las Palmas
Florido	El Florido, Tijuana, B.C.	32°27'20.16"N 116°52'19.44"O	Terreno baldío zona residencial

## **4. MÉTODOS**

### **4.1. Muestreo**

Se seleccionaron 30 sitios, diez de ellos con concreto como material de construcción y veinte de asfalto. El muestreo de los sedimentos depositados en calle se llevó a cabo mediante el barrido de aproximadamente un metro cuadrado de la superficie de rodamiento de la calle. Las muestras fueron recolectadas utilizando una escoba y un recogedor de plástico, posteriormente se depositaron en bolsas de cierre hermético con sus respectivas etiquetas para ser colocadas en una bolsa de color oscuro hasta su transporte al laboratorio. Las muestras de sedimento de calle se tomaron aproximadamente a un metro de la banquetta con un peso aproximado de 500 g.

El muestreo de los sitios para referencia se realizó con una pala de plástico tomando aproximadamente 500 g de suelo superficial, se colocó en bolsas con cierre hermético y posteriormente en una bolsa de color oscuro para ser trasladadas al laboratorio. Una vez ahí, se colocaron las muestras control en una estufa a 50 °C durante 24 horas para eliminar la humedad contenida en el suelo de dichas muestras.

La totalidad de las muestras, una vez secas, fueron trituradas utilizando un mortero de porcelana y posteriormente tamizadas mediante un tamiz de plástico con un diámetro de partícula de 2 mm. Las muestras fueron homogenizadas dos veces.

### **4.2. Análisis de muestras de sedimentos depositados en calles**

#### **4.2.1. Extracción y purificación de los HTP**

Se cuantificó la fracción pesada de los HTP, con base a la norma NMX-AA-134-SCFI-2006, la cual indica el siguiente procedimiento:

## **Extracción de hidrocarburos mediante Soxhlet**

Para extraer los hidrocarburos de los sedimentos depositados en calles se utilizó el método de reflujo con equipo Soxhlet, descritos en la NMX-AA-134-SCFI-2006. El método Soxhlet consiste en extraer los hidrocarburos contenidos en la muestra, utilizando un disolvente orgánico volátil, el cual se hace pasar por reflujo a través de la muestra varias veces durante un tiempo determinado. Posteriormente el disolvente es recuperado mediante condensación en un refrigerante.

### **Procedimiento**

1. Pesar 10 g de la muestra.
2. Transferir la muestra a un cartucho de extracción.
3. Colocar el aparato Soxhlet que contiene el cartucho de extracción con la muestra y un matraz de 125 mL previamente tarado, con 90 mL de n-Hexano.
4. Ajustar el control de temperatura para que el calentamiento proporcione 20 ciclos/h.
5. Extraer por un periodo de 4 horas, transcurrido este tiempo el extracto orgánico contendrá todo el material extraíble en hexano (MEH).
6. Al finalizar el periodo de extracción, destilar el disolvente y recolectarlo para su re uso o disposición.
7. Cuando termina la destilación, quitar inmediatamente el matraz de la fuente de calor y secar la superficie exterior para quitar la grasa y la humedad.
8. Colocar el matraz que contiene el MEH en una estufa a 125 °C durante 1 hora.
9. Enfriar el matraz en desecador por 30 minutos y llevar hasta peso constante.
10. Una vez que se tenga a peso constante, adicionar 85-90 mL de n-Hexano al matraz de ebullición para re disolver el MEH. Calentar si es necesario.

11. Adicionar  $3.0 \pm 0.3$  g de sílica gel anhidra al matraz de ebullición por cada 100 mg de MEH o fracción hasta un máximo de 30 g de sílica gel.
12. Agitar por 5 minutos.
13. Filtrar la solución a través de un papel filtro humedecido con n-Hexano en un matraz de ebullición tarado previamente. Enjuagar la sílica gel y el papel filtro con pequeñas cantidades de n-Hexano y transferir los enjuagues al matraz.
14. Conectar el matraz de ebullición al aparato de destilación y destilar el disolvente, recolectar el disolvente para su re uso o disposición.
15. Al terminar la destilación, quitar inmediatamente el matraz de la fuente de calor y secar la superficie exterior.
16. Colocar el matraz de ebullición en una estufa a  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 45 minutos, enfriar en desecador por 30 minutos y pesar inmediatamente.
17. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento y pesado hasta peso constante.



Figura 4.1. Extracción de HTP con equipo Soxhlet.

### Cálculos

Calcular la concentración de MEH en la muestra con la siguiente ecuación:

$$\text{MEH (mg/kg en base húmeda)} = \frac{(Wh)(1000)(1000)}{Ws}$$

Donde:

$W_h$  = Peso MEH seco ( $W_2 - W_1$ ).

$W_1$  = Peso del matraz tarado.

$W_2$  = Peso del matraz con MEH seco en g.

$W_s$  = Peso de muestra húmeda en g.

Calcular la masa de MEH en la submuestra analizada con la siguiente ecuación:

$$\text{MEH (mg)} = (W_h)(1000)$$

Donde:

$W_h$  = Peso MEH seco ( $W_2 - W_1$ ).

$W_1$  = Peso del matraz tarado.

$W_2$  = Peso del matraz con MEH seco en g.

### **Hidrocarburos Fracción Pesada HFP (material extraíble con n-Hexano y tratado con sílica gel)**

Calcular la concentración de HFP en la muestra con la siguiente ecuación:

$$\text{SGT-HFP (mg/kg en base húmeda)} = \frac{(W_2 - W_1)(1000)(1000)}{W_s}$$

Donde:

$W_1$  = Peso del matraz a peso constante en g.

$W_2$  = Peso del matraz con HFP en g.

$W_s$  = Peso de muestra (suelo) húmeda en g.

Con la finalidad de realizar controles de calidad, se llevaron a cabo cuatro análisis estándares, con cantidades de HTP conocidas y se obtuvo una recuperación promedio de 85% con el presente método. Además de los estándares, se realizaron blancos para conocer la cantidad de hidrocarburos totales de petróleo con la que los reactivos contribuyeron y restarlos a los resultados obtenidos.

#### **4.2.2. Tratamiento de las muestras de sedimentos depositados en calles para análisis de mercurio**

El método 7471B de la US EPA, se utilizó para digerir las muestras para el análisis de Hg y se describe a continuación:

1. Pesar 0.5 g de muestra y colocarlos en un matraz de 250 mL.
2. Añadir 5 mL de agua destilada.
3. Agregar 5 mL de agua regia (1:3 HNO<sub>3</sub>:HCl).
4. Calentar durante 2 minutos a baño maría a  $95 \pm 3$  °C.
5. Enfriar a temperatura ambiente.
6. Añadir 50 mL de agua destilada.
7. Añadir 15 mL de solución 5% p/v de permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>).
8. Esperar 15 minutos, si el color morado permanece continuar al siguiente paso, sino agregar 1 mL más de permanganato hasta que permanezca el color. Asegúrese de añadir la misma cantidad de solución de permanganato a los blancos y a los estándares.
9. Mezclar vigorosamente y calentar por 30 minutos en baño maría a  $95 \pm 3$  °C, tapando con papel aluminio.
10. Enfriar a temperatura ambiente.
11. Cubrir la boca del matraz con papel parafilm.

Con el objetivo de verificar los resultados obtenidos, se realizaron estándares en cada análisis y blancos para control de calidad.

#### **4.2.3. Método de digestión de suelos con grasas y aceites para análisis de metales pesados**

Para la digestión de las muestras de sedimentos depositados en calles, se utilizó el método descrito por Cook *et al.*, (2000), utilizado para la digestión de muestras con alto contenido de grasas y aceites para análisis de metales. El método es descrito a continuación:

1. Pesar 1 g de muestra seca, previamente homogenizada y colocarla en un matraz de 250 mL.
2. Añadir 15 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado y dejar reposar durante toda una noche.
3. Calentar el matraz a 120 °C y gradualmente a 150 °C por un periodo de 3-6 horas (hasta que los vapores café dejen de producirse), mantener un volumen de 10-15 mL agregando HNO<sub>3</sub> concentrado.
4. Remover los matraces del calor y dejar enfriar a temperatura ambiente.
5. Añadir 5 mL de HClO<sub>4</sub> concentrado.
6. Calentar los matraces gradualmente hasta 160 °C durante 2 horas.
7. La reacción está completa cuando el suelo tenga un color blanco con puntos negros (3-6 hr).
8. Retirar los matraces del calor y dejar enfriar a temperatura ambiente.
9. Agregar 90 mL de agua destilada.
10. Dejar reposar y decantar sin filtrar.

Con la finalidad de realizar controles de calidad, se preparó una solución estándar con los metales a analizar a una concentración de 1000 ppm de cada metal. De dicha solución se tomaron alícuotas de 1 mL y se agregaron a tres matraces distintos, uno sin muestra y

dos con muestras de suelo de referencia. Posteriormente se les realizó el método de digestión descrito anteriormente y se obtuvo una recuperación del 99%.

#### **4.2.4. Análisis de textura de sedimentos depositados en calles**

Las muestras obtenidas fueron tratadas por el método de la pipeta (Palmer y Troeh, 2003), para cuantificar la cantidad de arena, arcilla y limo, el cual se describe a continuación:

1. Pesar 10 g de sedimento < 2 mm y colocarlos en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
2. Añadir 10 mL de una solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%, agregar más de la solución hasta que se observe que ya no hay reacción.
3. Calentar en una parrilla los matraces hasta que haya un cambio de coloración de negro a café claro. Dejar enfriar.
4. Agregar 100 mL de agua desionizada y agitar hasta que se forme una suspensión.
5. Agregar 30 mL de una solución de oxalato de sodio saturada y agitar por 20 minutos.
6. Transferir la solución del matraz a una probeta limpia y seca de 500 mL y adicionar agua desionizada hasta llevar a un volumen de 500 mL.
7. Medir la temperatura de la suspensión y calcular la velocidad de sedimentación de las partículas mediante la Ley de Stoke. Con el dato de la temperatura, determinar la profundidad a la que se debe tomar cada muestra.
8. Marque una pipeta graduada con la profundidad a la que debe tomarse la muestra, resultado de la Ley de Stoke.

9. Tapar perfectamente la boca de la probeta y agitar bien con cuidado de no derramar solución hasta que se forme una mezcla lo más homogénea posible.
10. Al terminar de agitar, coloque la probeta sobre una superficie plana y mida un tiempo de 40 segundos y tome la muestra con la pipeta graduada marcada anteriormente.
11. Agregue la muestra obtenida con la pipeta en un vaso de precipitados de 250 mL previamente limpio, seco y tarado con una balanza analítica, debe conocer el peso de cada vaso.
12. Coloque el vaso de precipitados con la muestra en una estufa por 24 horas para evaporar el agua.
13. Una vez hecho esto con todas las muestras de las probetas, deje transcurrir un periodo de 3 horas y repita los pasos del 9 al 12, solo que la toma de la muestra del paso 7 debe ser a una tercera parte de la profundidad en que se tomó la primera vez.
14. Pasadas las 24 horas, pesar los vasos con las muestras secas en la balanza analítica.
15. De acuerdo al porcentaje de arena, arcilla y limo de las muestras, revisar a que clasificación de suelo pertenece cada una mediante el triángulo de clase textural.

#### **4.2.5. Contenido de materia orgánica en sedimentos depositados en calles**

Para la cuantificación de materia orgánica en los sedimentos se utilizó el método de Walkley y Black (1934), el cual se describe a continuación:

1. Pesar en una balanza analítica 1.5 g de muestra tamizada a un tamaño de partícula < 2 mm.

2. Agregar la muestra pesada a un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
3. Añadir 10 mL de una solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) concentración 1 N al matraz, agitar y dejar reposar.
4. Agregar 20 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado.
5. Dejar reposar por 10 minutos.
6. Añadir 100 mL de agua desionizada y mezclar.
7. Utilizando un espectrofotómetro UV visible, medir la absorbancia de la muestra.
8. Calcular el porcentaje de materia orgánica mediante el uso de una curva estándar construida con soluciones de concentración conocida y transmitancia.

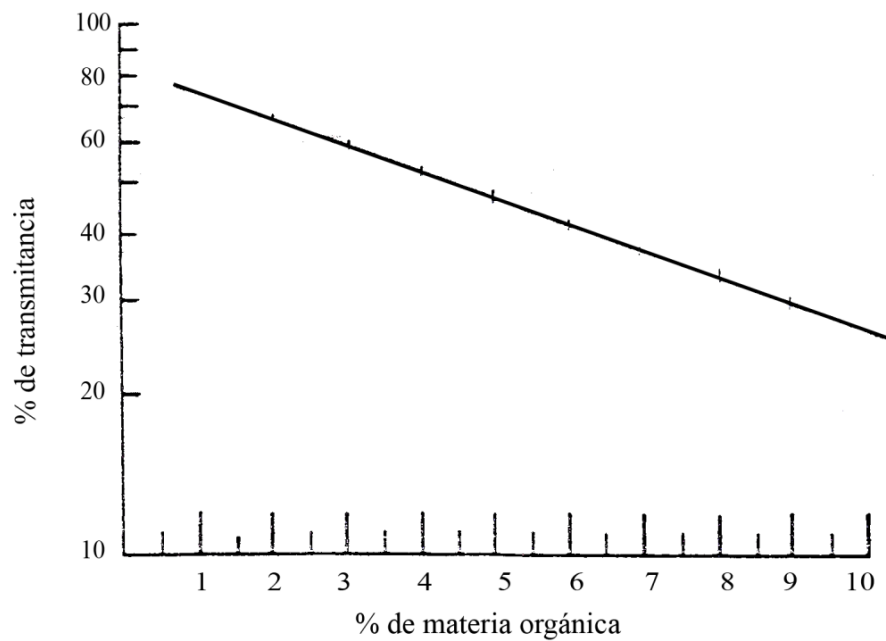


Figura 4.2. Curva estándar para cálculo de % de materia orgánica

#### **4.2.6. Análisis de pH de los sedimentos depositados en calles**

Para la medición del pH de las muestras de sedimentos depositados en calles en el laboratorio, se utilizó el método del potenciómetro descrito por Rowell (1994), el cual se detalla a continuación:

1. Pesar 10 g de la muestra previamente cernida y tamizada a un tamaño de partícula de  $< 2$  mm.
2. Colocar la muestra en un vaso de precipitados de 250 mL.
3. Agregar 25 mL de agua destilada y agitar con un agitador de vidrio.
4. Dejar reposar la muestra por 15 minutos.
5. Medir el pH con el potenciómetro previamente calibrado.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Características fisicoquímicas de sedimentos depositados en calles (RDS)

Las propiedades fisicoquímicas que fueron analizadas en los sedimentos depositados en calles fueron pH, materia orgánica, textura. En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos.

#### 5.1.1. pH y materia orgánica

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados de pH y materia orgánica (MO) de los 30 sitios estudiados. Los resultados de pH presentan una media de  $7.86 \pm 0.67$ , el sitio con el menor pH fue el 22 con un valor de 6.56 mientras que el mayor valor de pH fue en el sitio 4 con un resultado de 9.07. La acidez presentada en el sedimento de calle del sitio 22 se puede atribuir las manchas que se observaron en este sitio, producidas por fugas de aceite de motor de automóvil. El aceite de motor modifica el pH de los sedimentos, a mayor cantidad de aceite presente menor pH (Achuba y Peretiemo-Clarke, 2008), con lo cual se podría atribuir el pH presentado en el sitio 22 al aceite derramado. En cuanto a la MO, los resultados tuvieron una media de  $4.91 \pm 1.77$ . El sitio con menor porcentaje de materia orgánica fue el sitio 30 (2.40%), mientras que el sitio con mayor contenido de MO fue el 22 (12.16%). Lo anterior se atribuye a la misma situación que el pH de dicho sitio (sitio 22), el alto porcentaje de materia orgánica se debe a la presencia de aceite de motor originado por fugas de automóviles con un mal mantenimiento, ya que algunos estudios han comprobado que el porcentaje de MO aumenta cuando se tiene presencia de un hidrocarburo (Amadi *et al.*, 1996). El sitio 24 también presenta un alto contenido de materia orgánica con un valor de 8.65%, lo cual se le atribuye a la presencia de vegetación en la zona del muestreo, incluso se podía percibir olor a plantas en la muestra recolectada y el color de ésta era

distinto a las demás, con un tono café verdusco. De acuerdo a los resultados obtenidos en los 30 sitios analizados para pH y materia orgánica, se observa que no existe alguna relación entre éstos, sino que son valores independientes lo cual se puede apreciar en la Figura 5.1; se realizó además una prueba de correlación de Pearson entre pH y MO obteniendo un valor de -0.32 corroborándose lo anteriormente mencionado.

Tabla 5.1. Resultados de análisis de pH y materia orgánica en RDS.

Sitio	pH	% Materia Orgánica	Sitio	pH	% Materia Orgánica
1	6.69	4.77	16	7.40	5.07
2	8.26	4.43	17	7.23	4.41
3	8.97	4.06	18	7.68	4.99
4	9.07	3.25	19	7.83	5.12
5	7.79	5.20	20	7.85	4.51
6	7.71	3.83	21	7.61	4.76
7	8.67	3.35	22	6.56	12.16
8	8.35	4.28	23	7.95	5.38
9	8.68	4.60	24	9.03	8.65
10	7.76	4.11	25	6.89	3.97
11	7.81	5.55	26	6.59	5.81
12	8.24	3.25	27	8.07	4.05
13	8.02	4.28	28	7.35	6.01
14	7.91	5.64	29	7.41	4.04
15	8.32	5.43	30	8.09	2.40

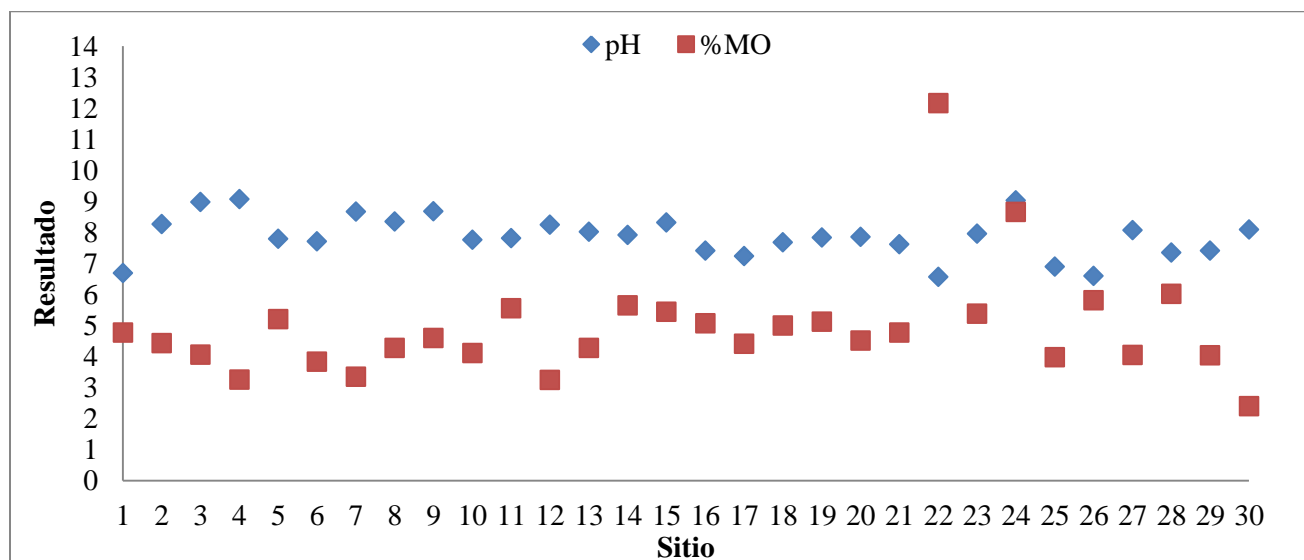


Figura 5.1. Porcentaje de materia orgánica y pH de muestras de RDS.

### 5.1.2. Textura de suelo

Los resultados de la clasificación de textura de los 30 sitios analizados se muestran en la Tabla 5.2. La mitad de las muestras (15 sitios) presentaron una textura arenoso franco, seguido de un 30% (9 sitios) con textura arenosa y solo un 20% de los sitios presentó una textura franco arenoso (6 sitios). Se puede observar que la mayoría de las muestras presentan una textura arenoso franco, es decir que son sedimentos con textura gruesa a moderadamente gruesa, lo cual indica que los sedimentos depositados en calles están compuestos principalmente por arena y tierra, que pueden llegar a éstos por arrastre o por la cercanía que presenten con sitios baldíos, además de las partículas más pequeñas que son depositadas por el desgaste de los automóviles y del pavimento mismo. Se realizó una prueba t-student con una confianza del 95% para identificar si existe una diferencia entre las medias de la textura y el material de construcción (asfalto y concreto), para ello se utilizaron los porcentajes de arcilla y arena contenidos en las muestras clasificándose según su material de construcción. Se determinó que no existe una diferencia entre los contenidos de arcilla y arena debido al material de construcción. Los resultados de las pruebas estadísticas se pueden observar en los anexos de este trabajo.

Tabla 5.2. Textura del suelo, material de construcción y tipo de uso de suelo.

Sitio	Textura	Material	Uso de suelo	Sitio	Textura	Material	Uso de suelo
1	Arena	Asfalto	Habitacional	16	Arena	Asfalto	Habitacional
2	Arenoso franco	Concreto	Comercial	17	Arena	Asfalto	Habitacional
3	Arenoso franco	Concreto	Industrial	18	Arenoso franco	Asfalto	Comercial
4	Arenoso franco	Concreto	Industrial	19	Arenoso franco	Concreto	Comercial
5	Arenoso	Asfalto	Industrial	20	Arenoso	Asfalto	Comercial

Continuación Tabla 5.2

Sitio	Textura	Material	Uso de suelo	Sitio	Textura	Material	Uso de suelo
	franco				franco		
6	Franco arenoso	Asfalto	Industrial	21	Arenoso franco	Asfalto	Comercial
7	Arenoso franco	Asfalto	Comercial	22	Arena	Asfalto	Comercial
8	Arenoso franco	Asfalto	Habitacional	23	Arenoso franco	Asfalto	Habitacional
9	Arenoso franco	Concreto	Comercial	24	Franco arenoso	Asfalto	Comercial
10	Arenoso franco	Concreto	Industrial	25	Arena	Asfalto	Comercial
11	Franco arenoso	Asfalto	Comercial	26	Franco arenoso	Asfalto	Habitacional
12	Arenoso franco	Concreto	Comercial	27	Arena	Concreto	Comercial
13	Arena	Asfalto	Comercial	28	Franco arenoso	Concreto	Comercial
14	Arenoso franco	Asfalto	Comercial	29	Arena	Asfalto	Comercial
15	Franco arenoso	Asfalto	Habitacional	30	Arena	Concreto	Habitacional

### 5.1.3. Fracciones de partículas de sedimentos

Las muestras obtenidas de los 30 sitios pasaron por un proceso de tamizado utilizando diferente tamaño de malla de partícula, con la finalidad de analizar el contenido en masa de cada fracción de tamaño para los sitios elegidos. Se eligieron distintos tamaños de malla y se obtuvieron los siguientes intervalos de tamaño de partículas: 2000 a 425  $\mu\text{m}$ , de 425 a 300  $\mu\text{m}$ , de 300 a 212  $\mu\text{m}$ , de 212 a 150  $\mu\text{m}$ , de 150 a 75  $\mu\text{m}$ , de 75 a 63  $\mu\text{m}$  y < 63

$\mu\text{m}$ . La totalidad de resultados de fraccionamiento de las muestras se pueden consultar en el anexo A. La mayor parte de las partículas están contenidas en la fracción de 75 a 150  $\mu\text{m}$  con un promedio de 23% del total, seguido de las mayores a 425  $\mu\text{m}$  con un 21%, de 212 a 150  $\mu\text{m}$  con un 14%, de 212 a 300  $\mu\text{m}$  con un 13%, de 300 a 425  $\mu\text{m}$  con 11%, posteriormente las  $< 63 \mu\text{m}$  con 10% y por último de 63 a 75  $\mu\text{m}$  con un 5%. El porcentaje de material que pasa por cada tamiz se observa en las Figuras 5.2 a 5.7. En la Figura 5.2 se muestran los porcentajes acumulados para los sitios 1 al 5, en la Figura 5.3 para los sitios del 6 al 10, en la Figura 5.4 para los sitios del 11 al 15, en la Figura 5.5 para los sitios del 16 al 20, en la Figura 5.6 para los sitios del 21 al 25 y en la Figura 5.7 del 26 al 30. En la ordenada se presenta el porcentaje acumulado que pasa la malla, mientras que en las abscisas se presentan los diámetros de partículas en  $\mu\text{m}$ .

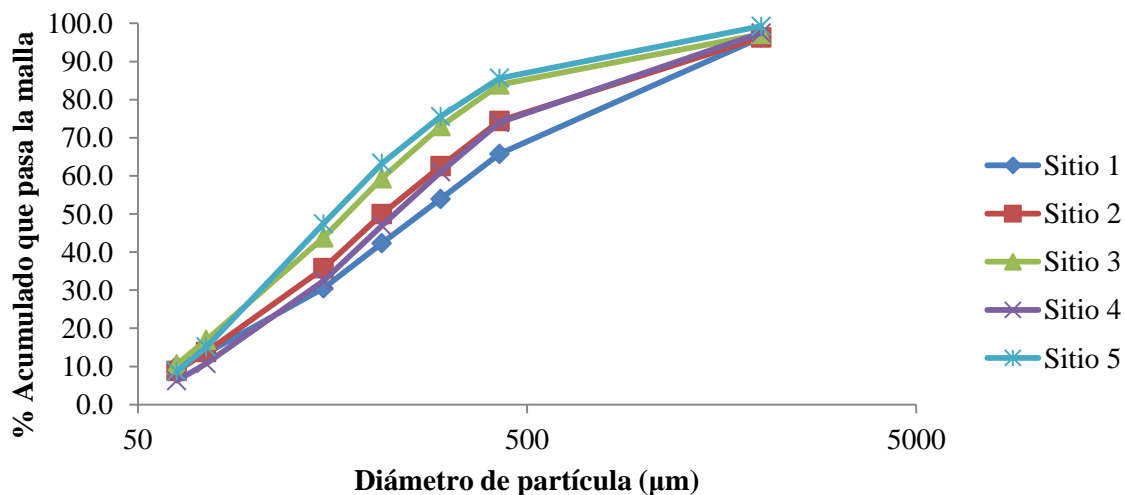


Figura 5.2. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 1 al 5).

Para los sitios del 1 al 5 (Figura 5.2) se observa que presentan un comportamiento similar en cuanto a distribución de las partículas, la mayoría se encuentra en la fracción de 75 a 150  $\mu\text{m}$ , que es donde se observa un mayor incremento en el porcentaje que pasa el tamiz. Se puede observar que el menor incremento en el porcentaje acumulado se presenta

en el intervalo de 63 a 75  $\mu\text{m}$ , sin embargo esto puede atribuirse a que la diferencia entre dichos tamaños es muy pequeña.

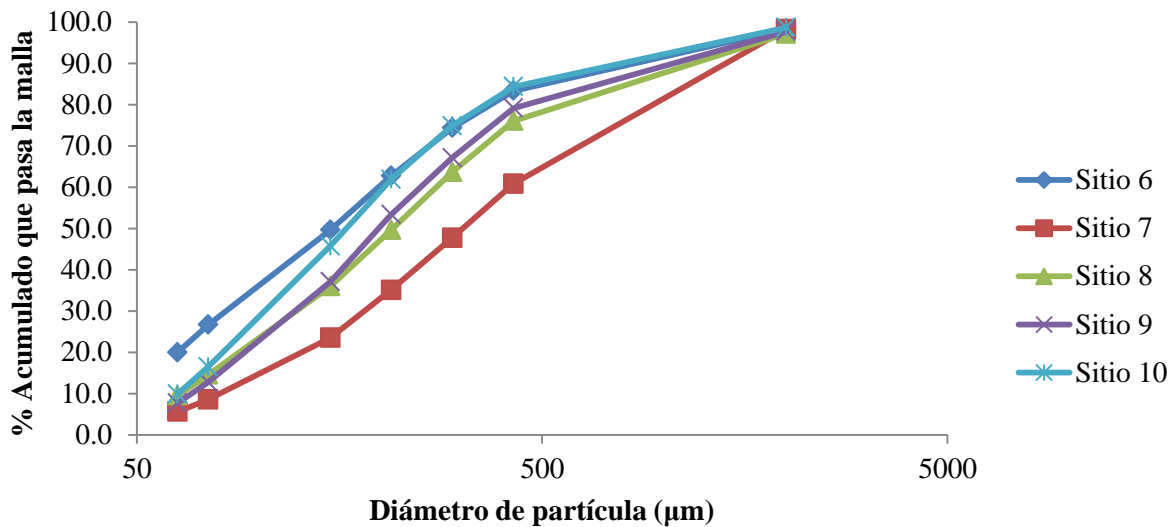


Figura 5.3. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 6 al 10).

Para los sitios del 6 a 10 (Figura 5.3) se observa que siguen un patrón similar, sin embargo no tan parecido al que existe entre los sitios del 1 al 5. El sitio 6 presenta un mayor porcentaje acumulado de partículas  $< 63 \mu\text{m}$  que el resto de los sitios, mientras que el sitio 7 presenta un porcentaje acumulado menor en todos los tamaños de partícula en comparación con los demás sitios mostrados en la Figura 5.3. De igual manera el sitio 7 presenta el mayor incremento en el porcentaje acumulado para la fracción de 425 a 2000  $\mu\text{m}$ , mientras que los sitios 6, 8, 9 y 10 presentan un mayor incremento en el intervalo de 75 a 150  $\mu\text{m}$ . Por otra parte, en la Figura 5.4 se observa un comportamiento distinto entre los sitios 11 al 15, ya que todos ellos presentan un porcentaje acumulado muy distinto para la fracción de  $< 63 \mu\text{m}$ , siendo el sitio 15 el que tiene un mayor acumulado en dicha fracción.

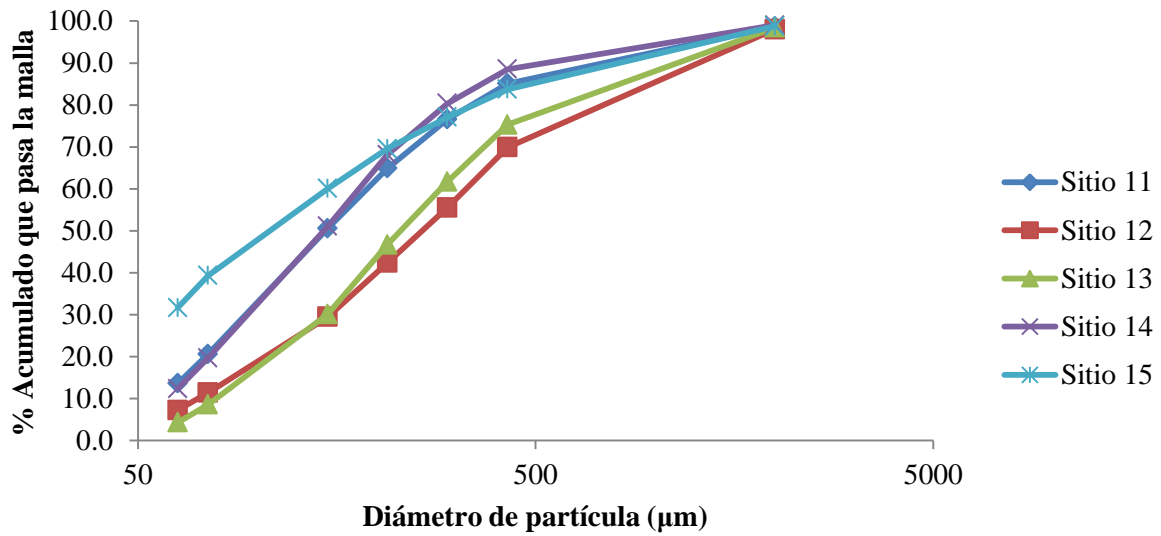


Figura 5.4. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 11 al 15).

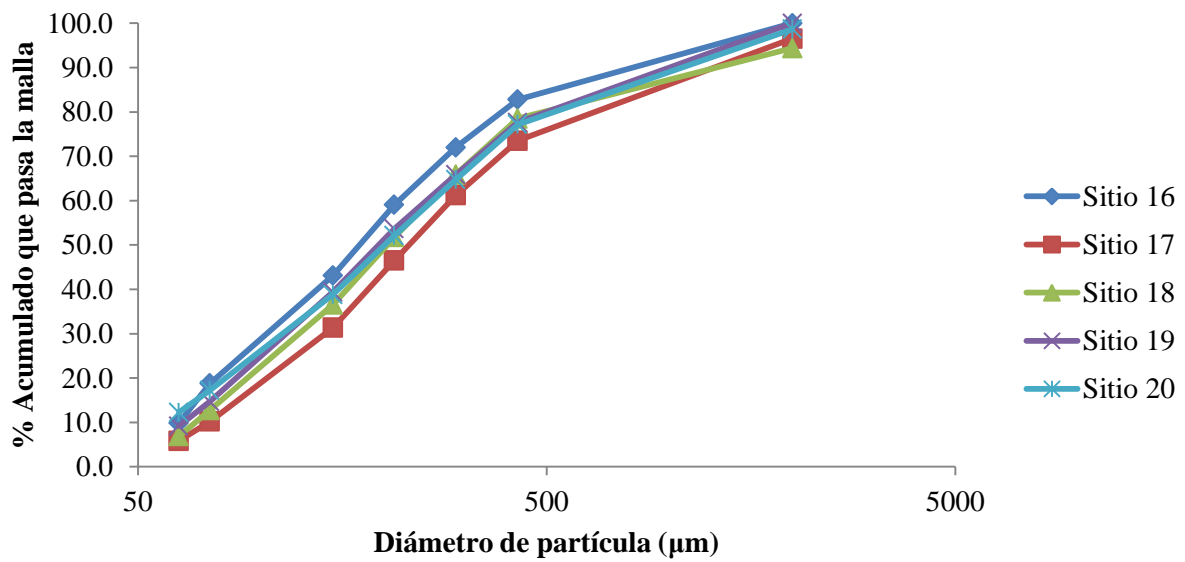


Figura 5.5. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 16 al 20).

En el caso de los sitios 16 al 20 (Figura 5.5), éstos siguen un comportamiento similar para cada tamaño de partícula, presentando el mayor porcentaje acumulado en la fracción de 75 a 150 µm. Para los sitios 21 al 25 (Figura 5.6) se observa un comportamiento casi lineal para el sitio 25 y el mayor incremento en el porcentaje acumulado se presenta para el

intervalo de 425 a 2000  $\mu\text{m}$ . En la Figura 5.7 se observan los sitios 26 al 30 en la cual se puede apreciar un comportamiento similar entre la distribución de partículas de dichos sitios, siendo el sitio 27 el que presenta una mayor cantidad de partículas gruesas y los sitios 26 y 27 quienes tienen una mayor cantidad de partículas finas.

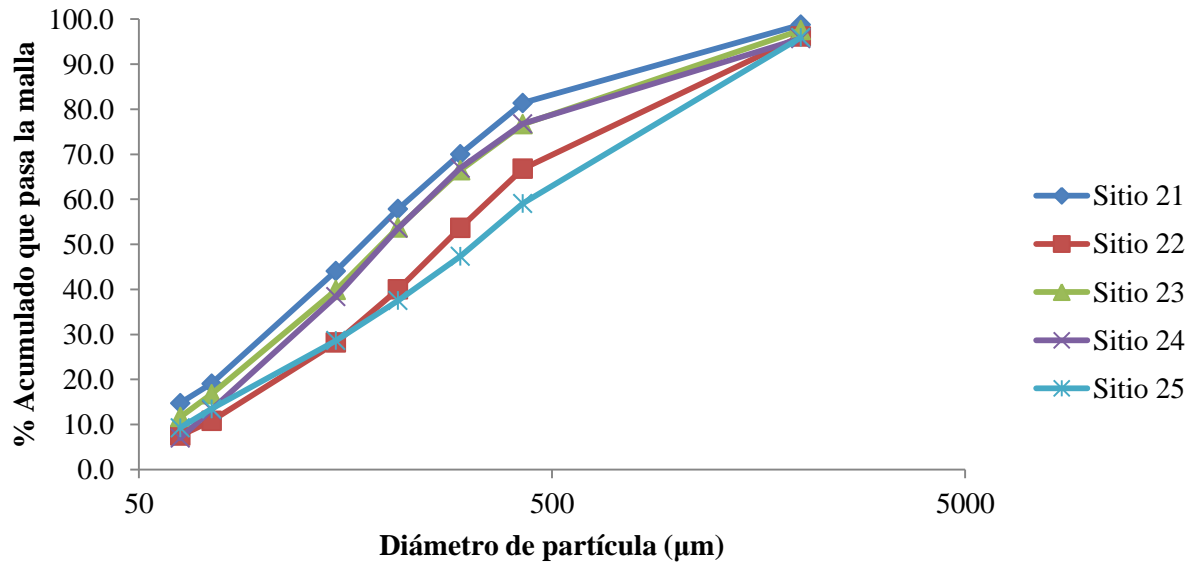


Figura 5.6. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 21 al 25).

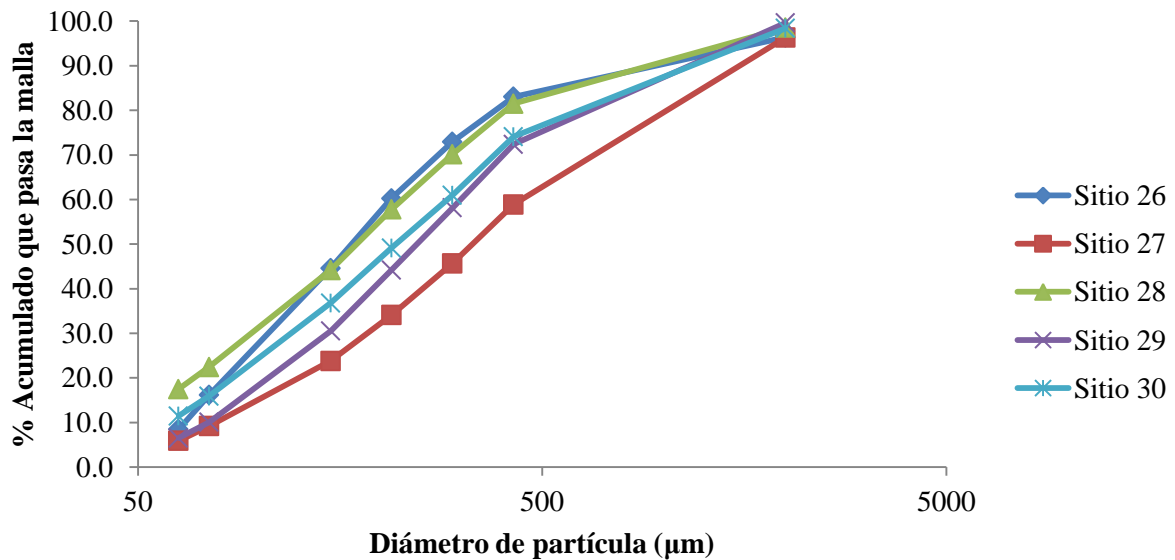


Figura 5.7. Granulometría en sedimentos depositados en calles (Sitio 26 al 30).

En base a las figuras anteriores se puede decir que un mayor porcentaje en masa de las muestras se encuentra en la fracción de 425 a 2000  $\mu\text{m}$ , es decir que las muestras están compuestas mayormente por arena.

## 5.2. Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)

### 5.2.1. Concentración de HTP en sedimentos depositados en calles

Las muestras obtenidas de los 30 sitios seleccionados fueron analizadas para cuantificar la concentración de HTP, tanto para la fracción de  $< 2 \text{ mm}$  como para la fracción de  $< 63 \mu\text{m}$ . Los resultados se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Resultados de cuantificación de HTP en las dos fracciones.

< 2 mm			< 63 $\mu\text{m}$		
Sitio	HTP (mg/kg)	HTP (mg/kg)	Sitio	HTP (mg/kg)	HTP (mg/kg)
1	9982	15420	16	4432	10721
2	2324	5841	17	4730	10824
3	1855	2049	18	4353	7585
4	1923	2371	19	3045	4339
5	2513	4553	20	5171	7319
6	2432	1256	21	3344	4100
7	5199	10292	22	29102	32703
8	1635	3718	23	5048	10573
9	3518	6107	24	4547	8012
10	2601	5283	25	2491	6814
11	7969	9334	26	5090	12704
12	4045	5358	27	3830	4481
13	5112	8042	28	6188	3222
14	4003	6496	29	9514	13831
15	3964	4180	30	1186	1194

Además de los sitios de RDS, se analizaron también los cuatro sitios seleccionados como referencia y los resultados se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Resultados de cuantificación de HTP en sitios de referencia.

<b>Sitio</b>	<b>HTP (mg/kg)</b>
La pechuga	862
UABC Otay	574
Valle Palmas	183
El Florido	174
Valle Palmas Duplicado	423

La concentración utilizada como concentración de referencia fue el promedio de Valle Palmas (303 mg/kg), ya que este fue el sitio más alejado de la zona urbana y por tanto el que menor contaminación por orígenes antropogénicos presenta.

### **5.2.2. Relación entre tamaño de partículas y concentración de HTP**

Para conocer si los datos obtenidos siguen una distribución normal se realizó la prueba Smirnov-Kolmogorov con la cual se determinó que no siguen dicha distribución. Se procedió a realizar una prueba de Grubbs para la eliminación de datos atípicos. Un valor atípico es una observación con un valor que no parece corresponder con el resto de los valores en el grupo de datos. La prueba de Grubbs consiste en utilizar un estadístico de prueba T, que es la diferencia absoluta entre el valor atípico  $X_o$  y el promedio de la muestra  $\bar{x}$  dividida por la desviación estándar,  $s$ , de la muestra.

$$T = |X_o - \bar{x}|/s$$

Dicho estadístico de prueba se compara con un valor crítico obtenido de tablas estadísticas en base al número de datos, n. Si el estadístico de prueba T excede el valor crítico, el valor se considera atípico.

Se puede observar en la Tabla 5.3 que la concentración del sitio 22 para ambas fracciones de tamaño presenta un comportamiento distinto a los demás sitios por lo que se procedió a realizar la prueba de Grubbs, mediante la cual se corroboró que las concentraciones para ambas fracciones del sitio 22 son atípicas y se procedió a eliminarlas para los resultados y análisis futuros. Las pruebas estadísticas realizadas se pueden consultar en anexo A Tablas 8.1 y 8.2. Con lo anterior se calcularon las medias de concentración para ambas fracciones obteniendo un promedio de  $4208 \text{ mg/kg} \pm 2144$  para el tamaño de partícula de  $< 2 \text{ mm}$  y  $6759 \text{ mg/kg} \pm 3732$  para las partículas  $< 63 \text{ }\mu\text{m}$ . Las concentraciones de HTP presentaron un intervalo de 1186 a 9982 mg/kg para la fracción de  $< 2 \text{ mm}$  y 1164 a 15420 mg/kg para la fracción de  $< 63 \text{ }\mu\text{m}$ , siendo el sitio 1 el que presentó la máxima concentración de hidrocarburos para ambas fracciones. En la Tabla 5.5 se muestran las concentraciones de HTP en ambas fracciones de tamaño y de acuerdo a ello se calculó qué porcentaje de grasa se encuentra contenida en la fracción más pequeña, es decir, la fracción de partículas  $< 63 \text{ }\mu\text{m}$ . Se puede observar que existe una variación entre el porcentaje de grasa contenido en la fracción más pequeña para cada sitio, sin embargo no se aprecia que estos presenten alguna secuencia o patrón. Dichos porcentajes presentan un intervalo de 8.51% a 35.19%, es decir que únicamente alrededor de un 17% de los HTP están presentes en la fracción más pequeña y que la mayor parte de éstos está en la fracción más grande, es decir, en los sedimentos con tamaños de partículas de  $> 63 \text{ }\mu\text{m}$  hasta 2 mm.

Tabla 5.5. Porcentaje de grasa contenido en la fracción más pequeña.

<b>Sitio</b>	<b>HTP (mg/kg) &lt; 2 mm</b>	<b>HTP (mg/kg) &lt; 63 <math>\mu</math>m</b>	<b>% Grasa en la fracción más pequeña</b>
1	9982	15420	11
2	2324	5841	28
3	1855	2049	10
4	1923	2371	10
5	2513	4553	19
6	2432	1256	6
7	5199	10292	17
8	1635	3718	22
9	3518	6107	13
10	2601	5283	19
11	7969	9334	17
12	4045	5358	11
13	5112	8042	9
14	4003	6496	25
15	3964	4180	35
16	4432	10721	33
17	4730	10824	19
18	4353	7585	15
19	3045	4339	16
20	5171	7319	18
21	3344	4100	18
23	5048	10573	25
24	4547	8012	16
25	2491	6814	26
26	5090	12704	17
27	3830	4481	8
28	6188	3222	9
29	9514	13831	10
30	1186	1194	12

### 5.2.3. Relación entre concentración de HTP y material de construcción

Las muestras tomadas de los 29 sitios seleccionados fueron clasificadas por el material de construcción del sitio en que fueron obtenidas. Se clasificaron en dos tipos de material: concreto y asfalto. Las muestras se clasificaron de la siguiente manera, 19 sitios con asfalto y 10 sitios con concreto como material de construcción. Las concentraciones de HTP en las muestras de acuerdo a su clasificación por material de construcción se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Concentración de HTP clasificadas por material de construcción.

Sitio	Material de construcción		Concentración de HTP (mg/kg)	
	Asfalto	Concreto	< 2 mm	< 63 $\mu$ m
1	X		9982	15420
2		X	2324	5841
3		X	1855	2049
4		X	1923	2371
5	X		2513	4553
6	X		2432	1256
7	X		5199	10292
8	X		1635	3718
9		X	3518	6107
10		X	2601	5283
11	X		7969	9334
12		X	4045	5358
13	X		5112	8042
14	X		4003	6496
15	X		3964	4180
16	X		4432	10721
17	X		4730	10824
18	X		4353	7585
19		X	3045	4339

Continuación Tabla 5.6

Sitio	Material de construcción		Concentración de HTP (mg/kg)	
	Asfalto	Concreto	< 2 mm	< 63 $\mu$ m
20	X		5171	7319
21	X		3344	4100
23	X		5048	32703
24	X		4574	10573
25	X		2491	8012
26	X		5090	6814
27		X	3830	12704
28		X	6188	4481
29	X		9514	3222
30		X	1782	13831

Las medias de las concentraciones por material de construcción son  $4817 \pm 2232$  mg/kg para asfalto y  $3051 \pm 1436$  mg/kg para concreto. Para conocer si existe diferencia entre las medias de las concentraciones para ambos materiales de construcción se realizó un análisis ANOVA, la cual determinó que las medias entre las concentraciones de asfalto y concreto son distintas con un nivel de confianza de 95%.

Con lo anterior se puede decir que la concentración de HTP es mayor en los sitios que tienen asfalto como material de construcción atribuyéndose a que en las muestras tomadas de las calles con asfalto podrían contener partículas de este material, producto del desgaste del pavimento.

Al momento de realizar la extracción con hexano de los HTP, se observó una notable diferencia entre el color de los extractos de las muestras tomadas de aquellos sitios construidos con asfalto con respecto a aquellos construidos con concreto.

Los extractos de muestras de sitios construidos con asfalto presentaban un tono amarillento con tendencia a naranja y una consistencia aceitosa, mientras que los extractos

de muestras provenientes de sitios construidos con concreto presentaron un tono amarillo paja. Las medias de concentración de HTP para la fracción de < 2 mm fueron de  $4817 \pm 2232$  mg/kg para asfalto y  $3051 \pm 1436$  mg/kg para concreto, mientras que para la fracción de < 63  $\mu$ m fueron de  $8199 \pm 3721$  mg/kg para asfalto y de  $4025 \pm 1719$  mg/kg para concreto.

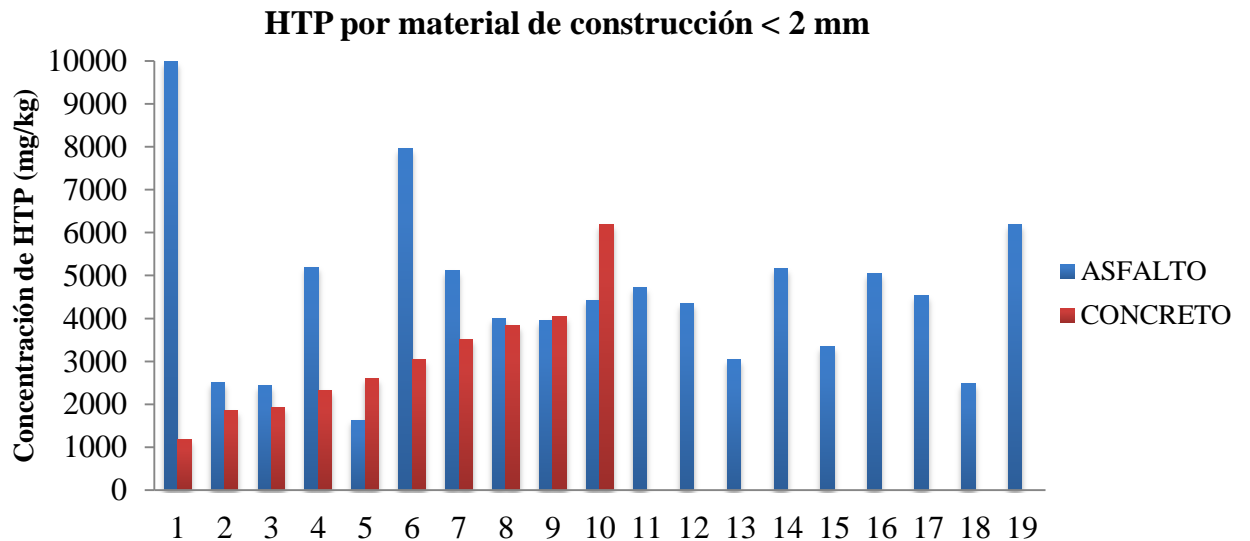


Figura 5.8. Comparativo de concentración de HTP (< 2 mm) por material de construcción.

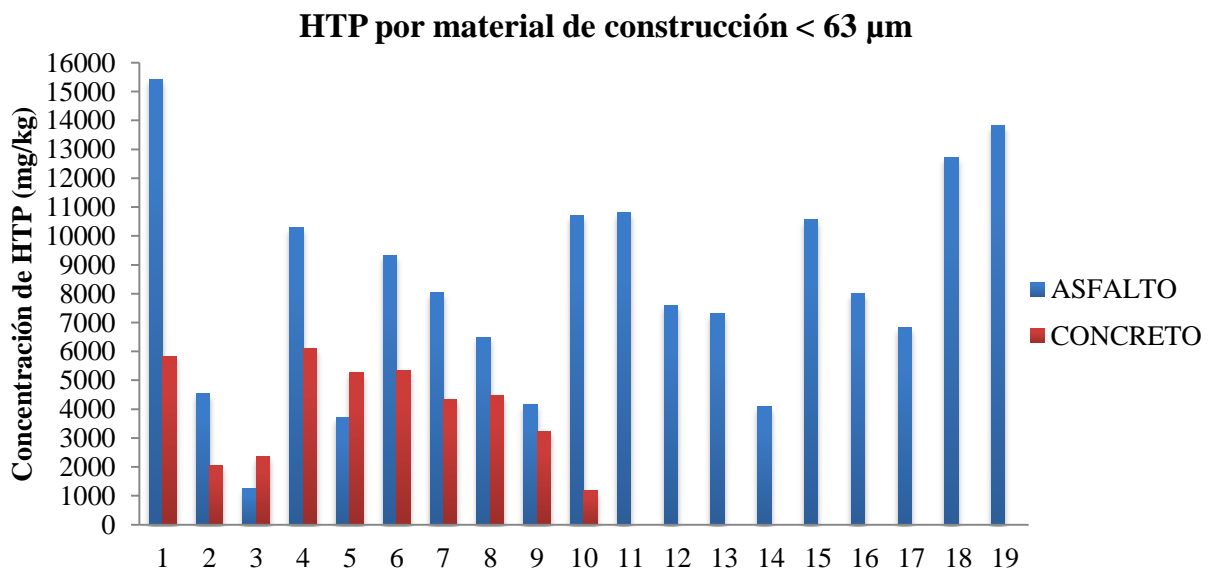


Figura 5.9. Comparativo de concentración de HTP (< 63  $\mu$ m) por material de construcción.

En las Figuras 5.8 y 5.9 se puede observar que las concentraciones de HTP en los sitios con asfalto fueron constantemente superiores a las concentraciones de aquellos sitios con calles de concreto, con excepción de uno de los sitios. Con lo anterior se puede inferir que el asfalto contribuye con la presencia de hidrocarburos en los sedimentos depositados en calles.

#### 5.2.4. Relación entre concentración de HTP y tráfico

Los datos de aforos vehiculares de algunos sitios fueron proporcionados por la Dirección de Obras Públicas y Planeación Urbana del Ayuntamiento de Tijuana, mientras que los faltantes fueron llevados a cabo durante la presente investigación. La intensidad de tráfico se clasificó de la siguiente manera: tráfico alto para aquellos sitios con un flujo vehicular de 15 000 a 20 000 vehículos por día y tráfico bajo aquellos sitios con flujos vehiculares menores a 10 000 vehículos por día. La clasificación por intensidad de tráfico de cada sitio y el contenido de HTP se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Clasificación de intensidad de tráfico de los sitios estudiados.

Sitio	Intensidad de tráfico	HTP < 2 mm (mg/kg)	HTP < 63 µm (mg/kg)
1	Bajo	9982	15420
2	Alto	2324	5841
3	Alto	1855	2049
4	Alto	1923	2371
5	Bajo	2513	4553
6	Alto	2432	1256
7	Alto	5199	10292
8	Bajo	1635	3718

Continuación Tabla 5.7

Sitio	Intensidad de tráfico	HTP < 2 mm (mg/kg)	HTP < 63 µm (mg/kg)
9	Alto	3518	6107
10	Bajo	2601	5283
11	Alto	7969	9334
12	Alto	4045	5358
13	Alto	5112	8042
14	Alto	4003	6496
15	Bajo	3964	4180
16	Bajo	4432	10721
17	Bajo	4730	10824
18	Alto	4353	7585
19	Alto	3045	4339
20	Bajo	5171	7319
21	Bajo	3344	4100
23	Bajo	5048	10573
24	Bajo	4547	8012
25	Bajo	2491	6814
26	Bajo	5090	12704
27	Alto	3830	4481
28	Alto	6188	3222
29	Alto	9514	13831
30	Bajo	1186	1194

Las medias de concentración de HTP en tamaño de  $< 2$  mm para los sitios de tráfico alto fue de  $4354 \pm 2191$  mg/kg, mientras que para los de tráfico bajo fue  $4052 \pm 2163$  mg/kg. Para el tamaño de partícula  $< 63$   $\mu$ m la media de concentración de HTP fue de  $6040 \pm 3405$  mg/kg para tráfico alto y  $7530 \pm 4035$  mg/kg para tráfico bajo. Se realizaron dos análisis t-student con la finalidad de conocer si existe una diferencia entre las medias de concentración de HTP en tráfico alto y las concentraciones de HTP en tráfico bajo, para cada tamaño de partícula. Los resultados de dichas pruebas arrojaron que no existe una diferencia significativa entre las medias de las concentraciones de HTP y la intensidad de tráfico con una confianza del 95%.

#### **5.2.5. Relación entre uso de suelo y concentración de HTP**

La zona urbana de Tijuana se caracteriza por no tener bien definido el uso de suelo, ya que es muy común observar zonas habitacionales muy cercanas a industrias y a comercios, por lo que es difícil ubicar vialidades con uso de suelo únicamente industrial o únicamente comercial. La mayoría de los sitios fueron clasificados como zonas con uso de suelo comercial, seguido de habitacional y por último con una menor cantidad de sitios uso de suelo industrial. Las características de cada uno de los sitios de estudio se pueden observar en la Tabla 3.2. Las concentraciones de HTP de acuerdo al uso de suelo se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Concentración de HTP por uso de suelo de los sitios analizados.

HTP (mg/kg)		
Habitacional	Comercial	Industrial
9982	2324	1855
1635	5199	1923
4003	3518	2513
3964	7969	2432
4432	4045	2601
4730	5112	
5048	4353	
5090	3045	
1186	5171	
	3344	
	4547	
	2491	
	3830	
	6188	
	9514	

El uso de suelo habitacional presentó una media de concentración de HTP de  $4452 \pm 2511$  mg/kg, el uso de suelo comercial una media de  $4710 \pm 1974$  mg/kg y el industrial una media de  $2265 \pm 349$  mg/kg. Para conocer si existe una diferencia significativa entre las medias de concentración de HTP en los diferentes usos de suelo se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el cual se encontró que las medias difieren significativamente con una confianza del 95%, por lo cual se puede decir que el uso de suelo afecta la concentración de los HTP en los sedimentos depositados en calles.

### **5.3. Metales pesados en sedimentos depositados en calles**

Los metales pesados analizados en los sedimentos depositados en calles fueron Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg). El análisis se realizó a todos los sitios muestreados, incluyendo el sitio 22 que para los HTP fue eliminado por arrojar resultados atípicos. Así mismo, se analizaron las concentraciones de dichos metales en las muestras de suelos de referencia. El análisis de los metales pesados únicamente se realizó en las muestras < 2 mm, debido al costo que representaba el análisis de ambas fracciones de tamaño. Las muestras fueron analizadas mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer M3100 con horno de grafito. Las concentraciones de los metales pesados se muestran en la Tabla 5.9, así mismo se observan también las medias de las concentraciones y la desviación estándar para cada metal.

#### **5.3.1. Concentración de metales pesados en sedimentos depositados en calles**

Las medias de las concentraciones de los cinco metales analizados (Pb, Cu, Cr, Cd y Hg) en los sedimentos depositados en calles para los treinta sitios muestreados se muestran al final de la Tabla 5.9. Se puede apreciar que el metal que muestra la concentración media más alta es el cobre, 49.4 mg/kg; seguido del plomo, 31.3 mg/kg. Las medias más bajas se presentaron en cadmio y mercurio, ambas de 0.1 mg/kg. Las concentraciones más altas encontradas en los treinta sitios analizados para Pb, Cu, Cr, Cd y Hg son 72.39, 140.23, 38.92, 3.03 y 0.28 mg/kg, las cuales pertenecen a los sitios 27, 5, 27, 28 y 27 respectivamente. En base a lo anterior se puede apreciar que el sitio 27 (Zona Río) es el que presenta una mayor concentración de la mayoría de los metales analizados; este sitio tiene la mayor concentración de plomo, cromo y mercurio, dicho sitio está ubicado en una de las

zonas comerciales con mayor afluencia de vehículos y en constante remodelación de edificios.

Tabla 5.9. Concentración de metales pesados en sedimentos depositados en calles.

Sitio	Medias de concentración (mg/kg)				
	Pb	Cu	Cr	Cd	Hg
1	23.58	28.75	6.83	ND	0.10
2	43.26	76.25	27.07	ND	0.07
3	43.73	26.53	20.56	ND	0.14
4	14.52	49.21	21.84	ND	0.09
5	51.00	140.23	25.27	ND	0.06
6	44.36	106.23	17.96	1.21	0.16
7	20.02	98.84	14.35	ND	0.12
8	35.52	91.82	12.46	ND	0.08
9	68.16	87.82	21.38	ND	0.05
10	31.08	79.67	20.55	ND	0.05
11	4.60	60.10	14.90	ND	0.05
12	27.87	58.28	17.02	ND	0.08
13	52.22	54.68	21.04	ND	0.10
14	6.64	49.35	26.90	ND	0.09
15	19.48	21.63	4.23	ND	0.06
16	29.37	22.29	3.78	ND	0.06
17	12.95	28.71	13.63	ND	0.07
18	6.76	29.09	20.63	ND	0.21
19	30.94	33.17	19.52	ND	0.07
20	39.77	27.49	17.66	ND	0.09
21	41.07	29.21	24.60	ND	ND
22	16.59	27.91	2.95	ND	ND
23	25.21	20.70	4.49	ND	0.03
24	46.77	31.59	14.72	ND	0.28

Continuación Tabla 5.9

Sitio	Medias de concentración (mg/kg)				
	Pb	Cu	Cr	Cd	Hg
25	34.08	31.97	15.11	ND	0.04
26	34.63	30.97	11.64	ND	ND
27	72.39	40.17	38.92	ND	0.22
28	1.71	38.55	15.78	3.03	0.04
29	29.92	33.65	14.70	ND	ND
30	30.77	28.39	8.21	ND	ND
<b>Media en RDS</b>	<b>31.3</b>	<b>49.4</b>	<b>16.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
Desviación					
Estándar	17.4	30.3	8.0	0.6	0.1
Palmas	5.72	12.91	1.07	ND	ND
La Pechuga	4.73	8.73	10.25	ND	ND
UABC Otay	5.09	9.05	7.55	ND	ND
<b>Medias</b>	<b>5.18</b>	<b>10.23</b>	<b>6.29</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>
Desviación					
Estándar	0.50	2.32	4.72	ND	ND

ND= No detectada

### 5.3.1.1. Plomo (Pb)

Las concentraciones de plomo en los sedimentos depositados en calles presentaron una media de 31.8 mg/kg, con un intervalo de 1.68 a 72.35 mg/kg. La concentración más baja se presentó en el sitio 28, el cual está clasificado como de tráfico alto, sin embargo en el sitio se observó que los habitantes barren la calle con frecuencia por lo que la muestra podría haber estado compuesta principalmente de material o suelo de las jardineras adyacente a la calle, lo cual provocó un efecto de “dilución” de contaminantes. El sitio 27

fue en el cual se encontró el valor más alto para plomo; dicho sitio está construido de concreto y clasificado como de tráfico alto, en él se pudo observar una gran acumulación de sedimentos provenientes del arrastre del viento y de los escurrimientos, además a unos metros de donde se obtuvo la muestra se estaba construyendo un edificio con estructura metálica. La alta concentración de plomo en dicho sitio se puede atribuir al tráfico alto y al desgaste de los neumáticos de los vehículos que circulan por esa vialidad. Se compararon los valores obtenidos de plomo en cada uno de los sitios con los valores de referencia que es de 5.18 mg/kg y se observó que únicamente dos sitios se encuentran por debajo de éste valor, por lo que se puede inferir que en el resto de ellos existe una contribución antropogénica.

#### **5.3.1.2. Cobre (Cu)**

Las concentraciones promedio de cobre presentes en los sedimentos depositados en calles tuvieron una media de 41.4 mg/kg, con un intervalo de 20.70 a 140.23 mg/kg. La concentración más baja se encontró en el sitio 23, mientras que la más alta en el sitio 5. El sitio 23 es una zona habitacional de tráfico vehicular bajo con asfalto como material de construcción; el sitio 5 es una zona clasificada como de tráfico bajo, con asfalto como material de construcción y de uso de suelo industrial por el cual circulan una gran cantidad de camiones y tráileres. La alta concentración de cobre en dicho sitio se le puede atribuir al tipo de uso de suelo y al tipo de transporte que circula por él. Las fuentes posibles a las que se les puede atribuir la alta concentración de Cu es el desgaste de los neumáticos y frenos de los vehículos que transitan por el sitio, así como combustión y emisiones industriales (Makepeace *et al.*, 1995).

#### **5.3.1.3. Cromo (Cr)**

La concentración promedio de cromo en los sedimentos depositados en calles fue de 16.6 mg/kg, con un intervalo de 2.95 a 38.92 mg/kg. El sitio 22 presentó la concentración más baja; sin embargo, por fines estadísticos se eliminó y el sitio 16 pasó a ser el que presentó una menor concentración. La concentración más alta se presentó en el sitio 27, al igual que para Pb. El sitio 16 está clasificado como de tráfico bajo y tiene un uso de suelo habitacional. Las características del sitio 27 ya fueron descritas anteriormente y las posibles fuentes de la alta concentración de Cr son el desgaste y corrosión de baleros y bujes, así como de las partes móviles del motor de los automóviles.

#### **5.3.1.4. Mercurio (Hg)**

Las concentraciones de Hg presentaron una media de 0.1 mg/kg, con un intervalo de ND a 0.28. La concentración de Hg más alta encontrada fue en el sitio 25, el cual tiene tráfico bajo y se ubica en la zona centro de la ciudad, ubicado frente a una gasolinera y varios consultorios dentales. Se ha encontrado que las fuentes principales de mercurio son las emisiones de industrias con procesos de cloro-alcali, quema de carbón, industria de la pintura y amalgamas dentales. Ya que en la zona no hay actividad industrial, la única fuente posible podría ser un mal manejo de los productos y residuos de los consultorios dentales.

#### **5.3.1.5. Cadmio (Cd)**

Las concentraciones de cadmio presentaron una media de 0.1 mg/kg, sin embargo únicamente dos sitios presentaron concentraciones detectables de este metal, que son el sitio 7 y el sitio 28, siendo éste último el de mayor concentración. Ambos sitios se

encuentran clasificados como de tráfico alto. Las fuentes posibles de contaminación pudieran ser el desgaste de balatas, frenos y neumáticos.

#### **5.4. Análisis estadístico de metales pesados en sedimentos depositados en calles**

##### **5.4.1. Correlaciones entre parámetros analizados y metales pesados**

Con el objetivo de conocer si existe alguna relación entre los metales pesados detectados y los demás parámetros analizados se realizaron distintas pruebas estadísticas. En la Tabla 5.10 se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson. En dicha tabla se aprecia que existe una relativamente alta correlación ( $r=0.57$ ) entre el porcentaje de arcilla y el cadmio a un nivel de significancia de 0.01; sin embargo, debido a que las concentraciones de cadmio en la mayoría de los sitios analizados fue no detectada (ND), dicha correlación no se puede tomar como un valor representativo. El porcentaje de materia orgánica (MO) únicamente muestra una correlación considerable ( $r=0.51$ ) con el porcentaje de arcilla a una significancia de 0.01.

El cromo presentó una relativa correlación con Pb, Cu y Hg ( $r^2=0.33\sim 0.42$ ) a un nivel de significancia de 0.05. Se encontró una relativamente baja correlación entre el mercurio y el pH; sin embargo, se repite el caso de que en la mayoría de los sitios no se detectó (ND) mercurio y por tanto el valor no es representativo.

El porcentaje de arcilla muestra correlaciones relativas (0.34) con el % limo y con el pH a un nivel de significancia de 0.05, esto se le puede atribuir a que el valor del pH está en función de los iones y éstos a su vez en función de la cantidad de materia orgánica presente en los sedimentos. De las correlaciones obtenidas y tomadas en cuenta la más alta se encontró entre Cr y Pb ( $r=0.42$ ), lo cual indica que estos dos metales provienen de una fuente en común la cual puede ser el desgaste de las partes móviles de los vehículos.

La correlación relativamente baja entre Cr y Cu ( $r=0.33$ ) a un nivel de significancia de 0.05, indica que estos metales podrían tener una fuente en común, la cual puede ser el desgaste de neumáticos, balatas, baleros o bujes o el desgaste de las partes móviles del motor del vehículo. Estos desgastes dependen íntimamente de la intensidad del tráfico vehicular. Se pudo observar que para todos los metales, la media de concentración fue más alta para concreto, y esto podría atribuirse a que en el concreto se presenta un mayor desgaste de los neumáticos.

Tabla 5.10. Correlación entre los diferentes metales analizados y otros parámetros de los sedimentos depositados en calle

	Pb	Cu	Cr	Cd	Hg	%MO	% arcilla	% limo	pH
Pb	1.00								
Cu	0.28	1.00							
Cr	0.42**	0.33**	1.00						
Cd	-0.26	0.06	-0.02	1.00					
Hg	0.21	0.06	0.33**	-0.02	1.00				
%MO	-0.08	-0.19	-0.11	0.16	0.29	1.00			
% arcilla	-0.20	0.26	0.11	0.57*	0.26	0.51*	1.00		
% limo	-0.13	0.01	-0.29	0.30	-0.02	0.26	0.34**	1.00	
pH	0.23	0.24	0.24	-0.18	0.41**	-0.06	0.34**	0.10	1.00

MO: Materia orgánica

\*Correlación significativa a un nivel de 0.01 (dos colas)

\*\*Correlación significativa a un nivel de 0.05 (dos colas)

### 5.4.2. Índice de geoacumulación

El índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ) fue propuesto por Müller en 1969 y se utiliza como un indicador cuantitativo de la contaminación por metales pesados en suelos y sedimentos. El  $I_{geo}$  se expresa de la siguiente forma:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right)$$

Donde  $C_n$  es la concentración del metal analizado en el sedimento y  $B_n$  es el valor de fondo del metal en sedimento. El índice de geoacumulación consiste de 7 clases los cuales se muestran en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Clasificación de índice de geoacumulación y grado de contaminación.

Valor de $I_{geo}$	$I_{geo}$	Grado de contaminación
0	$I_{geo} \leq 0$	No contaminado
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	Moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	Fuertemente a muy fuertemente contaminado
6	$I_{geo} > 5$	Muy fuertemente contaminado

Fuente: Loska et. al, 1997

En la Tabla 5.12 se muestran los índices de geoacumulación de los metales pesados analizados para cada sitio de estudio, así como los valores de la muestra basal, estos índices van desde no contaminado, hasta muy fuertemente contaminado.

Los resultados indican que los sitios de estudio están de moderado a fuertemente contaminados con Pb (clase 3); moderado a fuertemente contaminado con Cu (clase 2 y 3); moderadamente contaminados con Cr (clase 2) y no contaminados con Cd y Hg (clase 0).

Los valores de Igeo más altos se presentaron en los siguientes sitios: para Pb y Cr en el sitio 27, para Cu en el sitio 5, para Cd el sitio 28 y para Hg en el sitio 24.

Se observa entonces que el sitio 27 se encuentra fuertemente contaminado por Pb y moderadamente contaminado con Cr, lo cual se le puede atribuir al tráfico alto de la zona.

Para el Cu, el sitio 5 que es donde se presentó el valor de Igeo más alto y de acuerdo a esto se puede decir que está fuertemente contaminado y esto se podría atribuir a que es una zona industrial y de tráfico alto.

Para Cd se encontró un valor de Igeo clase 5, es decir de fuertemente a muy fuertemente contaminado; sin embargo, únicamente dos sitios presentaron concentraciones detectables de este metal por lo que no se podrían tomar como valores representativos.

Por último, para el Hg se encontró un Igeo de clase 2, por lo que el sitio podría estar moderadamente contaminado con mercurio.

Tabla 5.12. Valores promedio de los índices de geoacumulación de metales pesados en las muestras y basal de los sedimentos depositados en calles.

<b>Sitio</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>
<b>1</b>	1.60	0.38	-0.76	0.00	0.47
<b>2</b>	2.48	2.14	1.45	0.00	-0.14
<b>3</b>	2.49	0.21	1.03	0.00	0.89
<b>4</b>	0.90	1.40	1.12	0.00	0.27
<b>5</b>	2.71	3.10	1.35	0.00	-0.28
<b>6</b>	2.51	2.67	0.82	3.16	1.12
<b>7</b>	1.36	2.55	0.47	0.00	0.70

Continuación Tabla 5.12

<b>Sitio</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>
<b>8</b>	2.19	2.44	0.25	0.00	0.04
<b>9</b>	3.13	2.36	1.09	0.00	-0.51
<b>10</b>	2.00	2.21	1.03	0.00	-0.73
<b>11</b>	-0.77	1.74	0.53	0.00	-0.53
<b>12</b>	1.84	1.69	0.74	0.00	0.18
<b>13</b>	2.75	1.58	1.07	0.00	0.37
<b>14</b>	-0.24	1.40	1.44	0.00	0.30
<b>15</b>	1.32	-0.26	-1.67	0.00	-0.29
<b>16</b>	1.92	-0.19	-1.91	0.00	-0.28
<b>17</b>	0.73	0.38	0.39	0.00	-0.14
<b>18</b>	-0.21	0.40	1.04	0.00	1.45
<b>19</b>	1.99	0.67	0.95	0.00	-0.15
<b>20</b>	2.35	0.28	0.80	0.00	0.26
<b>21</b>	2.40	0.41	1.31	0.00	0.00
<b>23</b>	1.70	-0.37	-1.55	0.00	-1.45
<b>24</b>	2.59	0.57	0.51	0.00	1.89
<b>25</b>	2.13	0.59	0.55	0.00	-0.79
<b>26</b>	2.15	0.53	0.14	0.00	-5.23
<b>27</b>	3.22	1.03	2.00	0.00	1.56
<b>28</b>	-2.21	0.95	0.62	4.49	-0.74
<b>29</b>	1.94	0.70	0.51	0.00	0.00
<b>30</b>	1.98	0.35	-0.44	0.00	0.00
<b>Media</b>	1.69	1.10	0.51	0.26	-0.06
<b>Concentración basal</b>	5.18	10.23	6.29	0.09	0.05
<b>(mg/kg)</b>					

### 5.4.3. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística utilizada para sintetizar información. Es decir, ante un conjunto de datos con diversas variables, su objetivo será reducirlas a un número menor, perdiendo la menor cantidad de información posible. Ésta técnica busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados.

Una de las ventajas del ACP, es que al reducir la dimensionalidad de un grupo de datos, tiene aquellas características que contribuyen más a su varianza. El ACP es una técnica muy utilizada para una mejor comprensión de las relaciones existentes entre distintos metales pesados y ha sido aplicada para la identificación de fuentes de metales pesados en suelos y sedimentos en diversos estudios (Lu *et al.*, 2009, Zhang *et al.*, 2009). Los resultados del ACP se muestran en la Tabla 5.13. De acuerdo con los valores, dos componentes fueron seleccionados, los cuales explican el 96.5% de la varianza total.

Tabla 5.13. Análisis de componentes principales para metales en sedimentos depositados en calles.

	PC1	PC2
Pb	0.225	-0.957
Cu	0.970	0.238
Cr	0.098	-0.163
Cd	0.001	0.010
Hg	0.000	-0.001
Var. (%) <sup>1</sup>	75.1	21.4
Acum. (%) <sup>2</sup>	75.1	96.5

<sup>1</sup>Var.: Varianza. <sup>2</sup>Acum.: acumulativo

El primer componente (PC1) explica el 75.1% de la varianza total y el segundo el 21.4%. El primer componente principal (PC1) incluye Cu y posiblemente Pb, lo cual indica que se tiene una fuente en común de estos metales, la cual puede ser el desgaste de neumáticos y balatas, bujes y baleros (Makepeace *et al.*, 1995). En el segundo componente principal (PC2) no se observan valores altos, siendo nuevamente para Cu el valor más alto presente.

#### **5.4.4. Metales pesados y material de construcción**

Para conocer si existe relación entre el material de construcción de la calle y la concentración de cada metal se realizaron pruebas t-student para cada uno de ellos con una confianza del 95% en las cuales se encontró que las medias de concentración de los metales analizados difieren según el material de construcción del sitio, siendo mayor para los de concreto en todos los metales estudiados. Los resultados de las pruebas t-student se pueden observar en el anexo A.

#### **5.4.5. Metales pesados e intensidad de tráfico**

Se realizaron pruebas t-student con el objetivo de conocer si hay una diferencia significativa entre la concentración de los metales y la intensidad de tráfico de las calles estudiadas a una confianza del 95%. Se encontró que las medias difieren para todos los metales de acuerdo a la clasificación de tráfico; sin embargo, no se encontró algún patrón de comportamiento de dichas concentraciones, sino que difieren según el metal de análisis.

En el caso del Pb la media de concentración más alta se encontró en tráfico bajo; para Cu en tráfico alto, al igual que para Cr y Cd; mientras que para Hg las medias de concentración fueron iguales tanto como tráfico alto como para tráfico bajo. La

clasificación anterior es en relación a las medias de concentración; sin embargo, las concentraciones más altas fueron encontradas en sitios de tráfico alto para todos los metales excepto para Cu, en el cual se encontró en un sitio de tráfico bajo.

De acuerdo a lo encontrado en relación a la intensidad de tráfico se puede decir que si existe una contribución de éste en la concentración de metales encontrada. Las pruebas t-student que se realizaron para este apartado se pueden encontrar en el anexo A.

## **5.5. Comparación de resultados con otros estudios publicados**

Se realizaron comparaciones de los niveles de HTP y metales pesados encontrados en este estudio con otros casos de estudio publicados en distintas partes del mundo con la finalidad de poder tomarlos como referencia.

### **5.5.1. Comparación de la concentración de HTP con otros estudios publicados**

La Tabla 5.14 muestra una comparación entre los valores de concentración de HTP obtenidos en otros estudios y los obtenidos en el presente estudio. Se observa que las concentraciones de HTP encontrados en la ciudad de Tijuana son altos con respecto al resto de los estudios publicados. La concentración promedio de HTP reportados en este estudio es 12279 veces mayor al promedio encontrado en Ogún, Nigeria por Adeniyi y Owoade (2010). Esto puede deberse a diversos factores como la diferencia entre la cantidad de calles pavimentadas, el tipo de material de construcción del pavimento e inclusive a los terrenos baldíos, los cuales pudieron provocar un efecto de dilución significativo en las muestras de Nigeria. La concentración promedio para avenidas de tráfico alto en el estudio realizado en Tshwane, Sudáfrica por Okonkwo *et al.*, (2006) muestra también concentraciones casi 10 veces menores al promedio presentado en el presente estudio, es

decir que en todas las comparaciones se observa una mayor contaminación por HTP en Tijuana.

Tabla 5.14. Comparación de la concentración de HTP en sedimentos depositados en calles de este estudio y los obtenidos en otros estudios.

<b>SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN CALLES</b>			
Área de estudio	Uso de suelo	HTP (mg/kg)	Referencia
Ogún, Nigeria	Calle de bajo tráfico	0.33	Adeniyi y Owoade, 2010
	Parada de autobús	16.11	
Tshwane, Sudáfrica	Estación de gasolina	1866	Okonkwo <i>et al.</i> , 2006
	Avenida de tráfico alto	505	
	Avenida de tráfico alto	404	
<b>Tijuana, México</b>	<b>Avenidas de tráfico alto</b>	<b>4354</b>	<b>Este estudio</b>
	<b>Calles tráfico bajo</b>	<b>4052</b>	

### 5.5.2. Comparación de la concentración de metales pesados con otros estudios publicados

La Tabla 5.15 muestra una comparación entre los valores de concentración de metales pesados obtenidos en otros estudios y los resultados del presente caso.

Tabla 5.15. Comparación de concentraciones de metales pesados en sedimentos depositados en calles.

Área de estudio	Medias de concentración (mg/kg)				Referencia
	Cr	Cu	Pb	Hg	
Hong Kong, China	327	600	1061	7	Ho <i>et al.</i> , 2003
Halifax, Canadá	69	87	1297	NA	Fergusson y Ryan, 1984
Nueva York, EU.	125	356	2583	NA	
Christchurch, NZ.	48	153	887	NA	
Kingston, Jamaica	25	66	863	NA	
Shaanxi, China	167	95	230	0.6	Han <i>et al.</i> , 2006
Hong Kong, China	124	110	120	NA	Yeung <i>et al.</i> , 2003
Hangzhou, China	51	116	202	0.7	Zhang y Wang, 2009
Singapur	2.4	1245	186	NA	Umid <i>et al.</i> , 2009
Londres, Inglaterra	13	116	NA	NA	Fergusson y Ryan, 1984
<b>Tijuana, México</b>	<b>16.6</b>	<b>41.4</b>	<b>31.8</b>	<b>0.1</b>	<b>Este estudio</b>
Singapur	0.3	73	10.3	NA	Zafra <i>et al.</i> , 2013
Oslo, Noruega	1.4	NA	41	NA	De Miguel <i>et al.</i> , 1997
Madrid, España	NA	NA	44	NA	
Bogotá, Colombia	0.44	NA	NA	NA	Zafra <i>et al.</i> , 2013

En la Tabla 5.15 se aprecia que las concentraciones de metales pesados encontrados en la ciudad de Tijuana no son altas con respecto al resto de los estudios publicados; sin embargo, los valores de concentración de los metales pesados en RDS de Tijuana no se encuentran tan alejados de aquellos reportados en Canadá y Jamaica. Las comparaciones de

concentraciones de metales pesados podrían no ser representativas debido a que las características de cada área de estudio son distintas. Algunas son ciudades con actividad industrial y una densidad de población alta, mientras que otras son ciudades con una mayor actividad comercial. Además, sería conveniente conocer el tiempo de acumulación de los RDS de cada sitio, ya que esto podría ser un factor para que la cantidad de contaminantes presentes en la muestra presenten una variación con respecto a los otros estudios. Así mismo, el material de construcción de las superficies de rodamiento, el nivel de tránsito y la calidad de los vehículos es diferente entre cada estudio.

Para llevar a cabo una comparación correcta entre los distintos estudios, lo ideal sería que se estandarizaran métodos de muestreo y de análisis.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que los sedimentos de calles de la zona urbana de Tijuana contienen altas cantidades de hidrocarburos totales de petróleo, las cuales fueron superiores a las concentraciones publicadas en otros estudios. El 72% (21 sitios) de las muestras de tamaño de partícula  $< 2$  mm superan los límites permisibles en la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, (3000 mg/kg) para uso de suelo residencial o recreativo. Las concentraciones de HTP más elevadas fueron encontradas en las calles cuyo material de construcción es asfalto, indicándonos que el material producto del desgaste del asfalto puede ser una fuente importante de HTP en los RDS de estos sitios. Así mismo, las pruebas estadísticas realizadas a los datos mostraron que el tráfico y el uso de suelo en los sitios muestreados no influyen en la concentración de HTP.

En cuanto a los metales pesados, se encontró que la concentraciones de Pb, Cu, Cd, Hg y Cr fueron entre dos y veinte veces menos que estudios publicados en otras partes del mundo. La causa de esto es el fenómeno de “dilución” debido al arrastre de suelo de áreas adyacentes por medio eólico o escurrimientos pluviales.

Las concentraciones encontradas en este estudio no superan la normatividad aplicable en México para metales pesados en suelos. Las concentraciones más altas se obtuvieron para el Cu y Pb, las cuales se le adjudican al desgaste de las partes móviles de los automóviles (neumáticos, balatas y baleros).

De acuerdo a las concentraciones de metales en RDS, estos se encuentran contaminados de acuerdo al índice de geoacumulación de Müller, doce muestras se clasifican de moderada a fuertemente contaminadas y seis moderadamente contaminadas con Pb. Para Cu, seis muestras moderada a fuertemente contaminadas y seis moderadamente contaminadas. Diez muestras moderadamente contaminadas con Cr. Para

Cd una muestra muy fuertemente contaminada y una fuertemente contaminada; mientras que para Hg, cuatro sitios moderadamente contaminados y doce de no contaminados a moderadamente contaminados.

Los resultados también demostraron que existe una diferencia significativa entre las medias de concentración de metales de acuerdo al material de construcción y a la intensidad de tráfico de los sitios. Estas medias fueron más altas en las muestras colectadas en calles construidas con asfalto. En cuanto a la intensidad del tráfico, existe una diferencia entre la media de las concentraciones de metales, siendo la más alta en las muestras tomadas en calles de alto tráfico. Esto nos indica que el tráfico vehicular y las partículas producidas por el desgaste de asfalto son fuentes importantes de metales pesados en los RDS en Tijuana.

Se recomienda realizar una prueba de extracción (PECT) conforme a la NOM-053-SEMARNAT-1993 para determinar si la concentración de los contaminantes presentes en las muestras de RDS pueden ser clasificadas como residuo peligroso.

Los resultados de este estudio indican que el entorno urbano requiere de la implementación de acciones que mitiguen la contribución de contaminantes provenientes del parque vehicular. De la misma manera estos datos servirán como una herramienta de toma de decisiones en cuanto a la implementación de medidas para el buen manejo de los RDS.

## 7. REFERENCIAS

- Achuba, F.I; B.O. Peretiemo-Clarke. (2008). Effect of spent engine oil on soil catalase and dehydrogenase activities. *International Agrophysics*, 22: 1-4.
- Adeniyi, A. A.; Owoade, O. J. (2010). Total petroleum hydrocarbons and trace heavy metals in roadside soils along the Lagos-Badagry expressway, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. 167: 625-630.
- Agencia Europea de Medio Ambiente (2009). Road vehicle tyre and brake wear and road surface wear emission inventory guidebook.
- Amadi, A.; Abbey, S. D.; NMA, A. (1996). Chronic effects of oil spill on soil properties and microflora of a rainforest ecosystem in Nigeria. *Water, air and soil pollution*, 86 (1-4):1-11.
- Amato, F. Q.; Johansson, C., Nagl, C.; Alastuey, A. (2010). A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods. *Science of the Total Environment*, 408: 3070–3084.
- Arafat, H.; Al-Khatib, I.; Daoud, R., Shwahneh, R. (2007). Influence of socioeconomic factors on street litter generation in the Middle East: effects of educational level, age and type of residence. *Waste Management*, 25: 363-370.
- ATSDR, Identity and analysis of total petroleum hydrocarbons. (2013). [www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp123-c3.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp123-c3.pdf).
- Bel, G. (2006). Un análisis de los gastos municipales por el servicio de residuos sólidos urbanos. *Revista de Economía Aplicada*, 14: 5-32.
- Benito, B.; Moreno, M.D.; Solana, J. (2011). Determinants of efficiency in the provision of municipal street-cleaning and refuse collection services. *Waste Management*, 31: 1099-1108.

- Berdowski, J.; Visschedijk, A. J. H.; Creemers, E.; Pulles, T.; Pacyna, J.; Fudala, J.; Querreveld, D. (2001). CEMPMEIP database particulate matter 1995. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation. The Netherlands: Apeldoorn.
- Bovea, M.; Ibáñez, V.; Gallardo, A.; Colomer, F. (2010). Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management*, 30: 2383–2395.
- Boonyatumanond, R.; Murakami, M.; Wattayakorn, G.; Togo, A.; Takada, H. (2007). Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in a tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand. *Science of the Total Environment*, 384 (1-3): 420-432.
- Brisa, F.; Garnauda, S.; Apperrya, N.; Gonzaleza, A.; Mouchel, J.; Chebbob, G. (1999). A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment. *Science of the Total Environment*, 235: 211–220.
- British Petroleum (2012). Statistical Review of World Energy June full report.
- Brown, J. N.; Peake, B.M. (2006). Sources of heavy metals and PAH in urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment*, 359 (1-3):145-155.
- Carlosena, A.; Andrade, J.M.; Prada, D. (1998). Searching for heavy metals grouping roadside soils as a function of motorized traffic influence. *Talanta* 47: 753-767.
- Cha, S; Cartes, P; Bradow, R. L. (1983). Simulation of automobile brake wear dynamics and estimation of emission. SAE transaction paper 831036, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania.

- Charlesworth, S.M.; Lees, J.A. (1999). The distribution of heavy metals in deposited urban dusts and sediments, Coventry, England. *Environmental Geochemistry and Health* 21: 97–115.
- Charlesworth, S.; Everett, M.; McCarthy, R.; Ordonez, A.; Miguel, E.D. (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International* 29: 563-573.
- Cook, N.; Turmel, M. C.; Hendershot, W. H. (2000). A digestion method for the recovery of trace metals in a range of soil types including those contaminated with oil and grease. *Soil Science Society of America Journal*, 64 (2): 609-612.
- Davis, A.P.; Shokouhian, M.; Ni, S. (2000). Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere* 44 (5): 997-1009.
- De Borger, B.; Kerstens, K.; Moeseny, W.; Vanneste, J. (1994). Explaining differences in productive efficiency: an application to Belgian municipalities. *Public Choice*, 3-4: 339-358.
- De Miguel, E.; Llamas, J.F.; Chacón, E.; Berg, T.; Larssen, S.; Royset, O.; Vadset, M. (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 31 (17): 2733-2740.
- Deletic A.; Orr, D.W. (2005). Pollution buildup on road surfaces. *Environmental Engineering*, 131: 49-59
- Duong, T.T.; Lee, B.-Y. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Environmental Management*, 92: 554-562.

- Fergusson, J.E.; Ryan, D.E. (1984). The elemental composition of street dust from large and small urban areas related to city type, source and particle size. *Science of the Total Environment*, 34: 101-116.
- Folkesson, L.; Baekken, T.; Brencic, M.; Dawson, A.; Francois, D.; Kurímská, P.; Leitao, T.; Licbinský, R.; Vojtesek, M. (2008). Sources and fate of water contaminants in roads. In: Dawson, A. (Ed.), *Water in Road Structures. Movement, Drainage and Effects*. Springer, Nottingham, 5: 107-146.
- Forcada, R. M.; Gavete, M., Jerez, P.; Marcos, V.; Martínez, A.J.; Ribot, F. (1996). *La Enciclopedia del Medio Ambiente Urbano*. Cerro Alto Editorial. Idea, Signo y Color, S.L.
- Garg, B. D.; Cadle, S. H.; Mulawa, P. A.; Groblicki, P. J.; Laroo, Ch.; Parr, G. A. (2000). Brake wear particulate matter emission. *Environmental Science and Technology*. 34: 4463-4469.
- German, J.; Svensson, G. (2001). Street sweeping as a pollutant control measure. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Innovative Technologies in Urban Drainage*. León, Francia, Junio 25-27. -2- 9509337-3-4; 1, s. 383-390.
- Giménez, V.; Prior, D. (2003). Evaluación frontera de la eficiencia de costos. Aplicación a los municipios de Cataluña. *Papeles de la Economía Española*, 95: 113-124.
- Gobierno de Baja California (2013). [http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/tijuana/tijuana.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/tijuana.jsp) Consultado 21 de enero de 2015.
- Gromov, S.; Emelina, E. (1994). Lead emission evaluation over the European part of the former Soviet Union. *Science of The Total Environment*, 158: 135-137.

- Gustafson, J. (1997). Using TPH in risk based corrective action. Shell Development Corporation: U.S. ERA Region 9, Underground Storage Tanks Program Office, San Francisco CA.
- Han, Y.; Du, P.; Cao, J.; Posmentier, E.S. (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355(1-3): 176-186.
- Harrison, R. M.; Laxen, D.P.H.; Wilson, S.J. (1981). Chemical associations of lead, cadmium, copper and zinc in street dusts and roadside soils. *Environmental Science and Technology*, 15(11):1376-83.
- Helmers, E. (1996). Elements accompanying platinum emitted from automobile catalyst's. *Chemosphere*, 33 (3): 405-419.
- Guerrero, H.; Pujol, C. (2006). El pH. *Sociedad Acuariológica del Plata*: 2.
- Hildemann, L.M.; Markowski, G.R.; Cass, G.R. (1991). Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol. *Environmental Science and Technology*, 25: 744-759.
- Ho, K.F.; Lee, S.C.; Chow, J.C.; Watson, J.G. (2003). Characterization of PM10 and PM2.5 source profiles for fugitive dust in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 37: 1023-1032.
- Hoffman, E.J.; Gary, L.; Mills, G.L.; Quinn, J.G. (1984). Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environmental Science and Technology*, 18(8): 580-587.
- Hopke, P. K.; Lamb, R. E.; Natusch, D.F.S. (1980). Multielemental characterization of urban roadway dust. *Environmental Science and Technology*, 14: 164-172.

- Hong, J.; Li, X.; Zhaojie, C. (2010). Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management*, 30: 2362–2369.
- Instituto Metropolitano de Planeación de Tijuana (IMPLAN). (2008). Programa Parcial de Desarrollo Urbano Valle de Las Palmas Sector 1 2011-2030.
- Instituto Nacional de Ecología (INECC). (2008). Informe final del “Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte” fase I: Tijuana y Mexicali. 30-40.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de Población y Vivienda.
- Johnson, L.J. (1979). *Introductory Soil Science: A Study Guide and Laboratory Manual*, MacMillan Pub. Co., Inc.
- Kang, J.-H.; Debats, S.R.; Strenstrom, M.K. (2009). Storm-water management using street sweeping. *Environmental Engineering*, 135: 479-489.
- Lars, H.; Goonetilleke, A.; Ayoko, G. A. (2006). Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chimica Acta*, 571 (2): 270-278.
- Legret, M.; Pagotto, C. (1999). Evaluation and pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *Science of the Total Environment*, 235 (1-3): 143-150.
- Li, H.; Qian, X.; Hu, W.; Wang, Y.; Gao, H. (2013). Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. *Science of the Total Environment*, 456-457: 212-221.
- Lin Lau, S.S.; Stenstrom, M.K. (2005). Metals and PAHs adsorbed to street particles. *Water Research*, 39 (17): 4083-4092.
- Lindgren, A. (1996). Asphalt wear and pollution transport. *Science of the Total Environment*, 189-190: 281-286.

- Loska, K.; Cebula, J.; Pelczar, J.; Wiechuls, D.; Kwapulinski, J. (1997). Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybnik Water Reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 93: 347–365.
- Lu, X.W.; Wang, L.J.; Lei, K.; Huang, J.; Zhai, Y.X. (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials* 161: 1058-1062.
- Makepeace, D. K.; Stanley, S. J. (1995). Urban stormwater quality: summary of contamination data. *Critical Reviews of Environmental Sciences and Technology*, 25 (2): 93-139.
- Maltby, L; Boxall, A. B. A.; Forrow, D. M.; Calow, P.; Betton, I. (1995). The effects of motorway runoff on freshwater ecosystems: 2. Identifying major toxicants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14 (6): 1093-1101.
- McKenzie, E.R.; Wong, C.M.; Green, P.G.; Kayhanian, M.; Young, T.M. (2008). Size dependent elemental composition of road-associated particles. *Science of the Total Environment*, 398 (1-3): 145-153.
- Menzie, C.A.; Potoki, B.B.; Santodonato, J. (1992). Exposure to carcinogenic PAHs in environment. *Environmental Science and Technology*, 26 (6): 1278-1284.
- Müller, G. (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2: 108–118.
- Muschack, W. (1990). Pollution of street run-off by traffic and local conditions. *The Science of the Total Environment*, 93: 419-431

- Navarro, J. P.; Aguilar I.; López-Moya, J.R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Revista Ecosistemas* 16 (2).
- Nebel, B. J.; Wright, R. (1999). El ecosistema del suelo. *Ciencias Ambientales, Ecología y Desarrollo Sostenible*. Sexta edición, capítulo 9: 211-225.
- Okonkwo, J.O.; Awofolu, O.R.; Moja, S.J.; Forbes, P.C.B.; Senwo, Z. N. (2006). Total petroleum hydrocarbon in trace metals in street dusts from Tshwane Metropolitan Area, South Africa. *Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41 (12).
- ONU: Organización de las Naciones Unidas
- Palmer, R. G.; Troeh, F. R. (2003). *Introductory soil science laboratory manual*. Oxford University Press USA, Washington. Pp. 128.
- Pitt, R.; Field, R.; Lalor, M.; Brown, M. (2005). Urban storm water toxic pollutants: assessment, sources, and treatability, *Water Environmental Research*, 67 (3): 260-275.
- Quadri, T. G. (1994). *Industria y Política Ambiental*. El Nacional. Sábado 18 de Junio. México.
- Riccio, L.J.; Miller, J.; Bose, G. (1988). Polishing the big apple: Models of how manpower utilization affects street cleanliness in New York City. *Waste Management and Research*, 6 (2): 163-174.
- Rogge, W.F.; Hildermann, L.M.; Mazurek, M.A.; Cass, G.R. (1993). Sources of fine organic aerosol, 3. Road dust, tire debris and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 27: 1892-1904.

- Rowell, D. L. (1994). *Soil Science: Methods & Applications*, Pearson Education Limited, New York, USA.
- Rudnick, R.L.; Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. In: Rudnick RL (Ed) *the crust*, 3: 1-64 of *treatise on geochemistry* (eds Holland HD and Turekian KK). Elsevier-Pergamon, Oxford.
- Saeki, K.; Okazaki, M.; Matsumoto, S. (1993). The chemical phase changes in heavy metals with drying and oxidation of the lake sediments. *Water Research*, 27 (7): 1243-1254.
- Sartor, J. D.; Boyd, G. B. (1972). *Water pollution aspects of street surface contaminants*. EPA-R2-72-081, U.S. Environmental Protection Agency.
- Santes-Álvarez, R. V. (2009). *Replanteando la interacción gobierno-sociedad: Lecciones de la gobernanación ambiental en la Franja México-Estados Unidos*. Edición electrónica [www.eumed.net/libros/2009c/603/](http://www.eumed.net/libros/2009c/603/)
- Sartor, J.D.; Gaboury, D.R.; (1984). Street sweeping as a water pollution control measure: lessons learned over the past ten years. *Science of the Total Environment* 33: 171-183.
- Sutherland, R.A; Tolosa, C.A. (2000). Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. *Environmental Pollution*, 110 (3):483-495.
- SENER: Secretaría de Energía. (2012). *Prospectiva de Petróleo Crudo 2012-2026*.
- Sutherland, R.A. (2003). Lead in grain size fractions of road-deposited sediments. *Environmental Pollution*, 121: 229-237.)

- Sutherland, R. A.; Pearson, D.G.; Ottley, C.J. (2008). Grain size partitioning of platinum group elements in road-deposited sediments: implications for anthropogenic flux estimates from auto catalysts. *Environmental Pollution*, 151: 503- 515.
- Swiss Chemicals Legislation. (2013). List of banned substances.
- Taylor, K.; Perry, C. (2007). *Environmental Sedimentology*, MA. USA, Blackwell Publishing.
- Thorpe, A.; Harrison, R.M. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of the Total Environment*, 400: 270-282.
- Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group Series, (1998), *Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media (1)*, Amherst Scientific Publishers. Amherst, Massachusetts, U.S.
- Umid, M. J.; Kuppusamy, V.; Rajasekhar, B. (2009). Elemental composition of urban Street dusts and their dissolution characteristics in various aqueous media. *Chemosphere*, 77 (4): 526-533.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2014). Brake and Tyre Wear Emission from on-road vehicles in MOVES2014. <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/documents/420r14013.pdf> Accesado 15 de febrero de 2015.
- Von Storch, H.; Costa-Cabral, M.; Hagner, C.; Feser, F.; Pacyna, J.; Pacyna E.; Kolb, S. (2003). Four decades of gasoline lead emissions and control policies in Europe: a retrospective assessment. *Science of The Total Environment*, 311 (1-3): 151-176.
- Walker, T.A.; Wong, T.H. (1999). Effectiveness of Street Sweeping for Stormwater Pollution Control, Technical Report 99/8, pp. 1-43. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, NSW, Australia.

- Walkley, A.; I.A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Xinwei, L.; Wang, L.; Lei, K.; Huang, J.; Zhai, Y. (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of hazardous materials*, 161: 1058-1062.
- Yeung, Z.L.L.; Kwok, R.C.; Yu, K.N. (2003). Determination of multielement profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence. *Applied Radiation and Isotopes*, 53(3): 339-346.
- Yuen, J.Q.; Olin, P.H.; Lim, H.S.; Benner, S.G.; Sutherland, R.A.; Ziegler, A.D. (2012). Accumulation of potentially toxic elements in road deposited sediments in residential and light industrial neighborhoods of Singapore. *Environmental Management*, 101: 151-163.
- Zafra, C. A.; Peña, N. A.; Prieto, S. (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá-Soacha. *Revista Tecnura*, 17 (37): 99-108.
- Zhang, M.K.; Wang, H. (2009). Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences-China*, 21: 625-631.
- Zhang, X. Y.; Lin, F. F.; Wong, M. T. F.; Feng, X. L.; Wang, K. (2009). Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 154 (1-4): 439-449.

Zhao, H.; Yin, C.; Chen, M.; Wang, W. (2009). Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network. *Soil and Sediment Contamination*, 18: 173-183.

Zhu, W.; Bian, B.; Li, L. (2008). Heavy metal contamination of road-deposited sediments in a medium size city of China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 147: 171-181.

## **8. ANEXOS**

## ANEXO A

Tabla 8.1. Prueba de Grubbs para fracción de partículas < 2 mm (a) prueba 1; (b) prueba 2.

(a) Prueba 1 de eliminación

HTP (mg/kg)		
	ASFALTO	CONCRETO
	1635.29	1193.65
	2432.46	1854.61
	2490.85	1922.83
	2513.17	2323.77
	3343.98	2600.73
	3964.28	3045.07
	4003.35	3518.28
	4353.21	3829.86
	4432.09	4045.23
	4546.87	6187.65
	4730.12	
	5048.38	
	5090.47	
	5111.75	
	5170.84	
	5199.34	
	7969.05	
	9513.88	
	9981.64	
	29102.30	
Media:	6031.67	3051.42
SD:	5848.77	1436.25
Conc. prueba	29102.30	6187.65
Tprueba	3.9445	2.1836
Datos	20	10
Tcrítica	2.56	2.18
Resultado:	ATÍPICO	ATÍPICO

(b) Prueba 2 de eliminación

	HTP (mg/kg)	
	ASFALTO	CONCRETO
	1635.29	1193.65
	2432.46	1854.61
	2490.85	1922.83
	2513.17	2323.77
	3343.98	2600.73
	3964.28	3045.07
	4003.35	3518.28
	4353.21	3829.86
	4432.09	4045.23
	4546.87	6187.65
	4730.12	
	5048.38	
	5090.47	
	5111.75	
	5170.84	
	5199.34	
	7969.05	
	9513.88	
	9981.64	
Media:	4817.42	3051.42
SD:	2232.17	1436.25
Conc. prueba	9981.64	4045.23
Tprueba	2.3135	0.6919
Datos	19	9
Tcrítica	2.53	2.11
Resultado:	TÍPICO	TÍPICO

Tabla 8.2. Prueba de Grubbs para fracción de partículas < 63  $\mu\text{m}$  (a) prueba 1; (b) prueba 2.

(a) Prueba 1 de eliminación

HTP (mg/kg)		
	ASFALTO	CONCRETO
	1256.34	1193.65
	3718.43	2048.55
	4100.22	2370.90
	4180.25	3221.89
	4553.07	4339.22
	6496.39	4481.36
	6813.83	5282.73
	7319.00	5358.22
	7585.48	5841.20
	8011.96	6106.60
	8042.38	
	9333.94	
	10292.04	
	10572.89	
	10721.34	
	10824.41	
	12703.88	
	13831.24	
	15420.44	
	32703.32	
Media:	9424.04	4024.43
SD:	6568.34	1719.24
Conc. prueba	32703.32	6106.60
Tprueba	3.54	1.21
Datos	20	10
Tcrítica	2.56	2.18
Resultado:	ATÍPICO	TÍPICO

(b) Prueba 2 de eliminación

HTP (mg/kg)		
	ASFALTO	CONCRETO
	1256.34	1193.65
	3718.43	2048.55
	4100.22	2370.90
	4180.25	3221.89
	4553.07	4339.22
	6496.39	4481.36
	6813.83	5282.73
	7319.00	5358.22
	7585.48	5841.20
	8011.96	6106.60
	8042.38	
	9333.94	
	10292.04	
	10572.89	
	10721.34	
	10824.41	
	12703.88	
	13831.24	
	15420.44	
Media:	4817.42	2703.78
SD:	2232.17	975.57
Conc. prueba	15420.44	1193.65
Tprueba	2.3135	1.3750
Datos	19	9
Tcrítica	2.53	2.11
Resultado:	TÍPICO	TÍPICO

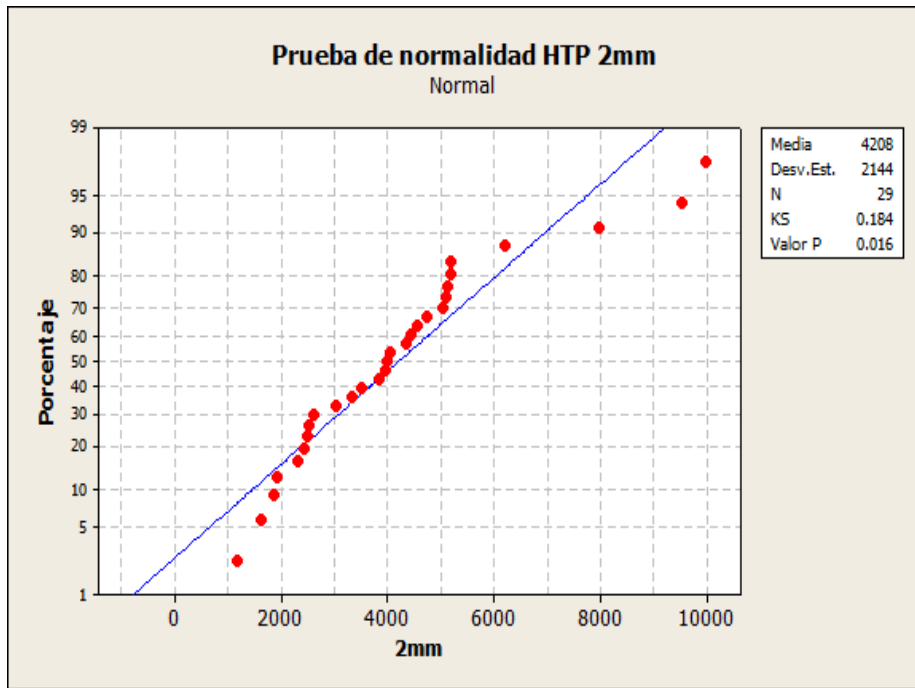


Figura 8.1. Prueba de normalidad HTP < 2 mm

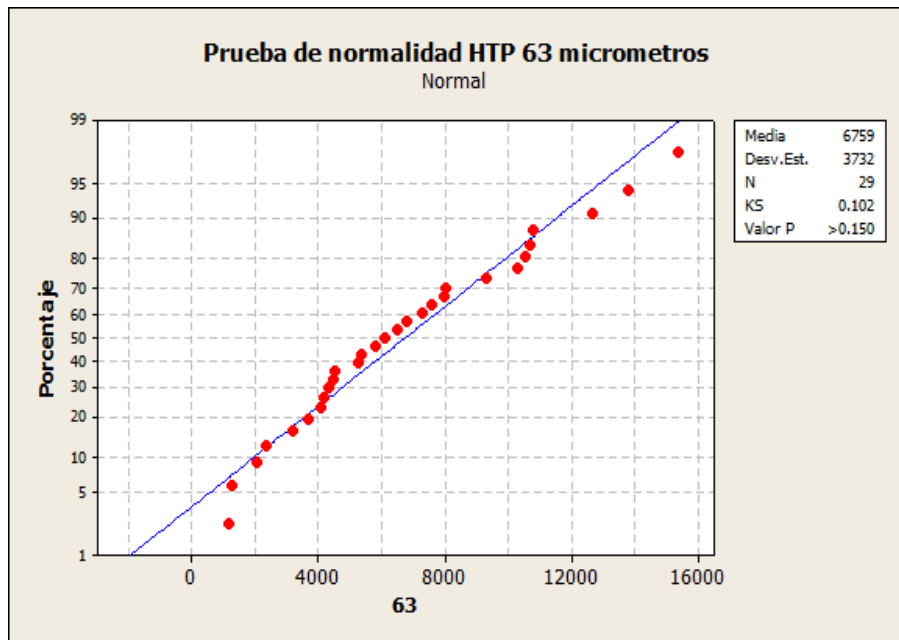


Figura 8.2. Prueba de normalidad HTP < 63  $\mu$ m

Tabla 8.3. Matriz de correlación de pH y % materia orgánica.

---

	pH	% Materia Orgánica
pH	1	
% Materia Orgánica	-0.318100214	1

---

Tabla 8.4. Porcentajes obtenidos para cada fracción de muestra.

PORCENTAJES OBTENIDOS DE CADA FRACCIÓN																															
Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Porcentajes	> 425 $\mu\text{m}$	30.6	21.9	13.3	23.5	13.7	15.0	37.4	21.1	18.6	14.3	13.6	28.1	23.2	10.5	15.1	17.2	23.0	15.9	22.4	21.5	17.4	29.4	20.9	18.9	36.8	13.3	18.7	17.0	27.2	24.3
	> 300 $\mu\text{m}$	11.8	11.9	10.9	13.0	10.0	9.0	13.1	12.4	12.1	9.5	8.5	14.4	13.6	8.2	6.6	10.8	12.3	12.6	11.8	12.4	11.3	13.2	10.2	9.9	11.8	10.1	6.6	11.3	14.3	13.1
	> 212 $\mu\text{m}$	11.6	12.6	13.6	14.0	12.3	11.6	12.6	14.1	13.8	13.0	11.7	13.2	15.0	12.2	7.5	13.0	14.7	14.1	12.2	12.6	12.2	13.7	12.7	13.3	9.8	12.7	5.8	12.4	14.0	11.8
	> 150 $\mu\text{m}$	11.8	14.2	15.6	14.5	15.8	13.1	11.6	13.6	16.3	16.2	14.3	12.9	16.6	17.1	9.5	16.0	15.2	15.2	14.2	13.3	13.7	11.8	13.8	15.2	8.9	15.6	5.2	13.6	13.7	12.3
	> 75 $\mu\text{m}$	17.0	22.0	26.8	21.7	32.3	23.0	14.9	21.4	24.3	29.3	30.0	18.1	21.6	31.4	20.7	24.3	21.2	23.8	24.7	21.6	25.0	17.4	23.1	25.2	15.2	28.5	7.3	21.7	20.4	20.9
	> 63 $\mu\text{m}$	3.3	5.0	6.4	4.5	6.4	6.7	3.0	5.1	5.1	6.6	7.0	4.2	4.2	7.3	7.7	8.9	4.4	5.9	5.6	5.0	4.3	3.3	5.1	6.3	4.2	7.7	1.5	5.0	3.5	4.5
	< 63 $\mu\text{m}$	10.2	8.8	10.5	6.3	8.7	20.0	5.6	9.5	7.7	9.9	13.6	7.3	4.3	12.3	31.6	9.9	5.9	6.9	9.2	12.3	14.7	7.6	11.7	7.0	9.3	8.5	2.9	17.5	6.5	11.5

Tabla 8.5. Prueba t-student de contenido de arcilla y arena por material de construcción  
(a) arcilla; (b) arena.

(a) Prueba t-student para arcilla

	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	6.9092625	8.17345
Varianza	12.60850962	13.46176153
Observaciones	20	10
Varianza agrupada	12.88276916	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	28	
	-	
Estadístico t	0.909413192	
P(T<=t) una cola	0.185447063	
Valor crítico de t (una cola)	1.701130934	
P(T<=t) dos colas	0.370894126	
Valor crítico de t (dos colas)	2.048407142	

(b) Prueba t-student para arena

	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	83.2778625	84.30075
Varianza	79.7764471	42.9851193
Observaciones	20	10
Varianza agrupada	67.9506631	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	28	
	-	
Estadístico t	0.32039475	
P(T<=t) una cola	0.37552399	
Valor crítico de t (una cola)	1.70113093	
P(T<=t) dos colas	0.75104797	
Valor crítico de t (dos colas)	2.04840714	

Tabla 8.6. Prueba t-student de concentración de HTP e intensidad de tráfico (a) < 2 mm; (b) < 63  $\mu$ m.

(a) Tamaño de partícula: < 2 mm

	<i>Tráfico alto</i>	<i>Tráfico bajo</i>
Media	4354.0234	4052.49351
Varianza	4801461.04	4677420.98
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	27	
Estadístico t	0.37279962	
P(T<=t) una cola	0.35610412	
Valor crítico de t (una cola)	1.70328845	
P(T<=t) dos colas	0.71220824	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05183052	

(b) Tamaño de partícula < 63 $\mu$ m

	<i>Tráfico bajo</i>	<i>Tráfico alto</i>
Media	7529.72175	6040.38385
Varianza	16283740.2	11592102.1
Observaciones	14	15
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	26	
Estadístico t	1.0704054	
P(T<=t) una cola	0.14713676	
Valor crítico de t (una cola)	1.70561792	
P(T<=t) dos colas	0.29427352	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05552944	

Tabla 8.7. Pruebas t-student de metales pesados y material de construcción  
(a) Pb; (b) Cu; (c) Cr; (d) Cd; (e) Hg.

(a) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	30.60972	33.9784002
Varianza	191.79968	560.896974
Observaciones	19	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	12	
Estadístico t	-0.41407776	
P(T<=t) una cola	0.34306119	
Valor crítico de t (una cola)	1.78228756	
P(T<=t) dos colas	0.68612238	
Valor crítico de t (dos colas)	2.17881283	

(b) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	39.6805365	44.6210764
Varianza	1211.41469	466.436967
Observaciones	19	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	26	
Estadístico t	-0.47020282	
P(T<=t) una cola	0.32106523	
Valor crítico de t (una cola)	1.70561792	
P(T<=t) dos colas	0.64213046	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05552944	

(c) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	13.3434763	20.5607396
Varianza	41.0413755	66.0141171
Observaciones	19	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	-2.43828074	
P(T<=t) una cola	0.01383538	
Valor crítico de t (una cola)	1.75305036	
P(T<=t) dos colas	0.02767077	
Valor crítico de t (dos colas)	2.13144955	

(d) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	0.06358727	0.30332262
Varianza	0.07682347	0.92004609
Observaciones	19	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-0.77354936	
P(T<=t) una cola	0.22854695	
Valor crítico de t (una cola)	1.81246112	
P(T<=t) dos colas	0.4570939	
Valor crítico de t (dos colas)	2.22813885	

(e) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Asfalto</i>	<i>Concreto</i>
Media	0.08230984	0.08366844
Varianza	0.00514404	0.0037592
Observaciones	19	10
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	21	
Estadístico t	-0.05342638	
P(T<=t) una cola	0.47894859	
Valor crítico de t (una cola)	1.7207429	
P(T<=t) dos colas	0.95789718	
Valor crítico de t (dos colas)	2.07961384	

Tabla 8.8. Pruebas t-student de metales pesados e intensidad de tráfico. (a) Pb; (b) Cu; (c) Cr; (d) Cd; (e) Hg.

(a) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Media	28.33045298	35.457992
Varianza	382.6348728	219.234815
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	26	
Estadístico t	-1.110852614	
P(T<=t) una cola	0.138399775	
Valor crítico de t (una cola)	1.70561792	
P(T<=t) dos colas	0.276799549	
Valor crítico de t (dos colas)	2.055529439	

(b) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Media	46.5414986	35.8584627
Varianza	683.521622	1212.89048
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	24	
Estadístico t	0.92912426	
P(T<=t) una cola	0.18103806	
Valor crítico de t (una cola)	1.71088208	
P(T<=t) dos colas	0.36207613	
Valor crítico de t (dos colas)	2.06389856	

(c) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Media	17.5279909	14.0152559
Varianza	24.21858	95.8253936
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	1.20775722	
P(T<=t) una cola	0.12098009	
Valor crítico de t (una cola)	1.72913281	
P(T<=t) dos colas	0.24196018	
Valor crítico de t (dos colas)	2.09302405	

(d) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Media	0.282758946	0
Varianza	0.675772672	0
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	1.332176202	
P(T<=t) una cola	0.102041357	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310136	
P(T<=t) dos colas	0.204082714	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786688	

(e) Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Media	0.08477461	0.08063944
Varianza	0.0032347	0.00623292
Observaciones	15	14
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	24	
Estadístico t	0.160857	
P(T<=t) una cola	0.43677619	
Valor crítico de t (una cola)	1.71088208	
P(T<=t) dos colas	0.87355239	
Valor crítico de t (dos colas)	2.06389856	

## ANEXO B: Participaciones en congreso

**VI Congreso** de la Asociación Mesoamericana de Ecotoxicología y Química Ambiental A.C.

SEDE: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
8 AL 10 DE OCTUBRE DE 2014

OTORGA LA PRESENTE

# Constancia

A

Analy Quiñonez Plaza, Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki,  
Enrique García Flores, Juan Temores Peña, Miguel Ángel Pastrana Corral.

POR LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO  
**HTP Y METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN CALLES DE TIJUANA, B.C.**  
DURANTE EL VI CONGRESO INTERNACIONAL DE AMEQA  
LLEVADO A CABO EN LA CIUDAD DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.

*Jose Luis*  
PRESIDENTE AMEQA  
DR. JOSE LUIS ZAVALA AGUIRRE

*Graciela*  
COMITE ORGANIZADOR  
DRA. GRACIELA GUERRA RIVAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Otorga la presente

# CONSTANCIA

a:

Quiñonez-Plaza A., Wakida-Kusunoki F.T., García-Flores E., Temores-  
Peña J., Pastrana-Corral M.A.

Por su ponencia intitulada  
**Contaminantes en sedimentos de calles de Tijuana, B.C.**

**2015 CIQT**

CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN TIJUANA  
y publicada en el número especial de la Revista Aristas con registro ISSN 2007-9478 Online  
realizado en la ciudad de Tijuana, Baja California, del 18 al 20 de febrero de 2015.

Dr. Luis Enrique Palafox Maestre  
Director de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California

M.C. Diego Armando Trujillo Toledo  
Coordinador General del Congreso Internacional de Investigación Tijuana 2015  
FCQI-UABC

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Otorgan la presente

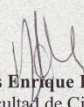
# CONSTANCIA

**A: I. Q. Analy Quiñonez Plaza,  
Dr. Fernando T. Wakida Kusunoki**

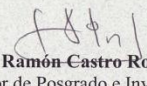
Por la impartición del seminario titulado: “Evaluación de Hidrocarburos Totales de Petróleo y Metales Pesados en Sedimentos Depositados en Calles en la Ciudad de Tijuana, B.C.” dentro del programa de Seminarios Interdisciplinarios 2015-1 por la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería a través del Posgrado: Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería.

“Por la Realización Plena del Hombre”

Tijuana, B. C. a 14 de mayo del 2015

  
Dr. Luis Enrique Palafox Maestre

Director de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

  
Dr. Juan Ramón Castro Rodríguez

Coordinador de Posgrado e Investigación



La BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
Y LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES



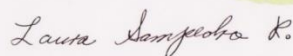
Otorgan la presente

# CONSTANCIA

**A: Quiñonez, P. A., Wakida, K. F. T., Temores, P. J., Garcia, F.E., Pastrana, C.M.A.**

Por su participación con la ponencia METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN CALLES DE TIJUANA, B. C. en el marco del XIV Congreso Internacional y XX Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, “El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales nos beneficia a todos” 2015 Año Internacional de los Suelos, realizado el 3, 4 y 5 de junio del año en curso, en el Complejo Cultural Universitario.

Puebla, Pue. Junio, 2015



Dra. María Laura Sampedro Rosas  
Presidenta  
Academia Nacional de Ciencias Ambientales



M. C. Miguel Angel Valera Pérez  
Secretario  
Academia Nacional de Ciencias Ambientales