



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

“Contenido de metales pesados en suelos de parques urbanos y áreas de reserva ecológica en la zona metropolitana de la ciudad de México sección oeste.”



T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:
GRISELDA ADRIANA GUTIÉRREZ
CARRILLO



Director: Dr. Guillermo Javier Horta-Puga

Tlalneantla de Baz, Estado de México 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

María Elena Carrillo porque nunca me dejaste caer, y principalmente por los sacrificios realizados para que yo llegara hasta aquí, por enseñarme a apreciar la sencillez de la vida, por mostrarme mis errores y ayudarme a corregirlos.

José Luis Gutiérrez, porque festejaste cada uno de mis logros y mis fracasos, por decirme: “¡Vamos campeona!”, por enseñarme cada día algo nuevo, porque aunque no lo creas siempre serás la persona que lo sabe todo y que para ti no existen imposibles, por enseñarme a disfrutar de la vida y de la naturaleza, porque a pesar de los obstáculos, siempre buscaste el modo para que no dejara mi carrera.

Éste trabajo es solo una pequeña muestra de lo mucho que les agradezco por la educación que me han brindado, porque siempre me han dado su apoyo incondicional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual, por ser un pareja a seguir y por enseñarme los valores de una familia.

De ustedes es este triunfo y para ustedes es todo mi agradecimiento.

Los Amo.

A Dios

Gracias a Dios que, aunque ya no es el mismo que me enseñaron en el catecismo, me cuida siempre, me escucha las veces que lo necesito y, sobre todo, me da la fuerza para seguir adelante.

A mis Hermanos

Ing. Rafael y Ing. Fabián Gutiérrez, por ser simplemente mis hermanos, por cuidarme, por preocuparse por mí, aunque no lo admitan, por los sacrificios que realizaron para que yo llegara hasta aquí, por ser un gran ejemplo a seguir y por los momentos que convivimos juntos, que espero muy pronto vuelvan.

Los amo.

A mi Hermana

Valeria Gutiérrez, porque no solo eres mi prima, eres mi hermana y mi mejor amiga, porque sabes que te quiero mucho y porque siempre has estado conmigo, por las risas y los llantos, porque nos tenemos solo la una y la otra, porque nunca nos haremos daño y por ser la hermana que siempre desee tener. Te quiero mucho y recuerda que me tienes a mí...siempre a mí.

A mis Abuelitos

Rita Maciel, por cuidarme todos los días, por que se que estas y estarás siempre a mi lado.

Jesús Carrillo, porque en usted vi la forma de luchar y de sacar a sus hijos adelante.

Elena Domínguez, por preocuparse por mi familia y por mí.

Juan Gutiérrez, por su apoyo incondicional y por su confianza en mí.

Por el cariño que me han demostrado todos los días de mi vida.

A mis Tíos

A mis tíos Salvador Carrillo, Carmen Carrillo, Josefina Carrillo, Gerardo Carrillo, Rosa Carrillo, Rafael Carrillo, Teresa Carrillo y Jesus Carrillo, porque siempre fueron un ejemplo a seguir, por sus consejos y por enseñarme que lo más importante es no olvidar de dónde venimos.

A mis tíos Gildardo Gutiérrez, Beatriz Juárez, Angélica Gutiérrez, y Francisca Gutiérrez, por esos jalones de orejas, y por hacerme reír con cada ocurrencia, por apoyarme no solo a mí, sino a mi familia, por escucharme y convertirse en mi cómplice y simplemente por ser como son.

A mis Amigos

Selene Durán y Alma Gallardo, por las risas, los llantos, las palabras de aliento, los éxitos, los golpes, en fin por todas las experiencias que nos enfrenta la vida a cada paso, por tolerar mis dudas, temores y vanidades, mis enfados y molestias, porque a pesar de los errores cometidos entre nosotras nada nos ha separado y espero que nuestra historia se siga escribiendo...

A mis compañeros de laboratorio, Biol. Abigail Morales, Biol. Marisol Ávila y Biol. Josué Núñez por ayudarme a resolver mis dudas y algunas veces hacerlas más grandes, por los momentos que hemos vivido y claro, por compartir la misma pasión la biología y el buceo.

A Enrique Aguilar por la oportunidad brindada durante cuatro años y por el apoyo incondicional.

A Ivan Santos fue corto el tiempo que pasamos, pero me basto para apreciarte, tu partida tal vez no fue la mejor, pero fue tu decisión. Solo quiero darte las gracias por siempre animarme y por esas charlas tan amenas, quedaron pendientes muchas cosas entre nosotros, pero sé que algún día nos reencontraremos para solucionarlas. Te prometo ir a ese lugar al que siempre planeábamos visitar y de disfrutar cada momento de mi vida así como tú lo hacías. Espero que, estés en donde estés te encuentres tranquilo.

A mis Asesores

Dr. Guillermo Javier Horta Puga por ser más que un profesor, porque no solo me apoyo en la parte académica, sino también en la parte moral, por adoptarme y por preocuparse por mi bienestar, por tenerme paciencia, por corregirme, por esos consejos que siempre han sido oportunos, por creer en mí, y por la gran oportunidad que me ha brindado.

Biol. Margarita Moreno Ramírez por ayudarme en todo, por la confianza que ha depositado en mí, por su paciencia al escucharme y por enseñarme a entender que no debemos de complicarnos la vida.

A mi profesor Biol. Jose Luis Tello, por el apoyo brindado desde el inicio de mi carrera, por tomarse la molestia saber apreciar lo que soy.

A los profesores, M. en C Mayra Hernández Moreno, M. en C Francisco López Galindo y la M. en C. Irma Delfín Alcalá, por sus correcciones tan oportunas, por las dudas resueltas y por brindarme un espacio en su tiempo para poder participar en mi tesis.

Al Dr. Daniel Muñoz y al Biol. Alfonso Aburto Soler por el apoyo brindado en el laboratorio de Edafología de la UBIPRO por todo lo que aprendí y por su paciencia.

Gracias a todos y cada uno de los profesores de la FES Iztacala, por entregar parte de su vida para mi desarrollo. Por haber sembrado las semillas que hoy veo florecer. Por inculcarme valores que regirán el resto de mi vida.

A mi casa de estudios

Gracias a la UNAM por recibirnos como a sus hijos y vernos crecer como personas y como profesionistas.

Gracias a todos y cada uno de los que lean y han leído este trabajo porque, por ese simple hecho, ya forman parte de él.

INDICE

1. INTRODUCCION.....	1
<i>1.1 Objetivos.....</i>	<i>3</i>
2. MATERIALES Y METODOS.....	4
<i>2.1 Área de estudio.....</i>	<i>4</i>
<i>2.2 Diseño de muestreo.....</i>	<i>6</i>
<i>2.3 Recolección de muestras.....</i>	<i>10</i>
<i>2.4 Tratamiento de las muestras.....</i>	<i>10</i>
<i>2.5 Preparación del material.....</i>	<i>10</i>
<i>2.6 Determinación del contenido de metales en suelo y polvo.....</i>	<i>11</i>
<i>2.7 Parámetros fisicoquímicos.....</i>	<i>12</i>
<i>2.8 Normas ambientales.....</i>	<i>12</i>
<i>2.9 Representación espacial.....</i>	<i>13</i>
3. RESULTADOS.....	14
<i>3.2 Parámetros fisicoquímicos.....</i>	<i>20</i>
<i>3.3 Subzonas: Norte, Centro y Sur.....</i>	<i>24</i>
4. DISCUSION.....	28
<i>4.1.1 Cobre en suelo y polvo.....</i>	<i>29</i>
<i>4.1.2 Manganeso en suelo y polvo.....</i>	<i>31</i>
<i>4.1.3 Zinc en suelo y polvo.....</i>	<i>33</i>
<i>4.1.4 Hierro en suelo y polvo.....</i>	<i>35</i>
<i>4.1.5 Cromo en suelo y polvo.....</i>	<i>37</i>
<i>4.1.6 Plomo en suelo y polvo.....</i>	<i>39</i>
<i>4.1.7 Cadmio en suelo y polvo.....</i>	<i>42</i>
<i>4.1.8 Níquel en suelo y polvo.....</i>	<i>44</i>
<i>4.1.9 Cobalto en suelo y polvo.....</i>	<i>46</i>
<i>4.1.10 Vanadio en suelo y polvo.....</i>	<i>48</i>
<i>4.2 Representación Espacial.....</i>	<i>50</i>
<i>4.3 Comparación con otros estudios.....</i>	<i>54</i>
<i>4.4 Subzonas: Norte, Centro y Sur.....</i>	<i>55</i>
<i>4.5 Correlación.....</i>	<i>57</i>
5. CONCLUSIONES.....	58
6. LITERATURA CITADA.....	60
7. APENDICE I.....	64

RESUMEN

Los parques y áreas de reserva que se encuentran en ambientes urbanos son espacios abiertos de uso público, en ellos se establecen relaciones humanas y llegan a ser la máxima aproximación de muchos ciudadanos a la naturaleza (Anaya, 2001). Al encontrarse en una zona altamente urbanizada están expuestos a la contaminación por metales pesados en suelo y polvo, derivada de las actividades antropogénicas como la construcción de carreteras, la alta afluencia vehicular y las actividades industriales ocasionando problemas de salud, siendo la población infantil la más afectada debido a las actividades realizadas en estas áreas, como el juego con suelo o polvo originando la ingestión inadvertida de importantes cantidades de partículas con un alto contenido de metales pesados por vía cutánea o mano-boca (Al-Rajahi *et al.* 1996; Li *et al.* 2001; Banerjee, 2003; Ljung *et al.* 2006). Tal puede ser el caso de los parques y áreas de reserva ecológica que se encuentra en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), gracias a que es una urbe que presenta un rápido crecimiento poblacional e industrial, ocasionando que estas áreas sean susceptibles a presentar niveles elevados de metales pesados. El objetivo del presente trabajo es determinar que parques y áreas de reserva ecológica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México Sección Oeste (ZMCMO) representan un riesgo para la población infantil por la presencia de concentraciones elevadas de metales pesados biodisponibles en suelo y polvo. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se dividió en dos partes, sección este y sección oeste, por el límite de las delegaciones y los municipios. Se seleccionaron 29 parques de acuerdo a su importancia para el uso público y procurando que cubriera homogéneamente toda la sección, abarcando las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Magdalena Contreras y Cuajimalpa, los municipios de Tepozotlán, Naucalpan, Cuautitlán, Tlalnepantla, Coacalco y Atizapan. La recolección del suelo y polvo se realizó con material de polietileno cerca del área de juegos infantiles, todo el material utilizado fue previamente lavado con HNO₃ al 10%, para eliminar residuos que pudieran alterar nuestros resultados. Se llevo a cabo el análisis de los siguientes metales biodisponibles en suelo y polvo: Mn, Cu, Zn, Fe, Co, Cr, Cd, Pb, Ni y V, por espectrofotometría de absorción atómica a la flama (Varian SpectrAA 800). Se realizó una comparación entre el contenido de metales pesados en suelo y polvo con las

concentraciones establecidas por las agencias ambientales siguientes: Ministère de l'Environnement du Québec (MEQ) (2001), IHOBE (1998) y USEPA (1992) y las concentraciones promedio de cada uno de los metales contenidos, en suelo y polvo, para establecer cuáles son los parques y áreas de reserva que representan un riesgo para la población especialmente infantil. En el caso del suelo el Casco de Santo Tomas (Pb); y para el polvo el Parque de los Venados (Pb), el Cerro del Judío (Co) el Parque Cultural Desierto de los Leones (Pb) y Ciudad Deportiva Solidaridad (Cd) presentan mayor riesgo para la población humana, especialmente infantil, por la presencia de concentraciones elevadas de metales pesados biodisponibles en suelo localizado en áreas de recreo infantil. Los parques que no representan riesgo son para el suelo: Parque Espejo de los Lirios y para el polvo Parque Tarango, Los Dinamos y Parque Estatal Sierra de Guadalupe.

1. INTRODUCCIÓN

Los parques y áreas de reserva que se encuentran en ambientes urbanos son espacios abiertos de uso público. Considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como imprescindibles por los beneficios que aportan a nuestro bienestar físico y emocional. En ellos se establecen relaciones humanas de esparcimiento, recreación, deporte, convivencia comunitaria, educación y cultura. Los parques ayudan a que respiremos aire fresco y limpio además, el contacto con estas áreas verdes suele ser, la máxima aproximación de muchos ciudadanos a la naturaleza (Anaya, 2001).

Sin embargo, en ocasiones dejan de ser un beneficio y se convierten en un problema para la salud, ya que al encontrarse en una zona altamente urbanizada están expuestos a la contaminación por metales pesados en suelo y polvo, derivada de las actividades antropogénicas como la construcción de carreteras, la alta afluencia vehicular y los actividades industriales (Adachi y Tainosho, 2005).

Los niños suelen ser los más afectados, debido a su baja tolerancia hacia estos elementos contaminantes, ya que pueden ingerir de 4 a 5 veces más elementos tóxicos

que los adultos, debido a las actividades realizadas en estas áreas, como el juego con suelo o polvo, originando la ingestión inadvertida de importantes cantidades de partículas con un alto contenido de metales pesados por vía cutánea o mano-boca (Al-Rajahi *et al.* 1996; Li *et al.* 2001; Banerjee, 2003; Ljung *et al.* 2006).

Se ha demostrado ampliamente que los suelos y/o polvos son un factor de riesgo, ya que suelen ser los “destinatarios” de grandes cantidades de metales pesados provenientes de una variedad de fuentes antropogénicas. Este problema se encuentra en las grandes urbes, como por ejemplo en Salamanca, Valladolid y Madrid, España en donde el contenido de Cd y Pb analizados en suelos de parques que se encuentran cerca de la alta afluencia vehicular y de zonas industriales presentan elevadas concentraciones (Sánchez *et al.*, 1994; De Miguel *et al.*, 1998 y Sánchez *et al.*, 2000).

En Rajasthan, India los niveles de Pb, Cr, Cu, Zn, Sr y V en el suelo de parques, resultaron ser superiores, en comparación con su distribución normal en el suelo, atribuyendo como fuente principal el tráfico y la industria (Krishna y Gov, 2004). En Palermo, Italia las concentraciones de Pb, Zn, Cu, Hg y Sn en suelo resultaron ser altas, considerando estos metales como marcadores de contaminación antropogénica, mientras que Mn, Ni, Co, Cr, Cd y V fueron los metales con menor concentración, siendo estos de origen parental (Manta *et al.*, 2002). Los suelos urbanos de Hong Kong presentaron altas concentraciones de Cd, Cu, Zn y Pb, éstos se encuentran en zonas urbanas, comerciales e industriales, siendo las principales fuentes de contaminación las emisiones automovilísticas y las actividades industriales. En un área de Nanjing, China los suelos de parques urbanos se encuentran contaminados por Cu, Zn, Cr y Pb (Lu *et al.*, 2003).

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es un área urbana con un rápido crecimiento, poblacional e industrial, lo que contribuye a aumentar en la actividad en el transporte y una continua demanda de tierras para la vivienda y el desarrollo de infraestructura. Esto ha puesto gran presión sobre el ambiente local. En la zona se

encuentran instaladas más de 40,000 industrias, de las cuales 5,000 se consideran altamente contaminantes y 400 son críticas en cuanto a la producción de contaminantes (Jiang *et al.*, 2005, Shim *et al.*, 2009). En la ciudad de México se conjunta una serie de actividades antropogénicas, que son la principal fuente de metales pesados, como: la industria minera, la automotriz, la pintura, el vidrio, la cerámica, la producción y el uso de productos químicos agrícolas, generación de electricidad, residuos domésticos y el tránsito vehicular (Cala *et al.*, 2003).

Así, la mayoría de los parques y áreas de reserva ecológica de la Ciudad de México son susceptibles a presentar niveles elevados de diversos contaminantes, entre ellos metales pesados, lo que representa un riesgo potencial de exposición por parte del público infantil que hace uso de estas áreas. De acuerdo con lo anterior los objetivos del presente estudio fueron:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es un área urbana con un rápido crecimiento, poblacional e industrial, lo que contribuye a aumentar en la actividad en el transporte y una continua demanda de tierras para la vivienda y el desarrollo de infraestructura. Esto ha puesto gran presión sobre el ambiente local. En la zona se encuentran instaladas más de 40,000 industrias, de las cuales 5,000 se consideran altamente contaminantes y 400 son críticas en cuanto a la producción de contaminantes (Jiang *et al.*, 2005, Shim *et al.*, 2009). En la ciudad de México se conjunta una serie de actividades antropogénicas, que son la principal fuente de metales pesados, como: la industria minera, la automotriz, la pintura, el vidrio, la cerámica, la producción y el uso de productos químicos agrícolas, generación de electricidad, residuos domésticos y el tránsito vehicular (Cala *et al.*, 2003).

Así, la mayoría de los parques y áreas de reserva ecológica de la Ciudad de México son susceptibles a presentar niveles elevados de diversos contaminantes, entre ellos metales pesados, lo que representa un riesgo potencial de exposición por parte del público infantil que hace uso de estas áreas.

ANTECEDENTES

En Rajasthan, India los niveles de Pb, Cr, Cu, Zn, Sr y V en el suelo de parques, resultaron ser superiores, en comparación con su distribución normal en el suelo, atribuyendo como fuente principal el tráfico y la industria (Krishna y Gov, 2004).

En Palermo, Italia las concentraciones de Pb, Zn, Cu, Hg y Sn en suelo resultaron ser altas, considerando estos metales como marcadores de contaminación antropogénica, mientras que Mn, Ni, Co, Cr, Cd y V fueron los metales con menor concentración, siendo estos de origen parental (Manta *et al.*, 2002).

Los suelos urbanos de Hong Kong presentaron altas concentraciones de Cd, Cu, Zn y Pb, éstos se encuentran en zonas urbanas, comerciales e industriales, siendo las principales fuentes de contaminación las emisiones automovilísticas y las actividades industriales.

En un área de Nanjing, China los suelos de parques urbanos se encuentran contaminados por Cu, Zn, Cr y Pb (Lu *et al.*, 2003).

OBJETIVO GENERAL

Determinar qué parques y áreas de reserva ecológica, de la zona metropolitana de la ciudad de México sección oeste (ZMCMO), representan un riesgo para la población humana, principalmente infantil, por la presencia de concentraciones elevadas de metales pesados biodisponibles en el suelo de las áreas de recreo infantil y el polvo que se acumula sobre las aceras.

OBJETIVOS PARTICULARES

Medir el contenido de metales biodisponibles o fracción intercambiable de Mn, Zn, Fe, Cd, Cr, Pb, Cr, Ni, Co y V en suelo y en polvo que se encuentran en parques y áreas recreativas de la ZMCMO.

Determinar en qué porción (norte, centro y sur) de la ZMCMO se encuentra la mayor concentración de metales en suelo y en polvo.

Determinar si existe una relación entre las características fisicoquímicas del suelo y del polvo y la concentración de metales pesados en los parques y áreas recreativas ecológica de la Zona Metropolitana de la ciudad de México sección oeste (ZMCMO).

HIPOTESIS

Los parques y áreas de reserva ecológica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México sección Oeste (ZMCMO) que se encuentren cerca de una zona con actividades industriales altas, presentarán mayor contenido de metales pesados en suelo y polvo.

JUSTIFICACION

Los parques y áreas de reserva que se encuentran en ambientes urbanos son espacios abiertos de uso público. Considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como imprescindibles por los beneficios que aportan a nuestro bienestar físico y emocional. En ellos se establecen relaciones humanas de esparcimiento, recreación, deporte, convivencia comunitaria, educación y cultura. Los parques ayudan a que respiremos aire fresco y limpio además, el contacto con estas áreas

verdes suele ser, la máxima aproximación de muchos ciudadanos a la naturaleza (Anaya, 2001). Sin embargo, en ocasiones dejan de ser un beneficio y se convierten en un problema para la salud, ya que al encontrarse en una zona altamente urbanizada están expuestos a la contaminación por metales pesados en suelo y polvo, derivada de las actividades antropogénicas (Adachi y Tainosho, 2005). Los niños suelen ser los más afectados, debido a su baja tolerancia hacia estos elementos contaminantes, ya que pueden ingerir de 4 a 5 veces más elementos tóxicos que los adultos, debido a las actividades realizadas en estas áreas, como el juego con suelo o polvo, originando la ingestión inadvertida de importantes cantidades de partículas con un alto contenido de metales pesados por vía cutánea o mano-boca (Al-Rajahi *et al.* 1996; Li *et al.* 2001; Banerjee, 2003; Ljung *et al.* 2006).

ALCANCE

El presente estudio ayudara a saber que es lo que sucede con los contaminantes en este caso metales pesados, que son emitidos a la atmosfera por las actividades antropogénicas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México seccion Oeste, y cual es el riesgo que corre toda la población, principalmente infantil, al tener contacto con estos contaminantes cuyo destino final suele ser el suelo y el polvo. De igual manera nos muestra que en la ZMCM, no existen leyes lo bastante estrictas para saber cuales son los limites de contenido de los metales pesados en suelo y polvo de estas áreas de recreación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) se asienta sobre la planicie aluvial que dejaron los antiguos lagos de Texcoco, México, Chalco y Xochimilco en el interior de la cuenca del Valle de México la cual se encuentra en la región central del territorio nacional, y tiene como centroide la confluencia del paralelo 10° 30' de Latitud Norte y el Meridiano 99° 02' de Longitud Oeste. (Fig. 1). La Altitud promedio es de 2240 msnm. La estructura del campo de viento dentro del Valle de México obedece en gran medida a una abertura orográfica casi libre de obstáculos en la región nororiental, donde el terreno es casi plano. Esta condición específica hace que la dirección prevaleciente de los vientos en superficie a lo largo del año, sea con mayor frecuencia del noreste hacia el suroeste; sin embargo, cuando los sistemas meteorológicos de escala mayor (escala sinóptica) propician vientos fuertes de cierta dirección, normalmente tal dirección se impone dentro del Valle e incluso se invierte la dirección antes descrita (INEGI, 2000).

La ZMVM posee una extensión de 4715.3 km² (3228.9 km² del Estado de México y 1486.4 km² del Distrito Federal). Del total de la superficie, el 65.5% es de uso urbano (43% del D.F y 22.5% del Estado de México) y el 34.5% restante es zona rural con usos de suelo agrícola, pecuario, forestal y áreas de conservación. La ZMVM con sus 19 millones de habitantes alberga al 18% de la población total del país. Es la segunda ciudad más grande del mundo, incluye 53,000 industrias y circulan diariamente 3.5 millones de vehículos (INEGI, 2000).

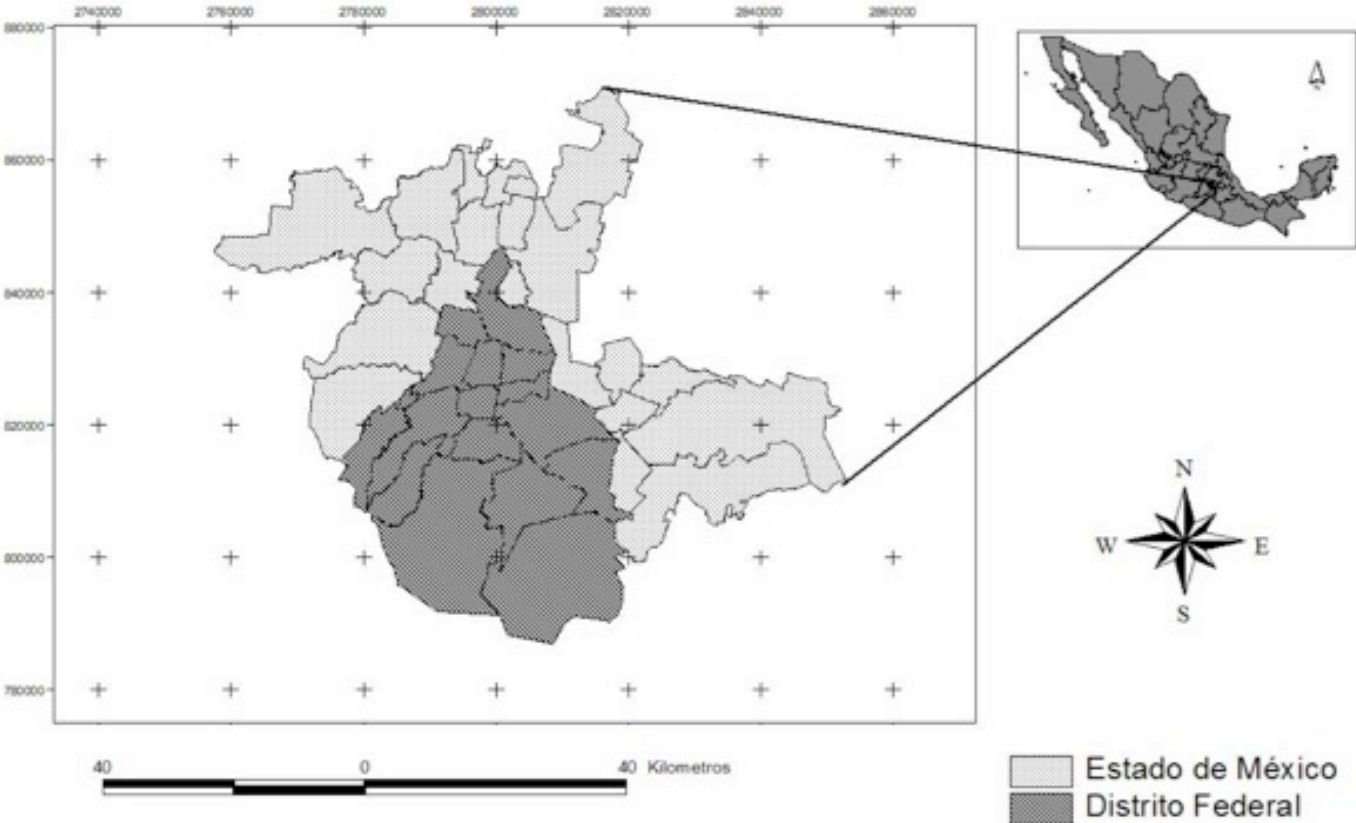


Fig. 1. Localización de la zona de estudio

2.2 Diseño de muestreo

La Zona Metropolitana del Valle de México se dividió en dos partes, sección este y sección oeste, esta división se realizó por el límite de las delegaciones y los municipios. En el presente estudio sólo se abarcó la zona oeste. En total fueron seleccionados 29 parques (Tabla 1) debido a su importancia para el uso público y procurando que cubriera homogéneamente toda la sección, abarcando las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Magdalena Contreras y Cuajimalpa, los municipios de Tepozotlán, Naucalpan, Cuautitlán, Tlalnepantla, Coacalco y Atizapán (Figura 2). En el apéndice I se encuentran la ubicación de los parques y áreas de reserva seleccionados mostrando sus principales avenidas.

La parte oeste de la ZMVM se encuentra altamente urbanizada con una alta densidad de tránsito vehicular y con la mayor superficie dedicada a la construcción, carreteras y pavimentación. La parte noroeste del área estudiada comprende un importante centro industrial con alta densidad de población. La parte central comprende el centro histórico con el distrito urbano de alta actividad. La zona suroeste ha estado dominada por actividades residenciales y comerciales, con altos índices de tránsito vehicular (Morton-Bermea *et al*, 2008).

Tabla 1 Parques y áreas de reserva ecológica de la ZMVMO incluidos en el presente estudio

#	Parques urbanos y zonas de reserva ecológica	Entidad Federativa	Colonia	Fecha de colecta	Coordenadas	
1	Parque Refinería	Azcapotzalco, D.F	Av. 5 de Mayo s/n	18/10/2007	19°28'14.44"N	99°11'46.22"O
2	Parque Tezozomoc		Calz. de las Armas S/N, Hacienda el Rosario	18/10/2007	19°29'58.06"N	99°12'34.97"O
3	Casco de Santo Tomas (IPN)		Av. de los Maestros s/n Col. Plutarco Elías Calles	27/10/2007	19°27'15.37"N	99°09'56.98"O
4	Parque Revolución		Col. Nueva Santa María s/n		19°27'53.65"N	99°10'00.20"O
5	Bosque de Chapultepec 1 Sección	Miguel Hidalgo, D.F	Paseo de la Reforma	14/10/2008	19°25'08.48"N	99°11'13.48"O
5	Bosque de Chapultepec 2 Sección		Paseo de la Reforma	27/11/2007	19°25'05.52"N	99°10'56.88"O
7	Alameda Central	Cuauhtémoc, D.F	Av. Hidalgo s/n Centro	24/01/2008	19°29'45.42"N	99°16'24.73"O
3	Parque España		Av. Nuevo León s/n Condesa	14/01/2008	19°24'55.22"N	99°10'16.55"O
9	Parque de la Juventud	Álvaro Obregón, D.F	Calle 10 Esq. Canario Col. Tolteca	27/11/2007	19°23'26.27"N	99°11'45.15"O
0	Parque Tarango		Av. Centenario Col. Bosques de Tarango	27/11/2007	19°20'58.27"N	99°14'38.24"O
1	Alameda Poniente		Vasco de Quiroga s/n Col. Santa fe	27/11/2007	19°23'08.92"N	99°13'58.41"O
2	Jardín de la Bombilla		Arenal y Abasolo Col. San Ángel	17/10/2007	19°20'49.74"N	99°11'09.32"O
3	Parque Hundido	Benito Juárez, D.F	Av. Insurgentes sur s/n	14/01/2008	19°22'41.13"N	99°10'43.20"O
4	Parque de los Venados		Av. División del Norte s/n Portales	17/10/2007	19°22'18.74"N	99°09'21.66"O
5	Parque Ciudad de México	Magdalena Contreras, D.F	Michoacán esquina Av. México	10/10/2008	19°17'39.58"N	99°11'39.79"O
6	Cerro del Judío		Col. Cerro del Judío s/n	12/01/2008	19°19'19.72"N	99°15'09.14"O
7	Los Dinamos		Camino a los Dinamos s/n	12/01/2008	19°17'42.42"N	99°15'28.11"O
8	Parque Nacional Cumbres del Ajusco		Carretera Picacho Ajusco s/n,	10/10/2007	19°19'44.19"N	99°18'41.11"O
9	Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones		Camino al Desierto de los Leones s/n,	12/01/2008	19°19'44.19"N	99°18'41.11"O
0	Reserva Natural de Xochitla	Cuajimalpa, D.F	Circunvalación s/n	14/01/2008	19°24'50.13"N	99°12'03.17"O
1	Reserva Río de los Remedios	Tepozotlán, Edo Méx	Vía Adolfo López Mateos s/n Los Remedios	27/11/2007	19°28'44.18"N	99°14'46.07"O
2	Parque Naucalli	Naucalpan, Edo. Méx	Blv. Manuel Ávila Camacho s/n, Santa Cruz Acatlán,	27/11/2007	19°29'29.85"N	99°14'24.72"O
3	Parque Espejo los Lirios	Cuautitlán, Edo. Méx	Av. Constitución Col. La Perla	19/11/2007	19°39'00.44"N	99°13'19.63"O
4	Parque de las Esculturas		Av. Dr. Jorge Jimenez Cantú S/N	19/11/2007	19°39'27.07"N	99°12'20.72"O
5	Facultad de Estudios Superiores Iztacala	Tlalnepantla, Edo. Méx	Av. De los Barrios #1 Col. Los Reyes Iztacala	20/11/2007	19°31'29.05"N	99°11'17.29"O
6	Ciudad Deportiva Solidaridad		Av. Iztacala s/n	20/11/2007	19°31'10.78"N	99°11'38.85"O
7	Parque Estatal Sierra de Guadalupe	Coacalco, Edo. Méx	República Mexicana s/n	13/01/2008	19°36'19.97"N	99°06'41.40"O
8	Parque Villa de las Manzanas		Vía José López Portillo Col. Villa de las Manzanas	19/11/2007	19°38'01.46"N	99°06'00.84"O
9	Parque Rancho la Palma I		Av. Mexiquense Fracc. Rancho la Palma I	19/11/2007	19°38'34.42"N	99°07'20.11"O
0	Parque de los Ciervos	Atizapan, Edo. Méx	Av. Paseo Lomas Verdes, Zona Esmeralda	23/01/2008	19°29'29.80"N	99°14'24.71"O

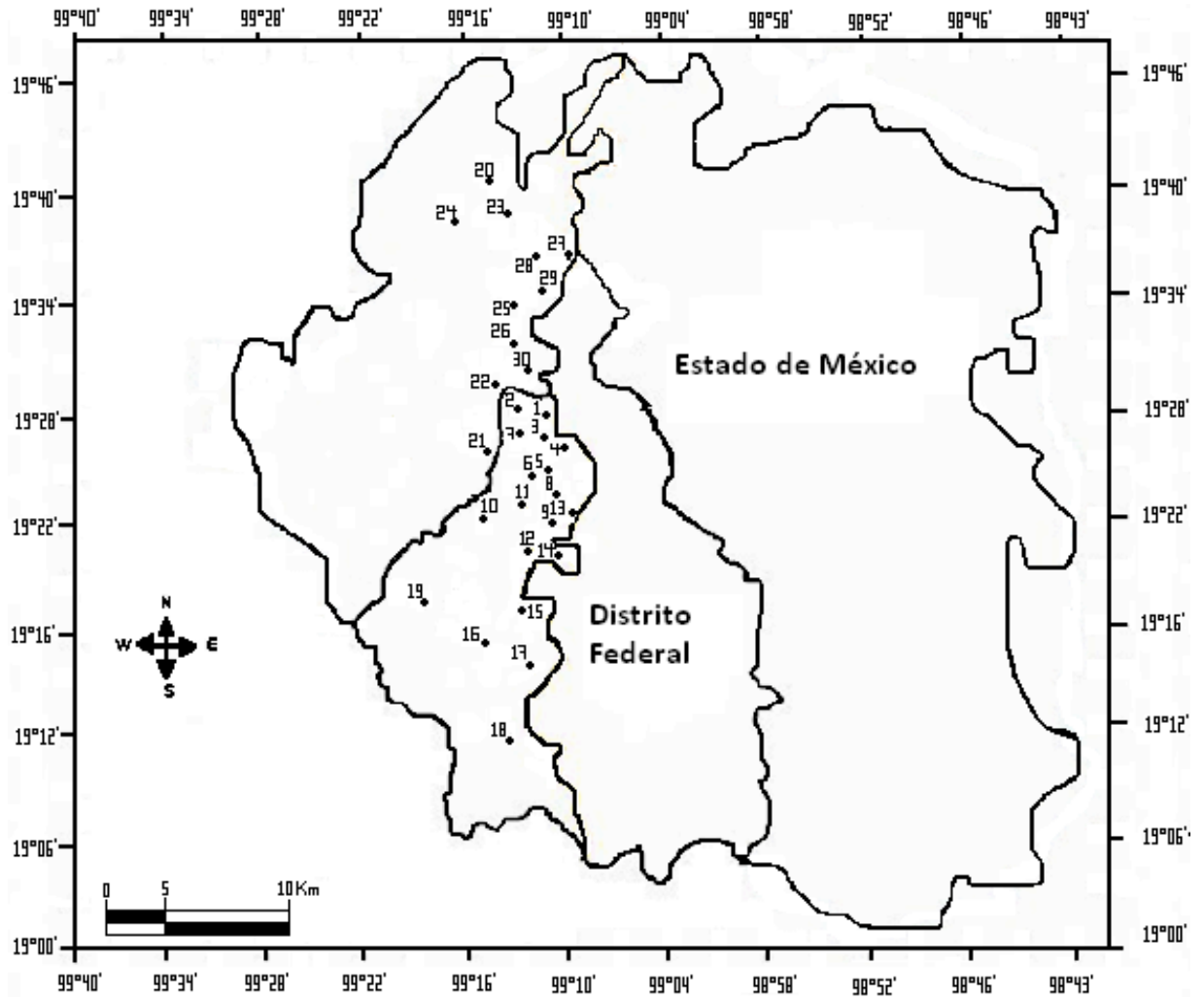


Fig. 2. Localización de los sitios de muestreo

2.3 Recolección de muestras

El muestreo se llevó a cabo entre octubre del 2007 a enero del 2008. Las fechas de recolección de muestras en cada parque se muestran en la Tabla 1. Las muestras de suelo se obtuvieron principalmente cerca del área de juegos infantiles localizados en los parques. Una vez seleccionado el lugar, con una pala de polietileno se retiró la basura que se encontró en la superficie y se recolectó la muestra de suelo superficial a una profundidad aproximada de 5 a 15 cm. Adicionalmente se tomaron muestras de polvo, con un cepillo de cerdas de plástico y un recogedor del mismo material, tomando la muestra sobre el pavimento, se reunió la cantidad requerida con el recogedor. Cada muestra se colocó en una bolsa de polietileno previamente etiquetada. Se tomaron muestras de suelo y de polvo, por que son partículas, que llegan a tener un fácil contacto con el público infantil, por las actividades de juego que realizan en estas áreas.

2.4 Tratamiento de las muestras

Las muestras fueron secadas al aire para eliminar la humedad. Una vez que las muestras secaron completamente se tamizaron con una malla de 2 mm de plástico, para eliminar hojas, papel, vidrio, plástico, piedras, etc.

2.5 Preparación del material

Para almacenar las muestras se ocuparon frascos de polietileno. Estos, se lavaban con agua y jabón, después se enjugaron con agua deionizada y se llenaron con HNO₃ al 10%, se almacenaron en un bote de plástico durante mínimo 48 hrs, después se lavaron con agua deionizada tres veces para eliminar residuos, y se pusieron a secar en un lugar previamente aseado con HNO₃ y agua deionizada. Todo el material como matraces, embudos de plásticos y puntas para micropipetas fueron lavadas con el mismo procedimiento para evitar cualquier agente contaminante que hubiese podido interferir con los resultados de este trabajo.

2.6 Determinación del contenido de metales en suelo y polvo

Para la extracción de metales biodisponibles en el suelo y polvo, se ocuparon los siguientes métodos:

(1) DTPA (Lindsay and Norvell 1978) citada en Carter R. 1993: Mn, Zn, Cu y Fe.

(2) HNO₃ 1 M (Liang y Karamos 1985) citada en Carter R. 1993: Pb, Cr, Co, Ni, Cd y V.

Ambos métodos resultan ser eficientes cuando se quieren extraer los metales pesados asociados a la fracción disponible del suelo (Carter R. 1993).

Para la extracción con DTPA, se realizó el siguiente procedimiento: se pesaron 5 g de suelo y de polvo y se colocaron en frascos de polietileno, se agregó 25 ml de DTPA y se agitó durante 2 horas a 120 rpm en un agitador orbital. Después de agitar se filtró con papel filtro Whatman No 42. Si las muestras se mostraban turbias se filtraron las veces que fueran necesarias.

Para la extracción con HNO₃ 1M se realizó el siguiente procedimiento: se pesaron 3 g de suelo y de polvo y se colocaron en frascos de polietileno, se agregó 25 ml de HNO₃ y se agitó durante 2 horas a 120 rpm en un agitador orbital, después de agitar se filtraron con papel filtro Whatman No 42. Si las muestras se mostraban turbias se filtraron las veces que fueran necesarias.

Posteriormente se midieron los metales por espectrofotometría de absorción atómica a la flama (Varian SpectrAA 800). Esta es una técnica cuantitativa de análisis químico y consiste en vaporizar la muestra a alta temperatura y la determinación de las concentraciones de átomos se realiza midiendo la absorción o la emisión en sus longitudes de onda características. Debido a su alto índice de confianza en cuanto a sus niveles de sensibilidad y de detección, esta técnica ha llegado a ser una de las principales herramientas de la química analítica y es de gran aplicación en ingeniería. Pues puede determinar concentraciones de analito en niveles de partes por millón. Para el análisis se prepararon blancos, soluciones cero y estándares para cada elemento analizado, durante la medición se realizaban calibraciones por cada 10 y 20

muestras procesadas. El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO, UNAM-FES Iztacala.

2.7 Parámetros fisicoquímicos

Para cada muestra se realizaron las siguientes pruebas: pH, por el método del potenciómetro (Bates 1954, Willard et al. 1958) citado en Muñoz *et al* 2000 este método consiste en medir el potencial de un electrodo sensitivo a los H⁺ (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema. El electrodo de vidrio a través de sus paredes forma un potencial eléctrico. Durante la medición se utilizan soluciones con pH conocidas para calibrar el instrumento.

La materia orgánica se determinó por el método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico (Walkley y Black 1947) citado en Muñoz *et al* 2000 este método se basa en la oxidación de la materia orgánica mediante un agente oxidante añadido en exceso al suelo, con la valoración o determinación de dicho agente. La materia orgánica del suelo se oxida mediante el calor de la reacción del dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico, formando ácido crómico cuyo exceso es valorado por titulación con sulfato ferroso y el indicador difenilamina. Además, se adiciona ácido fosfórico para eliminar la acción de los óxidos de hierro y que contribuyen al viraje de la solución.

La textura del suelo, se determinó con el método del hidrómetro (Bouyocus 1962) citado en Muñoz *et al* 2000, es el más usado en la determinación de texturas y está basado en el cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas utilizando el principio de la ley de Stokes que establece que la densidad de una solución acuosa en reposo varía directamente con la cantidad de partículas en suspensión que se van asentando de acuerdo a su diámetro y al tiempo transcurrido (Muñoz *et al* 2000).

El análisis físico-químico de las muestras se realizó en el laboratorio de Edafología de la UBIPRO, UNAM-FES Iztacala

2.8 Normas ambientales

Se realizó una comparación entre el contenido de metales pesados en suelo y polvo con las concentraciones establecidas por las agencias ambientales siguientes: Ministère de l'Environnement du Québec (MEQ) (2001), IHOBE (1998) y USEPA (1992). También se tomaron las concentraciones promedio de cada uno de los metales contenidos, en suelo y

polvo, esto con el fin de establecer cuales son los parques y áreas de reserva que representan un riesgo para la población especialmente infantil.

2.9 Representación espacial

Se represento de manera espacial (mapa) para identificar los sitios que no representan un riesgo por contaminación por metales pesados en suelo y polvo.

3. RESULTADOS

3.1 Contenido de metales en suelo y polvo

La concentración de metales pesados (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Cd, Pb, Ni, Co y V) en suelo de parques y áreas de reserva ecológica se muestran en la tabla 2.

SUELO

La concentración promedio de Cu fue de 1.7 ± 2.8 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo de Cu se encontró en el Casco de Santo Tomas, con 14.9 $\mu\text{g/g}$, mientras que la Reserva Natural Xochitla, Parque Espejo de los Lirios, y la Reserva Sierra de Guadalupe presentaron un valor mínimo de 0.2 $\mu\text{g/g}$.

Para Mn, el promedio fue de 3.4 ± 2.5 $\mu\text{g/g}$. El Parque Recreativo Desierto de los Leones obtuvo el valor máximo con 8.7 $\mu\text{g/g}$, mientras que el Parque Ecológico de la Juventud presentó un valor mínimo de 0.3 $\mu\text{g/g}$.

EL Zn obtuvo un promedio de 3.4 ± 6.9 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo obtenido fue en la Alameda Poniente, con 39 $\mu\text{g/g}$, mientras que el Parque Tarango presentó el valor mínimo de 0.3 $\mu\text{g/g}$.

La concentración promedio de Fe fue de 8.6 ± 6.6 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo fue 27.3 $\mu\text{g/g}$ que se encontró en el Parque Refinería, mientras que el parque de las Esculturas obtuvo el valor mínimo de 1.2 $\mu\text{g/g}$.

Para el Cr el promedio fue de 2.3 ± 3.3 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo se localizó en la Alameda Poniente con 18.7 $\mu\text{g/g}$, a diferencia del Parque Refinería que obtuvo el valor mínimo de 0.1 $\mu\text{g/g}$.

El Cd, presentó una concentración promedio de 0.3 ± 0.02 $\mu\text{g/g}$. La Alameda Poniente obtuvo el valor máximo de Cd, con 1.3 $\mu\text{g/g}$, en los parques Espejo de los Lirios; Parque Villa de las Manzanas; Parque Tarango y el Parque Nacional Cumbres del Ajusco se encontró un valor mínimo de 0.1 $\mu\text{g/g}$.

En el caso del Pb, presentó un promedio de $26.8 \pm 41.4 \mu\text{g/g}$. El valor máximo se encontró en el Casco de Santo Tomas con $198 \mu\text{g/g}$, mientras que el Parque Tarango presentó un valor mínimo de $1.8 \mu\text{g/g}$.

El promedio de Ni fue de $5.6 \pm 4.3 \mu\text{g/g}$. El valor máximo se encontró en la Alameda Poniente con $26 \mu\text{g/g}$, mientras que el Parque Ciudad de México presentó un valor mínimo de $1.8 \mu\text{g/g}$.

El Co presentó un promedio de $1.9 \pm 0.6 \mu\text{g/g}$. El valor máximo fue de $2.9 \mu\text{g/g}$, en la Reserva Sierra de Guadalupe, mientras que el Parque Refinería presentó un valor mínimo de $0.2 \mu\text{g/g}$.

Por último, el promedio de V fue de $6.0 \pm 2.9 \mu\text{g/g}$. El valor máximo de V fue de $13.3 \mu\text{g/g}$, éste se encontró en el Parque España y en el Parque Refinería se encontró el valor mínimo que fue de $0.5 \mu\text{g/g}$.

Tabla 2
Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$) en suelo colectado en los parques y áreas de reserva ecológica de la zona metropolitana del valle de México

#	Parque/reserva ecológica	$\mu\text{g/g}$									
		Cu	Mn	Zn	Fe	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	V
1	Parque Refinería	2.3	4.0	1.6	27.3	0.1	0.2	3.1	4.9	0.2	0.5
2	Parque Tezozomoc	0.9	4.0	1.8	4.2	2.9	0.3	17.1	4.1	2.7	10.0
3	Casco de Santo Tomas (IPN)	14.9	1.4	2.1	2.4	2.8	0.6	198.3	7.3	2.4	8.5
4	Parque Revolución	2.9	0.7	8.7	3.6	2.4	0.6	32.8	5.2	1.6	5.2
5	Bosque de Chapultepec 1 secc.	0.8	0.8	2.3	3	0.7	0.2	31.3	6.1	2.0	6.6
6	Bosque de Chapultepec 2 secc.	1.1	1.8	3.3	9.1	0.8	0.2	10.9	4.7	2.2	5.6
7	Alameda Central	2.4	1.0	1.2	5.4	3.4	0.7	89.2	8.1	1.9	8.3
8	Parque España	1.1	0.6	3.4	5.1	5.1	0.5	57.2	7.1	2.7	13.3
9	Parque Ecológico de la Juventud	0.6	1.1	1.5	16.8	1.5	0.4	11.2	4.4	2.3	6.3
10	Parque Tarango	0.4	5.2	0.3	10.5	0.7	0.1	1.8	4.0	0.8	3.0
11	Alameda Poniente	5.0	1.8	39	13.1	18.7	1.3	20.2	26.0	1.8	10.4
12	Jardín de la Bombilla	0.5	0.8	2.0	3.1	1.7	0.3	30.0	6.1	2.4	7.3
13	Parque Hundido	3.0	1.6	3.1	10.8	2.6	0.5	113.6	6.5	2.7	7.3
14	Parque de los Venados	1.1	0.3	2	4.4	2.1	0.4	46.4	5.5	2.1	5.6
15	Parque Ciudad de México	2.6	6.1	2.3	3.4	0.8	0.2	7.3	1.8	0.9	1.9
16	Reserva Ecológica Cerro del Judío	0.4	4.5	1.3	22.3	1.3	0.2	9.1	2.5	2.6	7.2
17	Los dinamos	0.3	5.1	1.4	15.5	1.1	0.2	3.9	4.2	1.5	11.4
18	Parque Nacional Cumbres del Ajusco	0.3	0.4	0.7	13.5	0.7	0.1	2.0	3.1	1.6	4
19	Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones	0.9	8.7	1.8	10.6	4	0.3	21.9	4.8	2.5	4.8
20	Reserva Natural Xochitla	0.2	0.9	1.8	3.6	1.6	0.2	6.9	3.3	1.9	6.4
21	Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios	0.4	6.7	2.2	8.9	0.5	0.2	6.7	3.2	1.3	2.7
22	Parque Naucalli	0.9	6.9	4.3	11.5	1.7	0.2	18.0	3.5	1.2	4.3
23	Parque Espejo de los Lirios	0.2	2.2	1.0	2.0	0.5	0.1	4.5	3.1	1.9	4.0
24	Parque de las Esculturas	0.3	5.2	1.8	1.2	0.6	0.2	10.1	4.8	1.8	4.8
25	Faculta de Estudios Superiores Iztacala	1.3	8.1	1.4	2.7	2.1	0.3	7.8	4.4	1.8	5.7
26	Ciudad deportiva solidaridad	3.5	3.6	1.7	13.2	3.1	0.4	12.7	6.1	1.9	6.5
27	Parque Estatal Sierra de Guadalupe	0.2	5.3	2.8	7.0	1.4	0.2	5.3	4.1	2.9	8.3
28	Parque Villa de las Manzanas	0.3	6.3	1.0	4.7	1	0.1	4.5	11.2	1.6	3.8
29	Parque Rancho la Palma 1	0.6	3.5	1.5	17.7	1	0.2	11.2	5.8	1.4	2.3
30	Parque los Ciervos	0.3	3.3	2.9	1.8	1.9	0.3	10.0	2.3	2.2	4.2
	Promedio	1.7	3.4	3.4	8.6	2.3	0.3	26.8	5.6	1.9	6.0
	D.E	2.8	2.5	6.9	6.6	3.3	0.2	41.4	4.3	0.6	2.9
	Min	0.2	0.3	0.3	1.2	0.1	0.1	1.8	1.8	0.2	0.5
	Max	14.9	8.7	39	27.3	18.7	1.3	198.3	26	2.9	13.3

En la tabla 3 se presenta el contenido de metales pesados en polvo.

El promedio de Cu en polvo fue de 2.7 ± 2.4 $\mu\text{g/g}$. El parque que presentó mayor concentración fue el Parque Villa de las Manzanas con 11.4 $\mu\text{g/g}$ y la menor concentración en la Reserva Ecológica Cerro del Judío (0.3 $\mu\text{g/g}$).

La concentración promedio de Mn fue de 12 ± 3.7 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo se encontró en el Parque España con 36.5 $\mu\text{g/g}$ mientras que el Parque Ecológico de la Juventud presentó la concentración mínima de 0.02 $\mu\text{g/g}$.

El promedio de Zn fue de 6.7 ± 11 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo fue de 53.6 $\mu\text{g/g}$ en el parque Tezozomoc al contrario de la Reserva Natural Xochitla que presentó 0.2 $\mu\text{g/g}$.

Para el Fe, el promedio fue de 7.4 ± 5.1 . El área con mayor concentración de Fe fue el Parque Naucalli, con 19.8 $\mu\text{g/g}$, la Facultad de Estudios Superiores-Iztacala presentó una concentración mínima de 1 $\mu\text{g/g}$.

El Cr presentó una concentración promedio 8.3 ± 6.5 $\mu\text{g/g}$. La cantidad máxima fue de 25.1 $\mu\text{g/g}$ en la Reserva Natural Xochitla, mientras el Parque Tarango, obtuvo un valor mínimo de 0.7 $\mu\text{g/g}$.

El promedio de Cd fue de 0.6 ± 1.1 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo se encontró en el Deportivo Solidaridad, con 6.4 $\mu\text{g/g}$, mientras que la Alameda Poniente; Parque Nacional Cumbres del Ajusco y Los Dinamos; obtuvieron un valor mínimo de 0.2 $\mu\text{g/g}$.

Pb, presentó un promedio de 62 ± 11.2 $\mu\text{g/g}$. El valor máximo fue de 195.9 $\mu\text{g/g}$ en el Parque de los Venados y el valor mínimo fue de 8.2 $\mu\text{g/g}$ y se encontró en la Reserva Ecológica Cerro del Judío.

Para el Ni, el promedio fue $5.0 \pm 1.5 \mu\text{g/g}$. El valor máximo $7.9 \mu\text{g/g}$, esta concentración se encontró en el Bosque de Chapultepec 1 secc., en contraste con el Parque de los Ciervos, que presentó un valor mínimo de $2.5 \mu\text{g/g}$.

El promedio de Co fue de $11.0 \pm 5.0 \mu\text{g/g}$. La cantidad máxima fue de $276.4 \mu\text{g/g}$, que se encontró en la Reserva Ecológica Cerro del Judío, y en la Reserva Ecológica Bosque Río de los Remedios presentó un valor mínimo de $0.1 \mu\text{g/g}$.

Por último, el promedio de V fue de $3.6 \pm 18 \mu\text{g/g}$. El valor máximo fue de $98.7 \mu\text{g/g}$, encontrado en la Reserva Ecológica Cerro del Judío, Magdalena Contreras, y en la Reserva Ecológica Bosque Río de los Remedios presentó $0.02 \mu\text{g/g}$.

Tabla 3
Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$) en polvo colectado en los parques y áreas de reserva ecológica de la zona metropolitana del valle de México

#	Parque/reserva ecológica	$\mu\text{g/g}$									
		Cu	Mn	Zn	Fe	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	V
1	Parque Refinería	4.1	19	18	6.3	11.7	0.5	61.5	7	1.7	0.2
2	Parque Tezozomoc	3.2	6.4	0.4	9.5	2.5	0.6	33	5.5	1.6	0.3
3	Casco de Santo Tomas (IPN)	2.5	30	1.6	7.7	6.1	0.5	80.8	5.8	1.6	0.3
4	Parque Revolución	8.5	14	54	5.3	17	0.4	106	6.8	3.4	0.5
5	Bosque de Chapultepec 1 secc.	4.8	33	24	15.5	2.9	0.6	70.1	7.9	3	0.4
6	Bosque de Chapultepec 2 secc.	3.6	19	24	4.7	2.3	0.6	21.7	6.1	1.5	0.2
7	Alameda Central	2.4	17	19	9.5	4.4	0.7	63.7	6.6	1.1	0.2
8	Parque España	3.8	36	2	12.1	3.1	0.5	67.3	5.1	1.9	0.4
9	Parque Ecológico de la Juventud	3.4	0	2.4	8.6	1.9	0.6	14.1	5.4	2.3	0.4
10	Parque Tarango	2.5	5.4	1.7	3.1	0.7	0.2	10.3	2.6	1.2	0.5
11	Alameda Poniente	1.8	9.1	1.4	5.5	9.4	0.2	40.8	3	1.6	0.5
12	Jardín de la Bombilla	2.9	17	2.2	10.8	3.1	0.3	36.3	6.3	1.7	0.3
13	Parque Hundido	4.2	0	2.5	11.7	4.9	0.4	50.1	4.2	1.3	0.3
14	Parque de los Venados	1.4	20	2.8	12.9	19.1	0.4	196	5.3	1.4	0.3
15	Parque Ciudad de México	1.2	2.7	1.3	1.7	16.1	0.4	64.5	4.2	1.7	0.4
16	Reserva Ecológica Cerro del Judío	0.3	2.9	1.9	2.9	2.1	0.3	8.2	2.8	276	98.7
17	Los dinamos	0.4	3.6	0.4	3.6	7.3	0.2	37.2	2.9	1.2	0.4
18	Parque Nacional Cumbres del Ajusco	0.4	2.7	3	2.6	1.7	0.2	10.7	3.1	1	0.3
19	Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones	0.7	6.4	3.3	1.8	13	0.5	168	6.3	2.1	0.3
20	Reserva Natural Xochitla	0.8	8.2	0.2	4.9	25.1	0.3	102	3.4	1.9	0.6
21	Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios	1.9	17	2.1	5.1	7.1	0.4	56.1	3.5	0.1	0.2
22	Parque Naucalli	3.5	2.6	0.7	9.4	9.6	0.3	72.7	4.4	1.2	0.3
23	Parque Espejo de los Lirios	0.6	12	1.6	1.1	9.5	0.3	68.1	5.5	1.8	0.3
24	Parque de las Esculturas	3.7	25	1.8	4.9	1.5	0.7	24.9	6.8	2.6	0.4
25	Faculta de Estudios Superiores Iztacala	1.4	0.7	3.1	1	17.7	0.4	97.2	4.8	2	0.4
26	Ciudad deportiva solidaridad	2.4	8.4	3.2	14.6	17.3	6.4	92.9	5.4	1.4	0.3
27	Parque Estatal Sierra de Guadalupe	0.6	9.1	2	4.4	4.9	0.4	23.2	3.8	3.1	0.8
28	Parque Villa de las Manzanas	11.4	13	17	17.4	12.7	0.7	79.7	5.6	1.3	0.2
29	Parque Rancho la Palma 1	3.4	7.3	3	3.3	10.8	0.6	89.2	6.4	1.1	0.2
30	Parque los Ciervos	0.5	13	2.3	19.8	2.8	0.3	15	2.5	2.2	0.9
	Promedio	2.7	12.0	6.8	7.4	8.3	0.6	62.0	5.0	10.9	3.7
	D.E	2.4	9.7	11.4	5.1	6.5	1.1	44.2	1.5	50.1	18.0
	Min	0.3	0	0.2	1.0	0.7	0.2	8.2	2.5	0.1	0.2
	Max	11.4	36	54	19.8	25.1	6.4	196	7.9	276	98.7

3.2 Parámetros fisicoquímicos

La tabla 4 presenta los resultados de las pruebas edafológicas realizadas al suelo de parques y áreas de reserva ecológica.

El promedio de materia orgánica fue de 8.7 ± 5.6 . El porcentaje osciló entre 1.2 a 39.9%, siendo el Parque Nacional Cumbres del Ajusco el que presentó el menor porcentaje en comparación con el parque Espejo de los Lirios.

El promedio de pH fue de 7.0 ± 0.6 , considerado como neutro. Los suelos presentaron un pH entre 6.0 y 8.3, siendo la reserva ecológica Cerro del Judío la que presentó un pH ácido (6.0), en comparación con el Casco de Santo Tomás (IPN) un pH básico (8.2).

El porcentaje de arenas presentó un promedio de 74.7 ± 9.8 . observándose una oscilación de 48.4 a 74.6%, la Ciudad Deportiva Solidaridad presentó una porción de arenas menor en comparación con el Parque Ciudad de México; en el caso de los limos el promedio fue de 15.0 ± 7.8 , variando entre 0 a 32.0%, siendo el Jardín de las Bombillas el área con menor porcentaje de limos en contraste con la Ciudad Deportiva Solidaridad. Finalmente, el promedio de arcillas fue de 10.3 ± 6.2 , el porcentaje de estas partículas osciló entre 3.2 a 25.6%, la Reserva Natural Xochitla que presentó el valor más bajo en arcillas en comparación con el Parque Tezozomoc.

Tabla 4
Características fisicoquímicas del suelo de los parques y áreas de reserva ecológica de la zona metropolitana del valle de México.

#	Parque/reserva ecológica	M.O		Arenas	Limos	Arcillas
		pH	%	%	%	%
1	Parque Refinería	5.5	7.0	62.0	16.0	22.0
2	Parque Tezozomoc	14.0	6.8	64.4	20.0	15.6
3	Casco de Santo Tomas (IPN)	12.0	8.2	75.2	16.0	8.8
4	Parque Revolución	4.3	7.3	69.2	23.6	7.2
5	Bosque de Chapultepec 1 secc.	5.3	7.3	60.0	17.5	22.5
6	Bosque de Chapultepec 2 secc.	6.0	7.4	85.6	1.6	12.8
7	Alameda Central	18.0	7.0	89.6	6.0	4.4
8	Parque España	6.9	6.9	84.4	6.0	9.6
9	Parque Ecológico de la Juventud	14.0	6.9	77.6	17.2	5.2
10	Parque Tarango	2.8	6.3	83.2	5.0	16.8
11	Alameda Poniente	27.0	6.3	N.D	N.D	N.D
12	Jardín de la Bombilla	5.7	7.5	62.4	13.6	24.0
13	Parque Hundido	4.8	7.1	74.4	18.0	7.6
14	Parque de los Venados	6.8	7.7	76.0	12.0	12.0
15	Parque Ciudad de México	6.6	6.9	94.4	2.0	3.6
16	Reserva Ecológica Cerro del Judío	13.0	6.0	79.2	17.6	3.2
17	Los dinamos	12.0	6.4	75.6	17.6	6.8
18	Parque Nacional Cumbres del Ajusco	1.2	6.1	82.4	14.0	3.6
19	Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones	17.0	7.0	71.2	25.6	3.2
20	Reserva Natural Xochitla	10.0	7.2	79.2	17.6	3.2
21	Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios	5.0	6.6	73.6	13.6	12.8
22	Parque Naucalli	7.4	6.6	69.2	23.6	7.2
23	Parque Espejo de los Lirios	6.0	8.0	69.6	17.6	12.8
24	Parque de las Esculturas	3.9	7.6	68.0	25.6	6.4
25	Faculta de Estudios Superiores Iztacala	6.4	7.7	77.2	13.6	9.2
26	Ciudad deportiva solidaridad	5.2	7.3	48.4	32.0	19.6
27	Parque Estatal Sierra de Guadalupe	4.8	7.0	83.2	4.0	12.8
28	Parque Villa de las Manzanas	3.4	6.6	80.4	10.0	9.6
29	Parque Rancho la Palma 1	14.0	6.2	75.6	17.6	6.8
30	Parque los Ciervos	13.0	7.8	N.D	N.D	N.D
	Promedio	8.7	7.0	74.7	15.0	10.3
	D.E	5.6	0.6	9.8	7.8	6.2
	Min	1.2	6	48.4	1.6	3.2
	Max	27	8.2	94.4	32	24

N.D: NO DETERMINADA

La tabla 5, se encuentran los resultados de las características edafológicas realizadas a las muestras de polvo.

El promedio de materia orgánica fue de 11.8 ± 8.4 . Los resultados oscilaron entre 1.2 a 31.9%, siendo el Parque Ciudad de México el que presentó el menor porcentaje en comparación con la Reserva Ecológica Cerro del Judío.

Mientras que el pH, presentó un promedio de 7.4 ± 0.7 considerado neutro. El Casco de Santo Tomas presentó el pH más bajo (6.3) ácido, en comparación con la FES Iztacala, que fue el más alto pH (9.8).

El promedio de arenas obtenido fue de 83.6 ± 10.0 . El contenido de arenas en el suelo fue de 51.6 a 93.2 %. El Parque de la Juventud mostró una concentración baja a diferencia del Parque Espejo de los lirios. El promedio de limos es de 11.3 ± 9.2 los limos se presentaron en un rango de 0 a 39.2%, el Bosque de Chapultepec 1ª sección no presentó limos, mientras que en el Parque Ecológico de la juventud se encontró la mayor cantidad. Finalmente en el caso de las arcillas su promedio fue de 5.3 ± 3.3 , la proporción en los polvos osciló entre 2 a 15.6%, el Parque de los Venados mostró una menor proporción a diferencia del Parque Tezozomoc.

Tabla 5
Características fisicoquímicas del polvo de los parques y áreas de reserva ecológica de la zona metropolitana del valle de México.

#	Parque/reserva ecológica	M.O		Arenas	Limos	Arcillas
		pH	%	%	%	%
1	Parque Refinería	11.0	7.6	78.0	10.0	12.0
2	Parque Tezozomoc	13.4	7.2	85.6	10.0	4.4
3	Casco de Santo Tomas (IPN)	29.4	6.3	N.D	N.D	N.D
4	Parque Revolución	4.3	7.4	83.2	13.6	3.2
5	Bosque de Chapultepec 1 secc.	11.2	7.3	92	5.0	8.0
6	Bosque de Chapultepec 2 secc.	14.2	6.9	85.6	11.6	2.8
7	Alameda Central	23.1	7.2	N.D	N.D	N.D
8	Parque España	11.2	7.3	74.4	18.0	7.6
9	Parque Ecológico de la Juventud	11.9	7.1	51.6	39.2	9.2
10	Parque Tarango	1.9	7.9	83.2	9.6	7.2
11	Alameda Poniente	4.6	7.6	91.6	5.2	3.2
12	Jardín de la Bombilla	8.2	7.1	90.8	5.2	4.0
13	Parque Hundido	5.3	6.9	78.4	16.0	5.6
14	Parque de los Venados	20.4	6.7	92.8	5.2	2.0
15	Parque Ciudad de México	1.2	7.5	N.D	N.D	N.D
16	Reserva Ecológica Cerro del Judío	31.9	9.4	75.6	17.6	6.8
17	Los dinamos	6.4	7.3	85.2	11.6	3.2
18	Parque Nacional Cumbres del Ajusco	1.4	8.2	84.4	6.0	9.6
19	Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones	12.1	7.0	59.2	37.6	3.2
20	Reserva Natural Xochitla	5.1	7.2	80.2	4.6	15.2
21	Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios	7.1	7.4	85.6	12.0	2.4
22	Parque Naucalli	3.1	7.0	90.4	6.4	3.2
23	Parque Espejo de los Lirios	4.4	7.2	93.2	1.6	5.2
24	Parque de las Esculturas	24.8	6.9	N.D	N.D	N.D
25	Faculta de Estudios Superiores Iztacala	13.9	9.8	86.4	10.4	3.2
26	Ciudad deportiva solidaridad	12.2	7.6	89.6	7.6	2.8
27	Parque Estatal Sierra de Guadalupe	8.9	7.5	91.2	6.0	2.8
28	Parque Villa de las Manzanas	9.6	7.1	90.4	6.0	3.6
29	Parque Rancho la Palma 1	27.3	7.9	92.8	2.4	4.8
30	Parque los Ciervos	13.6	7.6	81.2	15.6	3.2
	Promedio	11.8	7.4	83.6	11.3	5.3
	D.E	8.4	0.7	10.0	9.2	3.3
	Min	1.2	6.3	51.6	1.6	2.0
	Max	31.9	9.8	93.2	39.2	15.2

N.D: NO DETERMINADO

3.3 Zona Norte, Centro y Sur

Con el fin de comparar la zona norte, centro y sur de la ZMVMO, se agruparon los parques que se encontraban en la zona norte, centro y sur (Tabla 6).

Tabla 6
Parques y áreas de reserva localizados en la zonas norte, centro y sur de la ZMVM

Zona Norte	Zona Centro	Zona Sur
Reserva Natural Xochitla	Alameda Central	Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones
Parque Espejo de los Lirios	Parque España	Parque Nacional Cumbres del Ajusco
Parque de las Esculturas	Bosque de Chapultepec 1 secc.	Reserva Ecológica cerro del Judío
Parque Villa de las Manzanas	Bosque de Chapultepec 2 secc.	Los Dinamos
Parque Rancho la Palma 1	Parque Hundido	
Reserva de Sierra de Guadalupe (Edo Méx.)	Parque de los Venados	
Parque los Ciervos	Parque Ecológico de la Juventud	
Parque Naucalli	Alameda Poniente	
Reserva Ecológica Bosque Río de Los Remedios	Parque Tarango	
Fes-Iztacala	Jardín de la Bombilla	
Ciudad Deportiva Solidaridad	Parque Ciudad de México	
Parque Revolución		
Parque Tezozomoc		
Parque Refinería		

En la tabla 7 se encuentran los promedios del contenido de metales pesados en suelo y polvo de los parques localizados en la zona norte centro y sur de la ZMVMO.

En el caso de Cu en suelo, la zona norte, presentó un promedio mayor (1.9 ± 1.2), le sigue la zona centro ($1.7 \pm 1.3 \mu\text{g/g}$), por último la zona sur ($0.7 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$).

Este patrón se observa también en el polvo; zona norte ($3.2 \pm 3.0 \mu\text{g/g}$), centro ($2.9 \pm 1.2 \mu\text{g/g}$), sur ($0.5 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$).

El promedio más alto de Mn en suelo fue en la zona sur ($4.7 \pm 3.4 \mu\text{g/g}$) norte ($4.1 \pm 5.1 \mu\text{g/g}$) y entro ($1.9 \pm 2.6 \mu\text{g/g}$).

Para el polvo fue en la zona centro ($14.4 \pm 12.4 \mu\text{g/g}$), luego la zona norte ($12.3 \pm 7.9 \mu\text{g/g}$) y por último la zona sur ($3.9 \pm 1.7 \mu\text{g/g}$).

Zn se presentó con un promedio alto en suelo, en la zona centro ($5.5 \pm 9.6 \mu\text{g/g}$), seguido de la zona norte ($2.4 \pm 2.9 \mu\text{g/g}$) por ultimo zona sur ($1.3 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$).

En el caso del polvo, este metal presentó el mismo patrón que en el suelo, zona centro ($7.6 \pm 9.6 \mu\text{g/g}$), zona norte ($7.3 \pm 13.9 \mu\text{g/g}$) y la zona sur ($2.2 \pm 1.3 \mu\text{g/g}$).

Fe en suelo, fue más alto en la zona sur ($15.5 \pm 5.0 \mu\text{g/g}$), seguido de la zona centro ($7.7 \pm 4.1 \mu\text{g/g}$), ($7.5 \pm 4.1 \mu\text{g/g}$),

Mientras que para polvo, fue más alto en la zona centro ($8.7 \pm 4.4 \mu\text{g/g}$), luego la zona norte ($7.6 \pm 5.6 \mu\text{g/g}$) y por último la zona sur ($2.7 \pm 0.7 \mu\text{g/g}$).

El Cr en suelo, se presentó en mayor en la zona centro (3.5 ± 4.5), en comparación con la zona sur ($1.8 \pm 1.5 \mu\text{g/g}$) y norte ($1.6 \pm 3.3 \mu\text{g/g}$)

En polvo, fue alto en la zona norte ($10.4 \pm 6.7 \mu\text{g/g}$), luego la zona centro ($6.2 \pm 6.1 \mu\text{g/g}$) y la zona sur ($6.0 \pm 5.3 \mu\text{g/g}$).

En el caso de Cd en suelo, la concentración promedio fue la misma para la zona norte, centro y sur ($0.7 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$; $0.7 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$ y $0.7 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$).

En polvo si presentó variación, en la zona norte se presentó en mayor concentración (0.9 ± 1.5) en comparación con la zona centro ($0.4 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$) y la zona sur ($0.3 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$).

Pb en suelo fue más alto en la zona centro ($38.1 \pm 33.4 \mu\text{g/g}$) seguida de la zona norte ($23.3 \pm 22 \mu\text{g/g}$) y por último la zona sur ($9.2 \pm 9.0 \mu\text{g/g}$).

Y en polvo fue más alto en la zona norte ($66.8 \pm 30.3 \mu\text{g/g}$), luego en menor cantidad la zona centro ($57.7 \pm 50.7 \mu\text{g/g}$) seguida de la zona sur ($56.1 \pm 76.0 \mu\text{g/g}$).

Ni en suelo fue alto en la zona centro ($7.3 \pm 5.7 \mu\text{g/g}$), comparándolo con la zona norte ($4.9 \pm 1.3 \mu\text{g/g}$) y la zona sur ($3.7 \pm 1.0 \mu\text{g/g}$).

Para polvo, en la zona centro presento una concentración alta ($5.2 \pm 1.6 \mu\text{g/g}$) seguida de la zona norte ($5.1 \pm 1.4 \mu\text{g/g}$) y la zona sur ($3.8 \pm 1.7 \mu\text{g/g}$).

Mientras que Co en suelo se encontró un promedio alto en la zona sur ($2.1 \pm 0.6 \mu\text{g/g}$), a diferencia de la zona centro ($1.8 \pm 2.8 \mu\text{g/g}$), y la zona sur ($1.9 \pm 0.6 \mu\text{g/g}$).

En polvo, su concentración fue alta en la zona sur ($70.2 \pm 137.5 \mu\text{g/g}$), seguida en menor cantidad la zona centro ($1.8 \pm 0.8 \mu\text{g/g}$) y sur ($1.7 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$).

Por último el V en suelo se presentó en concentración alta en la zona centro ($6.9 \pm 3.1 \mu\text{g/g}$) y sur ($6.9 \pm 3.3 \mu\text{g/g}$) a diferencia de la zona norte ($5.1 \pm 9.1 \mu\text{g/g}$).

Y en polvo fue mayor en la zona sur ($24.9 \pm 6.9 \mu\text{g/g}$), a diferencia de la zona norte ($0.4 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$) y centro ($0.4 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$).

Tabla 7
Concentraciones promedio de parques y áreas de reserva ecológica que se encuentran en la zona norte, centro y sur ($x \pm 1\sigma$)

		$\mu\text{g/g}$									
		<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>V</i>
Suelo											
	Zona Norte	1.9±1.2	4.1±5.1	2.4±2.91	7.5±4.1	1.6 ±3.3	0.7±0.2	23.3±22	4.9±1.3	1.8±28	5.1±9.1
	Zona Centro	1.7±1.3	1.9±2.6	5.5±9.6	7.7±5.8	3.5±4.5	0.7±0.3	38.1±33.4	7.3±5.7	1.9±0.6	6.9±3.1
	Zona Sur	0.7±0.3	4.7±3.4	1.3±0.5	15.5±5.0	1.8±1.5	0.7±0.1	9.2±9.0	3.7±1.0	2.1±0.6	6.9±3.3
Polvo											
	Zona Norte	3.2±3.0	12.3±7.9	7.3±13.9	7.6±5.6	10.4±6.7	0.9±1.5	66.8±30.3	5.1±1.4	1.8±0.8	0.4±0.2
	Zona Centro	2.9±1.2	14.4±12.4	7.6±9.6	8.7±4.4	6.2±6.1	0.4±0.2	57.7±50.7	5.2±1.6	1.7±0.5	0.4±0.1
	Zona Sur	0.5±0.2	3.9±1.7	2.2±1.3	2.7±0.7	6.0±5.3	0.3±0.1	56.1±76.0	3.8±1.7	70.2±137.5	24.9±6.9

4. DISCUSION

El análisis de los resultados obtenidos se realizó por cada metal, empezando por aquellos considerados como micronutrientes: Cu, Mn, Zn y Fe; seguidos de: Cr, Pb, Co, Ni, Cd y V.

Se realizó una comparación entre los valores límite de metales pesados contenido en suelo de parques y áreas infantiles, establecidas por las diferentes agencias ambientales de los siguientes países: Canadá¹, España² y USA³, estos valores se encuentran en la Tabla 8. Esto con el fin de determinar si nuestros sitios de estudio se encontraban contaminados. En el caso del polvo se tomaron estos límites, ya que no hay una norma donde se especifique el valor máximo de metales contenido en estas partículas. Cabe mencionar que se decidió tomar estos valores, por que en México no existe una ley que establezca los límites de metales pesados en suelo y polvo en parques y áreas infantiles.

Tabla 8
Limites de concentración de metales pesados
en suelo ($\mu\text{g/g}$)

	MEQ (2001)¹	IHOBE (1998)²	USEPA (2001)³
Cu	100	250	-
Mn	1000	-	270
Zn	500	840	410
Fe	-	-	-
Cr	250	75	-
Pb	500	120	220
Cd	5	18	10
Ni	100	280	-
Co	50	30	-
V	-	-	-

¹ Ministère de l'Environnement du Québec, Canadá

² Agencia Ambiental España

³ Agencia Ambiental USA

Además de tomar como parámetro los valores dados por las agencias ambientales para determinar la contaminación en el suelo y polvo de los parques y áreas de reserva ecológica de la sección oeste de la ZMVM, se tomaron los promedios de cada metal analizado y se compararon con los resultados obtenidos en cada sitio.

4.1.1 Cobre en suelo y polvo

El Cu es un nutriente esencial en nuestras dietas, que juega un papel clave en muchos procesos biológicos. El cobre interviene en numerosas funciones fisiológicas; en el normal funcionamiento del cerebro, en el sistema nervioso, en el sistema cardiovascular, y también ayuda a transportar el hierro y a proteger a las células contra la destrucción de la oxidación. El cobre es además esencial para el crecimiento de los huesos y su fortaleza, así como para contar con un sistema inmunológico sano. (Larocque *et al.*, 1998).

En la figura 31 se encuentran las variaciones de concentración de Cu en suelo y polvo. En la mayoría de los parques el polvo presenta una cantidad elevada en comparación con el suelo.

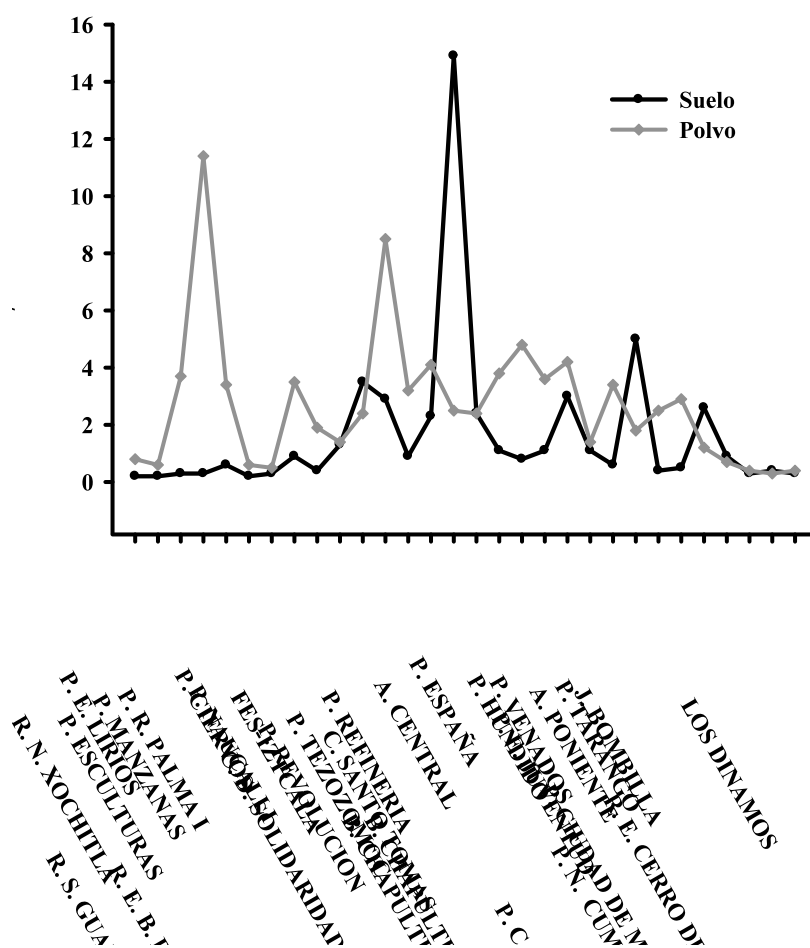


Figura 3. Concentración de Cu en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

Los valores que dan las diferentes agencias ambientales en relación al Cu son muy variables el Ministère de l'Environnement du Québec (MEQ) (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 100ppm de Cu, mientras que la agencia IHOBE (1998) señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 250ppm. Así mismo la agencia USEPA (1992) señala 270 ppm. Ningún parque rebasó las concentraciones límites de Cu en suelo y polvo.

El promedio total de Cu en suelo fue de 1.7 μ g/g, los siguientes parques estuvieron por arriba de este valor; Ciudad Deportiva Solidaridad (3.5 μ g/g); Parque Revolución (2.9 μ g/g); Parque Refinería (2.3 μ g/g); Casco de Santo Tomas (14.9 μ g/g); Alameda Central (2.4 μ g/g); Parque Hundido (3 μ g/g); Alameda Poniente (5 μ g/g) y Parque Ciudad de México (2.6 μ g/g).

En polvo fue de 2.7 μ g/g, los parques que rebasaron se muestran en seguida Parque de las Esculturas (3.7 μ g/g); Parque Villa de las Manzanas (11.4 μ g/g); Parque Rancho la Palma I (3.4 μ g/g); Parque Naucalli (3.5 μ g/g); Parque Revolución (8.5 μ g/g); Parque Tezozomoc (3.2 μ g/g); Parque España (3.8 μ g/g); Bosque de Chapultepec 1 secc. (4.8 μ g/g); Bosque de Chapultepec 2 secc. (3.6 μ g/g); Parque Hundido (4.2 μ g/g); Parque Ecológico de la Juventud (3.4 μ g/g) Jardín de la Bombilla (2.9 μ g/g).

Las fuentes industriales de cobre incluyen la minería, refinamiento de petróleo, trabajo de metales y fundición (Krishna y Gov, 2004). Los efectos de Cu en la salud suelen ser severos, ya que es considerado un agente carcinógeno, causa complicaciones neurológicas, e hipertensión, entre otras (Larocque *et al.*, 1998).

4.1.2 Manganeso en suelo y polvo

El comportamiento de Mn en suelo y polvo se muestra en la figura 32.

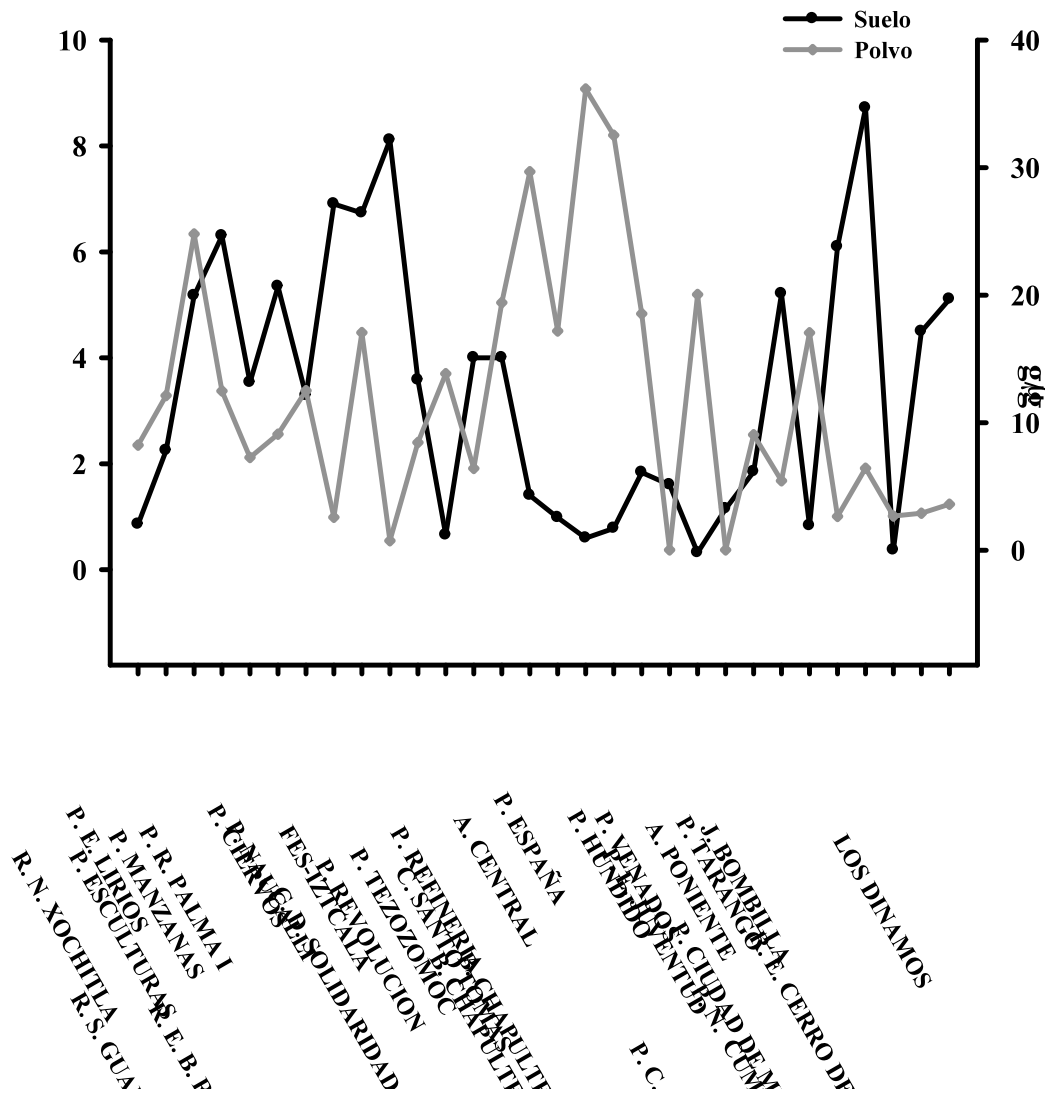


Figura 4. Concentración de Mn en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

La MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 1000ppm. La agencia USEPA (1992) señala 270 ppm de Mn como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas. Ninguna de las muestras de suelo y polvo analizadas, sobrepasan estas cantidades.

El promedio de concentración de Mn en suelo fue de 3.4 $\mu\text{g/g}$, los parques que rebasaron esta cantidad fueron: Parque de las Esculturas (5.2 $\mu\text{g/g}$), Parque Villa de las manzanas (6.3 $\mu\text{g/g}$), Parque Rancho la palma (3.5 $\mu\text{g/g}$), Reserva Sierra de Guadalupe (5.3 $\mu\text{g/g}$), Parque Naucalli (6.9 $\mu\text{g/g}$), Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios (6.7 $\mu\text{g/g}$), FES Iztacala (8.1 $\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad (3.6 $\mu\text{g/g}$), Parque Tezozomoc, Parque Refinería (4.0 $\mu\text{g/g}$), Parque Tarango (5.2 $\mu\text{g/g}$), Parque Ciudad de México (6.1 $\mu\text{g/g}$), Parque Cultura y Recreativo Desierto de los leones (8.7 $\mu\text{g/g}$), Reserva Ecológica Cerro del Judío (4.5 $\mu\text{g/g}$) y los Dinamos (5.1 $\mu\text{g/g}$).

El promedio de Mn en polvo fue de 12 $\mu\text{g/g}$, las siguientes áreas sobrepasaron esta cantidad, Parque Espejo de los Lirios (12.1 $\mu\text{g/g}$), Parque de las Esculturas (24.8 $\mu\text{g/g}$), Parque Villa de las Manzanas (12.5 $\mu\text{g/g}$), Parque de los Ciervos (12.5 $\mu\text{g/g}$), Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios (17.1 $\mu\text{g/g}$), Parque Revolución (13.8 $\mu\text{g/g}$), Parque Refinería (19.4 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (29.7 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (17.2 $\mu\text{g/g}$), Parque España (36.2 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc. (32.5 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 2 secc. (18.5 $\mu\text{g/g}$), Parque de los Venados (20. $\mu\text{g/g}$) y Jardín de la Bombilla (17. $\mu\text{g/g}$).

Las concentraciones de Mn en polvo están asociadas principalmente por las emisiones de las siguientes actividades industriales: elaboración de productos de pintura, estabilizadores para plásticos, elaboración de productos desinfectantes y farmacéuticos (IHOBE 1998). Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. El Manganeso puede causar la enfermedad del Parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis (Kabata-Pendias 2000).

4.1.3 Zinc en suelo y polvo

En la Figura 33 se muestra la variación de concentración en suelo y polvo.

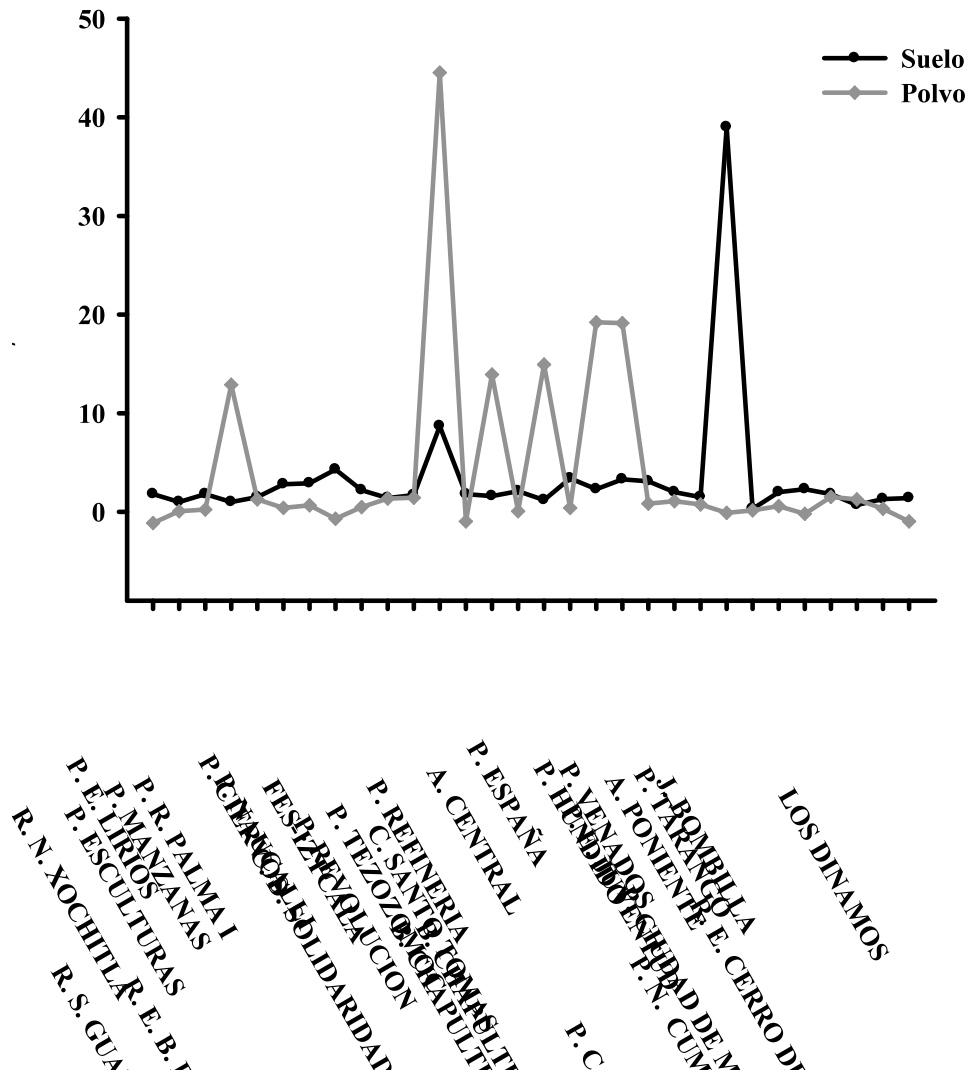


Figura 5. Concentración de Zn en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

El MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 500ppm. Mientras que la agencia IHOBE (1998) señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 840ppm. La agencia USEPA (1992) señala 410 ppm de Zn.

Los resultados muestran que ningún sitio rebasa los límites establecidos por las agencias ambientales.

El promedio total de Zn fue de 3.4µg/g en suelo, el Parque Naucalli (4.3µg/g), el Parque Revolución (8.7µg/g) y la Alameda Poniente (39µg/g) pasaron este límite.

En el polvo su concentración promedio fue de 6.7µg/g. los siguiente parques rebasaron esta cantidad; Parque Villa de las Manzanas (16.6µg/g), Parque Revolución (53.6µg/g), Parque Refinería (17.8µg/g), Alameda Central (19µg/g), Bosque de Chapultepec 1 secc. (24µg/g), Bosque Chapultepec 2 secc. (23.9µg/g).

A pesar de que el Zn es un elemento esencial, las aportaciones antropogénicas para este elemento son similares a las del Pb, como el alto afloro vehicular, la fabricación de artículos de plástico y la fabricación de baterías. Altas concentraciones de Zinc pueden dañar el páncreas y trastornar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis (IHOBE 1998).

4.1.4 Hierro en suelo y polvo

Las concentraciones de Fe, en el suelo presentan una amplia fluctuación, tienden a aumentar y disminuir (Figura 24).

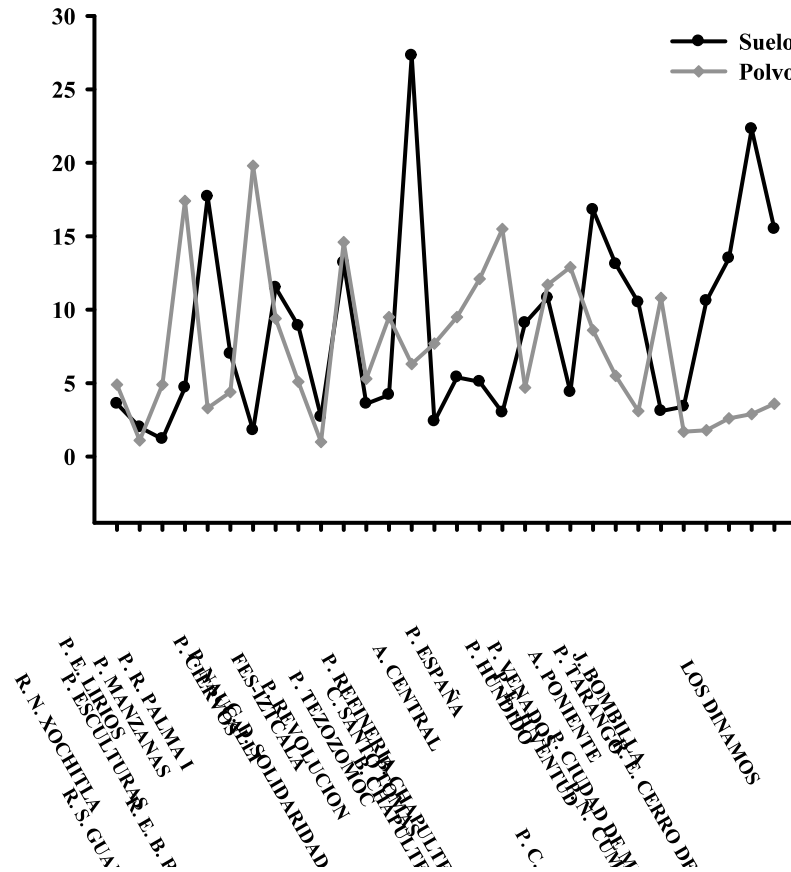


Figura 6. Concentración de Fe en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

De las agencias ambientales citadas, no se estipula un límite para este metal.

Los parques que están por encima del promedio total de Fe (8.6 µg/g) en suelo fueron: Parque Rancho la palma I (17.7µg/g), Parque Naucalli (11.5µg/g), Reserva Ecológica Rio de los Remedios (8.9µg/g), Ciudad Deportiva Solidaridad (13.2µg/g), Parque Refinería (27.3µg/g), Bosque de Chapultepec 2 secc. (9.1µg/g), Parque Hundido (10.8µg/g), Parque Ecológico de la Juventud (16.8µg/g), Alameda Poniente (13.1µg/g), Parque Tarango (10.5µg/g), Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones (10.6µg/g), Parque Nacional Cumbres del Ajusco (13.5µg/g) y los Dinamos (15.5µg/g).

En el polvo el promedio total de este elemento fue de $7.4\mu\text{g/g}$; los parques que rebasaron esta cantidad se mencionan a continuación: Parque Villa de las Manzanas ($17.4\mu\text{g/g}$), Parque de los Ciervos ($19.8\mu\text{g/g}$), Parque Naucalli ($9.4\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad ($14.6\mu\text{g/g}$), Parque Tezozomoc ($9.5\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas ($7.7\mu\text{g/g}$), Alameda Central ($9.5\mu\text{g/g}$), Parque España ($12.1\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc. ($15.5\mu\text{g/g}$), Parque Hundido ($11.7\mu\text{g/g}$), Parque de los Venados ($12.9\mu\text{g/g}$), Parque Ecológico de la Juventud ($8.6\mu\text{g/g}$), y el Jardín de la Bombilla ($10.8\mu\text{g/g}$).

Las concentraciones de Fe en el suelo suelen ser altas, ya que es el elemento con mayor abundancia en el planeta. También es considerado como un metal que se han sometido a los cambios geoquímicos de sus fuentes originales, su origen se encuentra no sólo en el proceso de resuspensión del suelo, sino también por las fuentes urbanas, como la corrosión de metales de Fe. Las altas concentraciones de Fe pueden provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si se acumula en los tejidos (De Miguel 1997).

4.1.5 Cromo en suelo y polvo

Las variaciones en las concentraciones de polvo fueron menores en la mayoría de las áreas estudiadas se presentan concentraciones altas en comparación con las del suelo (Figura 35).

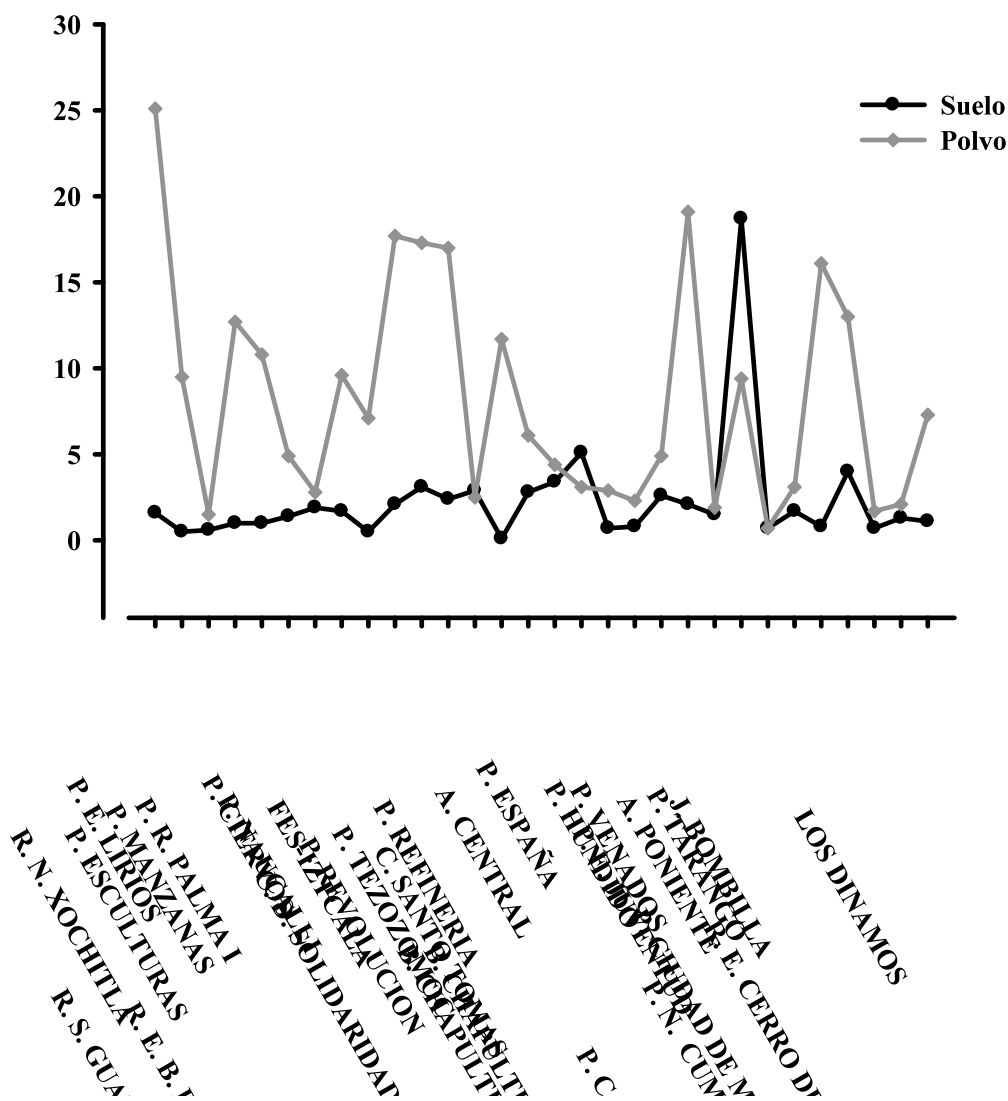


Figura 7. Concentración de Cr en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

En el caso del Cromo el MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 250ppm. Mientras que la agencia IHOBE (1998) señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 75ppm. Las concentraciones de Cr en suelo y polvo no sobrepasan estos límites.

El promedio total de Cr fue de 2.3µg/g, los siguientes parques rebasaron esta cantidad, Ciudad Deportiva Solidaridad (3.1µg/g), Parque Revolución (2.4µg/g), Parque Tezozomoc (2.9µg/g), Casco de Santo Tomas (2.8µg/g), Alameda Central (3.4µg/g), Parque España (5.1µg/g), Parque Hundido (2.6µg/g), Alameda Poniente (18.7µg/g).

El promedio de Cr fue de 8.3µg/g, los parques que exceden esta cantidad fueron: Reserva Natural Xochitla (25.1µg/g), Parque Espejo de los Lirios (9.5µg/g), Parque Villa de las Manzanas (12.7µg/g), Parque Rancho la Palma I (10.8µg/g), Parque Naucalli (9.6µg/g), FES Iztacala (17.7µg/g), Ciudad Deportiva Solidaridad (17.3µg/g), Parque Revolución (17µg/g), Parque Refinería (11.7µg/g), Parque de los Venados (19.1µg/g), Alameda Poniente (9.4µg/g), Parque Ciudad de México (16.1µg/g) y el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones (13µg/g).

El Cr es liberado a la atmosfera a través de la incineración de basura, de la combustión de carbón, además está asociado a las herrerías, talleres de galvanizado, fábricas de calzado y emisiones de tránsito. Estas pueden ser las causas de su concentración en suelo y polvo. (López *et al*, 2006; Li *et al*, 2006; Banat *et al*, 2005),

4.1.6 Plomo en suelo y polvo

Las concentraciones de Pb en los suelos son bajas en la zona norte, aumentando hacia la zona céntrica y disminuyen hacia la zona sur del valle de México (Figura 36).

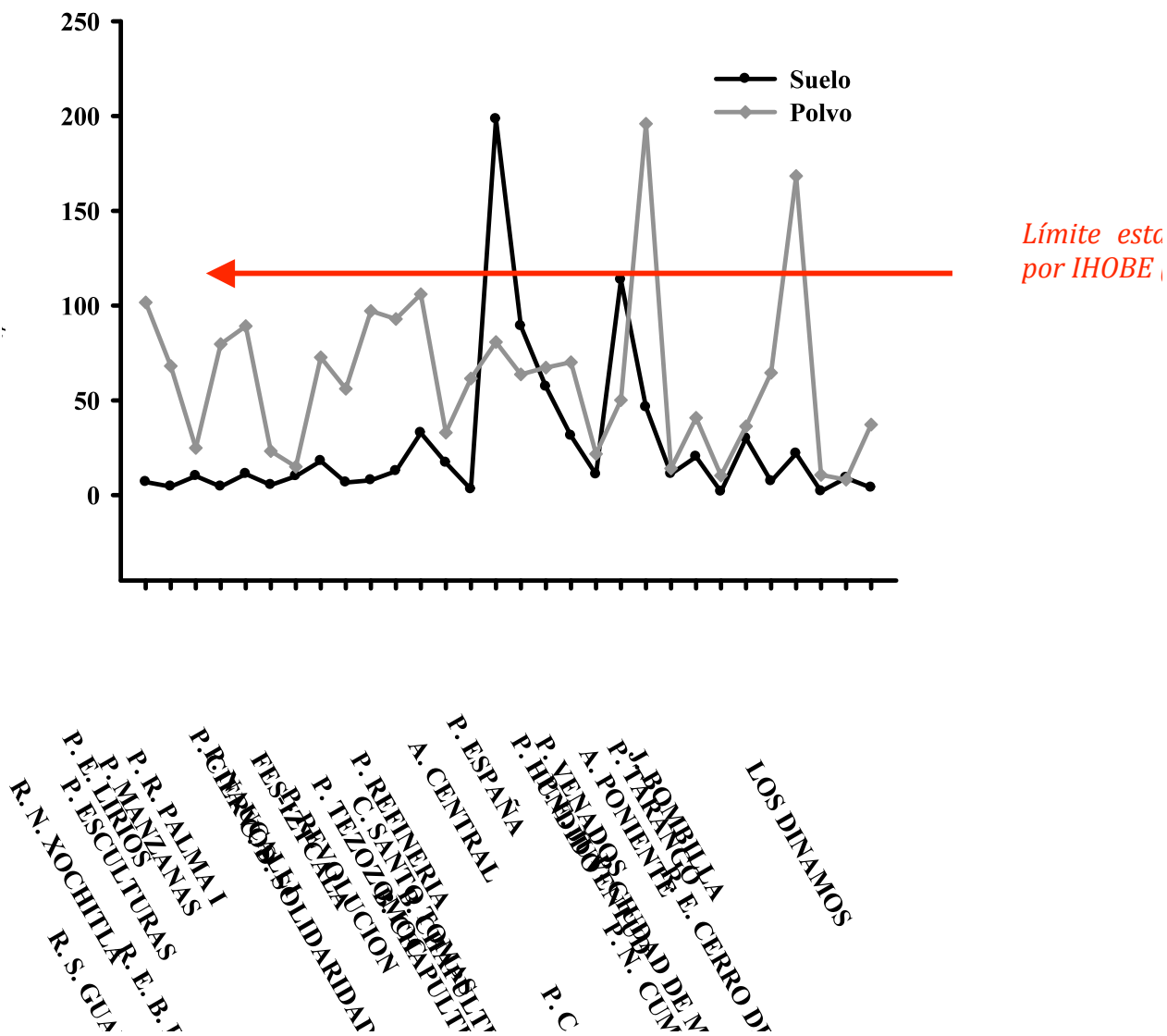


Figura 8. Concentración de Pb en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

El MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 500ppm. Mientras que la agencia IHOBE (1998) señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 120ppm. Así mismo la agencia USEPA (1992) señala 220 ppm de Pb en el suelo. Los parques que rebasaron el límite establecido por la agencia IHOBE son: para suelo Casco de Santo Tomas (198 $\mu\text{g/g}$); para polvo Parque de los Venados (195.9 $\mu\text{g/g}$); Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones (168.4 $\mu\text{g/g}$).

Para el Pb en el suelo su concentración promedio fue de 26.8 $\mu\text{g/g}$, en seguida se mencionan los parques que sobrepasan de esta cantidad, Parque Revolución (32.8 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (198.3 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (89.2 $\mu\text{g/g}$), Parque España (57.2 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc. (31.3 $\mu\text{g/g}$), Parque Hundido (113.6 $\mu\text{g/g}$), Parque de los Venados (46.4 $\mu\text{g/g}$), y Jardín de la Bombilla (30 $\mu\text{g/g}$).

El polvo presentó un promedio total de 62 $\mu\text{g/g}$, los siguientes parques sobrepasaron esta cantidad, Reserva Natural Xochitla (101.7 $\mu\text{g/g}$), Parque Espejo de los Lirios (68.1 $\mu\text{g/g}$), Parque Villa de las Manzanas (79.7 $\mu\text{g/g}$), Parque Rancho la Palma I (89.2 $\mu\text{g/g}$), Parque Naucalli (72.7 $\mu\text{g/g}$), FES Iztacala (97.2 $\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad (92.2 $\mu\text{g/g}$), Parque Revolución (106 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (80.8 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (63.7 $\mu\text{g/g}$), Parque España (67.3 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc. (70.1 $\mu\text{g/g}$), Parque de los Venados (195.9 $\mu\text{g/g}$), Parque Ciudad de México (64.5 $\mu\text{g/g}$), Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones (168.4 $\mu\text{g/g}$).

El plomo se caracteriza por ser un elemento urbano, con origen antropogénico, principalmente por el alto aforo vehicular, los parques que sobrepasaron las concentraciones de Pb en suelo y polvo, se encuentran cerca de grandes avenidas y estacionamientos grandes. La principal forma de contaminación proviene del uso de gasolina con agregado orgánico de plomo, práctica que ha disminuido en los últimos años a nivel mundial, además de prácticas industriales como la fabricación plásticos de caucho sintético, elaboración de pinturas, electrotécnica, fabricación de pilas, y acumuladores (IHOBE, 1998). Múltiples estudios han demostrado que este metal permanece principalmente en la superficie del suelo aumentando el riesgo de

exposición en niños (Flores *et al*, 2001). Pese a la ausencia de plomo en la gasolina, desde 1993, las concentraciones altas de este metal siguen presentándose, esto nos lleva a pensar que las fuentes antropogénicas de Pb, son derivadas de otros procesos.

Los efectos del Pb en el ser humano son muy variables como la perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, el incremento de la presión sanguínea, el daño a los riñones entre otros.

4.1.7 Cadmio en suelo y polvo

El Cd en suelo se encuentra en baja cantidad en la zona norte del valle, aumentan levemente hacia la zona sur, de igual manera el polvo presenta cantidades bajas de Cd (Figura 37).

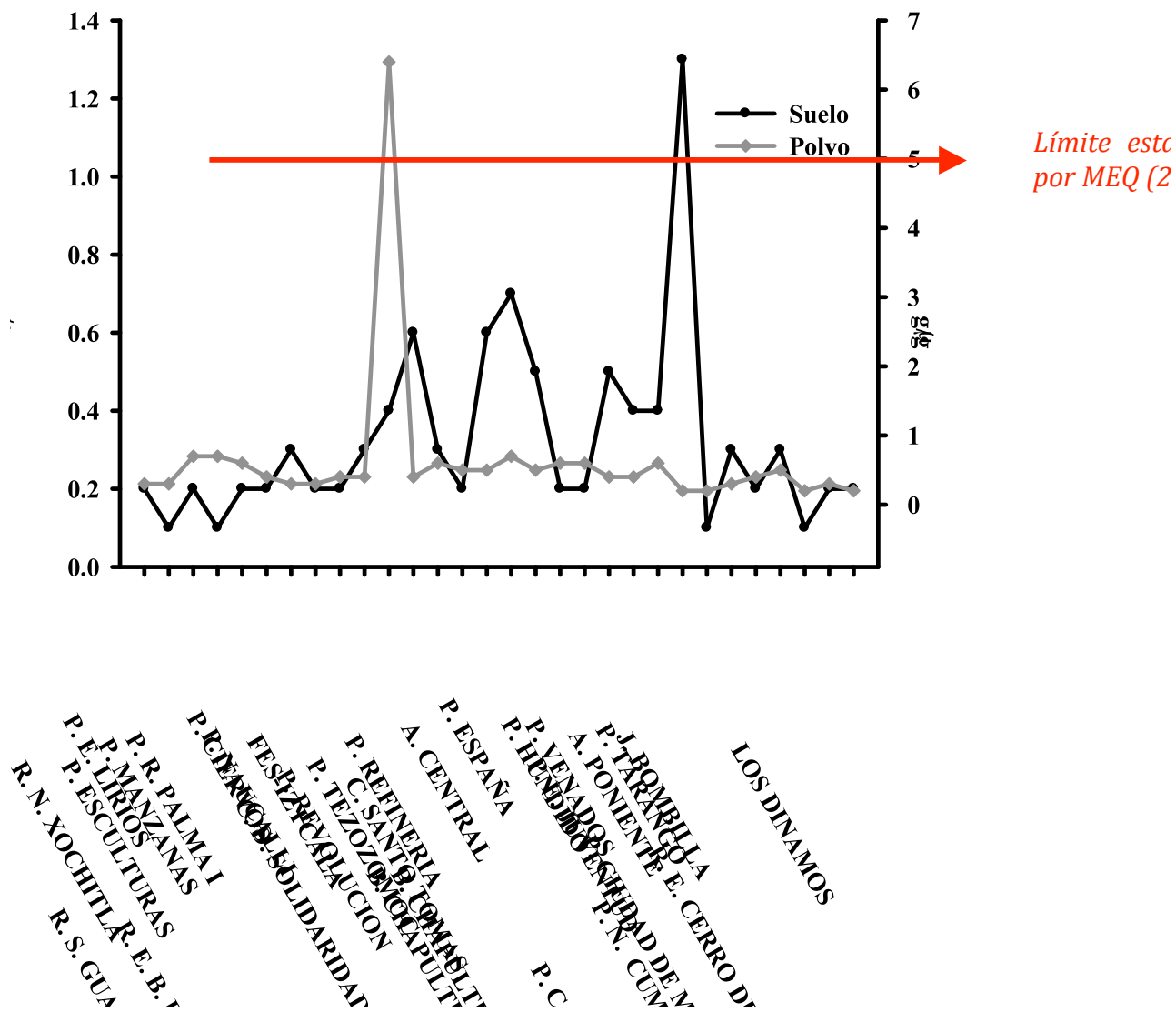


Figura 9. Concentración de Cd en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

Para el Cd, el MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 5ppm. Mientras que la agencia IHOBE (1998) señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 18ppm. Así mismo la agencia USEPA (1992) señala 10 ppm de Cd en el suelo. En el

Deportivo Solidaridad en la muestra de polvo estuvo por encima del valor dado por la norma establecida por el Ministerio ambiental de Quebec.

El promedio total de Cd en las muestras de suelo fue de 0.3 µg/g. las siguientes áreas rebasan esta concentración: Parque Revolución (0.6µg/g), Casco de Santo Tomas (0.6µg/g), Alameda Central (0.7µg/g), Parque España (0.5µg/g), Parque Hundido (0.5µg/g), y la Alameda Poniente (1.3µg/g).

Mientras que para el polvo su concentración promedio fue de 0.6µg/g, a continuación se muestran las áreas que sobre pasaron esta cantidad: Ciudad Deportiva Solidaridad (6.4µg/g)

El cadmio es un metal tóxico que se encuentra de forma natural como CdS o CdCO₃, normalmente o como impureza en minerales a 3 kg Cd/ Zn ton, así como en Pb y Cu. Los compuestos de Cd son muy tóxicos; la sobre exposición aguda a humos con Cd puede causar daño pulmonar, mientras que la exposición crónica se asocia con daños renales y con un aumento de riesgo de cáncer (Csuros y Csuros, 2002). El cadmio ingresa al medio ambiente por fuentes antropogénicas como la minería, la metalurgia, la combustión de carbón y de petróleo, por la mala disposición y acumulación de residuos sólidos peligrosos municipales y quema de plásticos. Este elemento tiende a depositarse y adherirse a la materia orgánica del suelo; sin embargo, parte de él se disuelve en agua, por lo que puede llegar a los cuerpos de agua (Lide, 1997). Las concentraciones de Cd en suelo y polvo son bajas, pudiera ser que las fuentes antropogénicas, tengan poca influencia.

4.1.8 Níquel en suelo y polvo

Ni, presentó un comportamiento similar en el suelo y polvo (Figura 38).

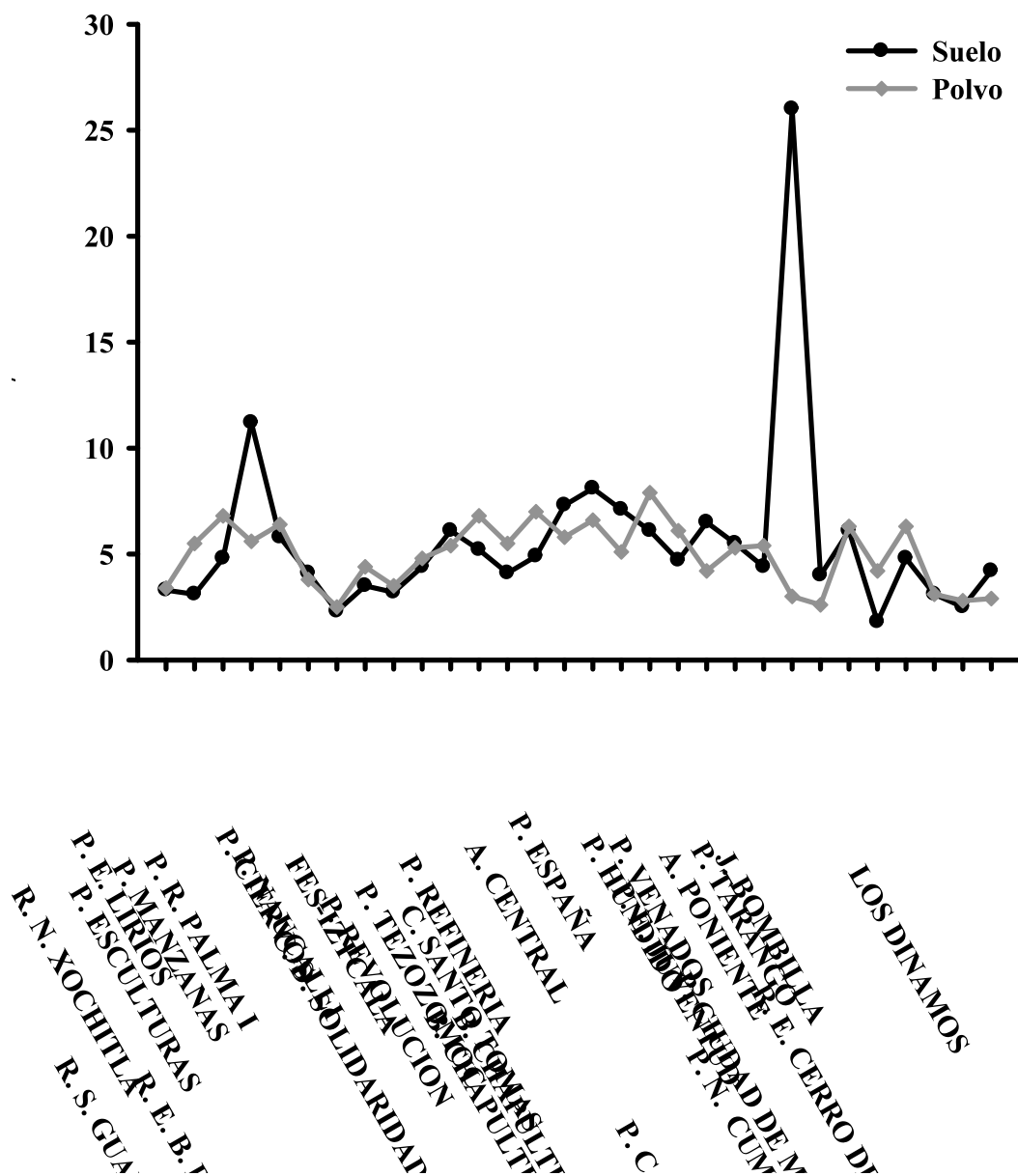


Figura 10. Concentración de Ni en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

El MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 100ppm. La agencia IHOBE (1998) esta señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 280ppm. Ninguna concentración de Ni en suelo y polvo sobrepasa estos límites.

Este metal presentó un promedio total en suelo de 5.6 $\mu\text{g/g}$, a continuación se indican los parques que rebasaron esta cantidad: Parque Villa de las Manzanas (11.2 $\mu\text{g/g}$), Parque Rancho la Palma I (5.8 $\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad (6.1 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (7.3 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (8.1 $\mu\text{g/g}$), Parque España (7.1 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc. (6.1 $\mu\text{g/g}$), Parque Hundido (6.5 $\mu\text{g/g}$), Alameda Poniente (26 $\mu\text{g/g}$), y el Jardín de la Bombilla (6.1 $\mu\text{g/g}$).

El polvo presentó un promedio de 5 $\mu\text{g/g}$, en seguida se mencionan los parques que están por encima de esta concentración; Parque Espejo de los Lirios (5.5 $\mu\text{g/g}$), Parque de las Esculturas (6.8 $\mu\text{g/g}$), Parque Villa de las Manzanas(5.6 $\mu\text{g/g}$), Parque Rancho la Palma (6.4 $\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad (5.4 $\mu\text{g/g}$), Parque Revolución (6.8 $\mu\text{g/g}$), Parque Tezozomoc (5.5 $\mu\text{g/g}$), Parque Refinería (7 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (5.8 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (6.6 $\mu\text{g/g}$), Parque España (5.1 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc.(7.9 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 2 secc. (6.1 $\mu\text{g/g}$), Parque de los Venados (5.3 $\mu\text{g/g}$), Parque Ecológico del Juventud (5.4 $\mu\text{g/g}$), Jardín de la Bombilla (6.3 $\mu\text{g/g}$) y Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones (6.3 $\mu\text{g/g}$).

El níquel es un elemento que se encuentra en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. La aplicación más común es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Elevadas cantidades de Ni pueden aumentar las probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata (Kabata-Pendias, 2000)

4.1.9 Cobalto en suelo y polvo

En la figura 39 se puede observar el comportamiento del Co en el suelo y polvo. Las cantidades encontradas en suelo presentan grandes variaciones, en comparación con el polvo.

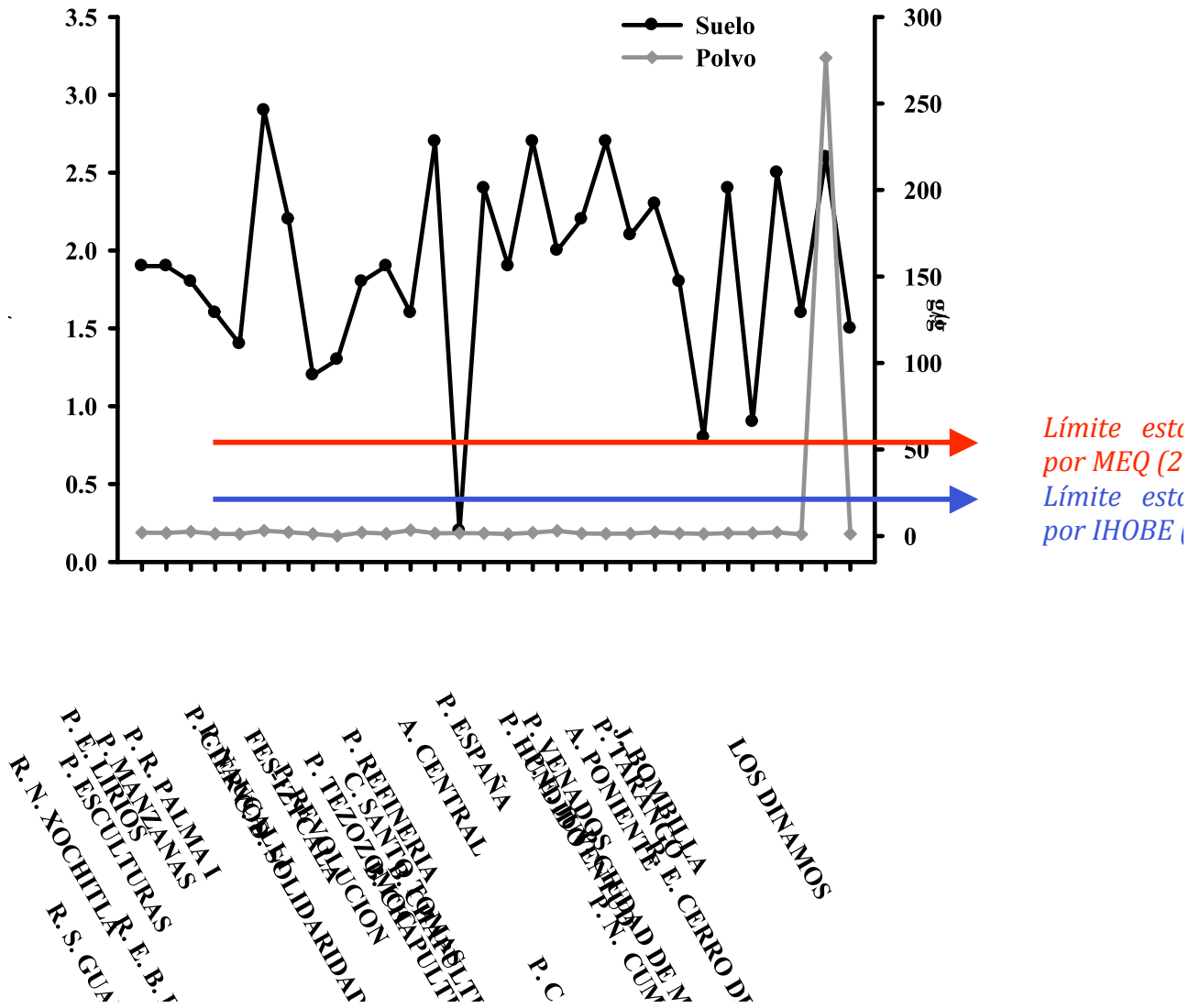


Figura 11. Concentración de Co en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

El MEQ (2001) maneja para zonas residenciales un límite de 50ppm de Co, mientras que la agencia IHOBE (1998) esta señala como valor máximo de riesgo tolerable para la protección de ecosistemas 30ppm. La Reserva Ecológica Cerro del Judío, Magdalena Contreras, (267.4µg/g) rebasa los límites emitidos por las diferentes agencias.

Co mostró un promedio en el suelo de 1.9 µg/g, los siguientes parques rebasaron este promedio: Reserva Sierra de Guadalupe (2.9µg/g), Parque de los Ciervos (2.2µg/g), Parque Tezozomoc (2.7µg/g), Casco de Santo Tomas (2.4µg/g), Parque España (2.7µg/g), Bosque de Chapultepec 1 secc. (2µg/g), Bosque de Chapultepec 2 secc. (2.2µg/g), Parque Hundido (2.7µg/g), Parque de los Venados (2.1µg/g), Parque de la Juventud (2.3µg/g), Jardín de la Bombilla (2.4µg/g) y Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones (2.5µg/g).

Co en polvo se obtuvo un promedio de 10.8 µg/g y solo la Reserva Ecológica Cerro del Judío rebaso esta concentración con 276.4µg/g. Las concentraciones de Co en las demás áreas en suelo y polvo son relativamente bajas.

El Co es arrojado al ambiente por técnicas como la galvanoplastia, fabricación de artículos de plástico entre otros (IHOBE 1998). En grandes cantidades causa daño al corazón y tiroides.

4.1.10 Vanadio en suelo y polvo

La concentración de V en los suelos fue alta en suelo, a diferencia del polvo (Figura 40).

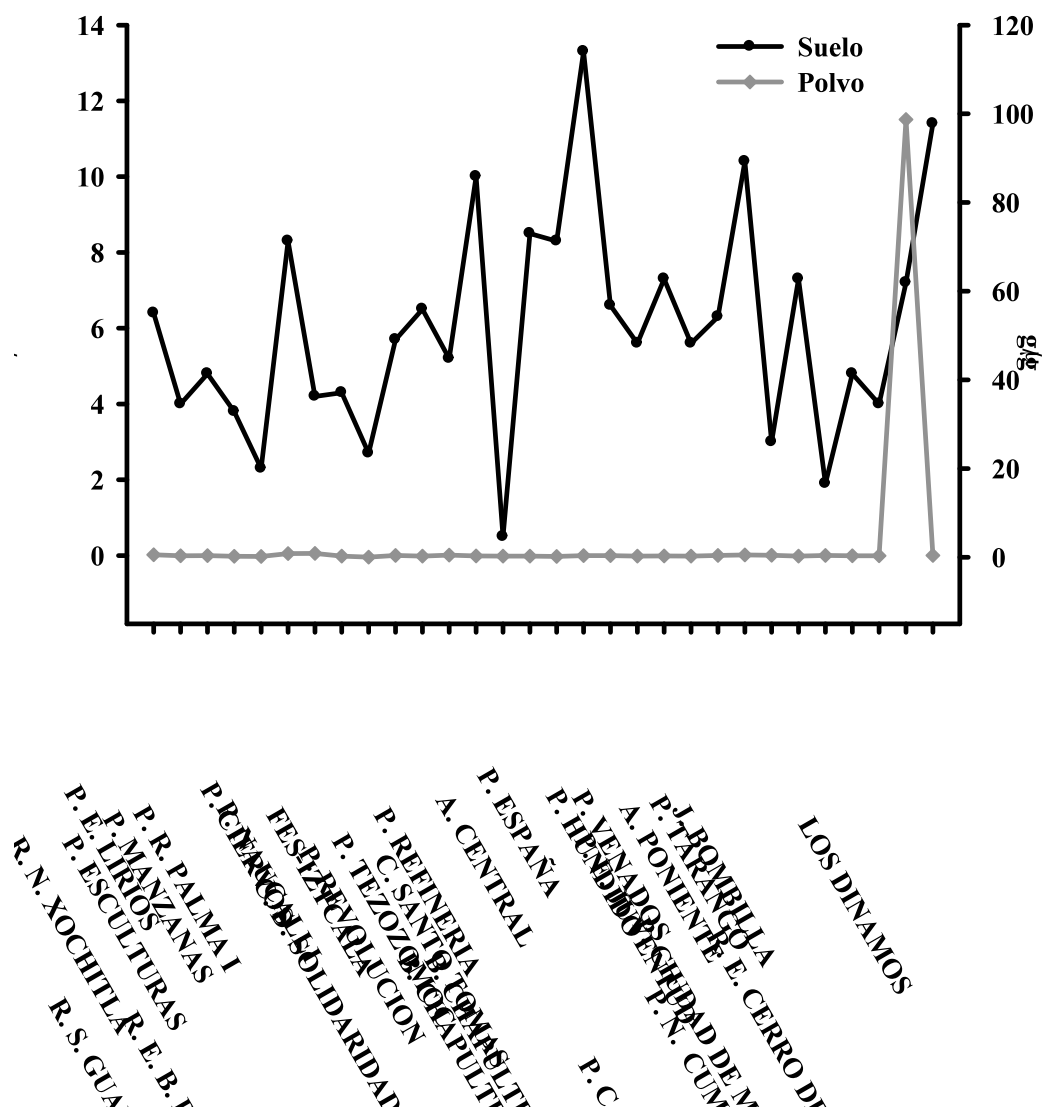


Figura 12. Concentración de V en suelo y polvo en parques y reservas ecológicas de la zona metropolitana del valle de México (sección oeste)

De las agencias ambientales citadas en el presente trabajo, no se estipula una concentración límite para el Vanadio.

El promedio de V en suelo fue de 6 $\mu\text{g/g}$, en seguida se indican las áreas que sobrepasaron este promedio: Reserva Natural Xochitla (6.4 $\mu\text{g/g}$), Reserva Sierra de Guadalupe (8.3 $\mu\text{g/g}$), Ciudad Deportiva Solidaridad (6.5 $\mu\text{g/g}$), Parque Tezozomoc (10 $\mu\text{g/g}$), Casco de Santo Tomas (8.5 $\mu\text{g/g}$), Alameda Central (8.3 $\mu\text{g/g}$), Parque España (13.3 $\mu\text{g/g}$), Bosque de Chapultepec 1 secc (6.6 $\mu\text{g/g}$), Parque Hundido (7.3 $\mu\text{g/g}$), Parque Ecológico de la Juventud (6.3 $\mu\text{g/g}$), Alameda Poniente (10.4 $\mu\text{g/g}$), Jardín de la Bombilla (7.3 $\mu\text{g/g}$), Reserva Ecológica Cerro del Judío (7.2 $\mu\text{g/g}$) y Los Dinamos (11.4 $\mu\text{g/g}$).

El promedio encontrado de V en polvo fue de 3.6 $\mu\text{g/g}$, solo la Reserva Ecológica Cerro del Judío sobre paso este dato con 98.7 $\mu\text{g/g}$.

En la naturaleza el vanadio no se encuentra en forma pura, por sus propiedades intrínsecas es propenso a reaccionar con otros elementos. Sin embargo, su liberación en la atmósfera es principalmente ocasionado por la actividad industrial el resto son derivadas de la erosión del suelo, emisiones volcánicas, incendios forestales y otros procesos (Rodríguez *et al.*, 2006; IPCS, 2001). El contenido de vanadio del suelo depende del material parental. Vanadio generalmente cuenta con una amplia variedad de utilización industrial en la pintura, metalurgia y electrónica (Krishna y Gov, 2004). Se considera que la concentración promedio de este metal en el suelo es alrededor de 100 $\mu\text{g/g}$ (IPCS 2001; Krishna y Gov, 2004). La reserva ecológica cerro del judío (98.1 $\mu\text{g/g}$) está cerca de rebasar esta concentración en polvo.

4.2 Representación Espacial

Todo lo anterior se resume en la figuras 13 y 14 en donde se encuentran los sitios que representan un riesgo por la exposición de metales pesados contenidos en suelo y polvo respectivamente, y que puede causar un daño en la salud a la población que frecuenta estos sitios de esparcimiento, especialmente hacia los niños. Los puntos verdes son los sitios que no representan riesgo ya que no rebasaron ningún límite establecido por las agencias ya mencionadas, ni la concentración promedio de cada uno de ellos; los puntos amarillos son aquellos espacios que rebasaron el promedio total de los metales, analizados en la sección oeste del valle de México y los punto rojos representan un riesgo aun mayor ya que son áreas que están por encima del límite establecido por la agencia ambiental ya sea de Canadá, España y USA.

En el caso del suelo, el Parque Espejo de los Lirios, no representa un riesgo por exposición a metales pesados. Mientras que el Casco de Santo Tomas (IPN) es el que presento mayor riesgo, ya que rebaso el límite establecido por la agencia ambiental IHOBE (1998) para plomo.

Los siguientes parques son considerados como de bajo riesgo ya que solo rebasaron la concentración promedio de cada uno de los metales analizados. Parque Refinería, Parque Tezozomoc, Parque Revolución, Bosque de Chapultepec 1 y 2 sección, Alameda Central, Parque España, Parque Ecológico de la Juventud, Parque Tarango, Alameda Poniente, Jardín de la Bombilla, Parque Hundido, Parque de los Venados, Parque Ciudad de México, Reserva Ecológica Cerro del Judío, Los dinamos, Parque Nacional Cumbres del Ajusco, Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones, Reserva Natural Xochitla, Reserva Ecológica Bosque Rio de los Remedios, Parque Naucalli, Parque de las Esculturas, Faculta de Estudios Superiores Iztacala, Ciudad deportiva solidaridad, Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Parque Villa de las Manzanas Parque Rancho la Palma 1 y el Parque los Ciervos.

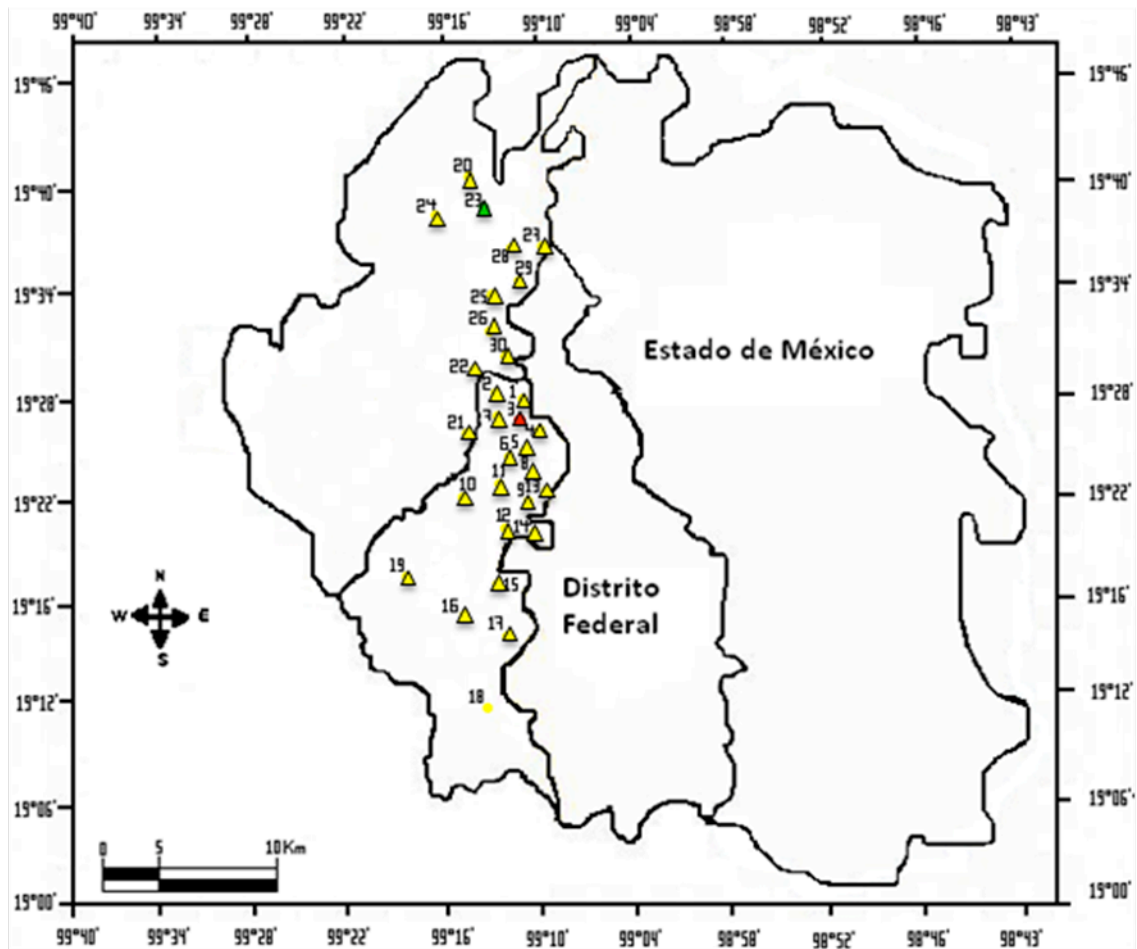


Fig. 13. Localización de los parques que representa un riesgo de exposición al contenido de metales pesados en suelo

Para el polvo Parque Tarango, Los Dinamos y Parque Estatal Sierra de Guadalupe no representan un riesgo para la población. Mientras que los siguientes parques presentaron un mayor riesgo a la exposición de metales pesados ya que rebasaron la concentración establecida por las agencias ambientales citadas, el Parque de los Venados IHOBE (1998) para plomo, el Cerro del Judío MEQ (2001) y IHOBE (1998) para cobalto, el Parque Cultural Desierto de los Leones IHOBE (1998) para plomo y Ciudad Deportiva Solidaridad MEQ (2001) para cadmio.

Los siguientes parques fueron considerados como de bajo riesgo ya que solo rebasaron la concentración promedio de cada uno de los metales analizados: Parque Refinería, Parque Tezozomoc, Casco de Santo Tomás (IPN), Parque Revolución, Bosque de Chapultepec 1 y 2 sección, Alameda Central, Parque España, Parque de la juventud, Alameda Poniente, Jardín de la Bombilla, Parque Hundido, Parque Ciudad de México, Los Dinamos, Parque Nacional Cumbres del Ajusco, Reserva Natural Xochitla, Reserva Río de los Remedios, Parque Naucalli, Parque Espejo de los Lirios, Parque de las Esculturas, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Parque Villa de las Manzanas, Parque Rancho la Palma I y Parque de los ciervos.

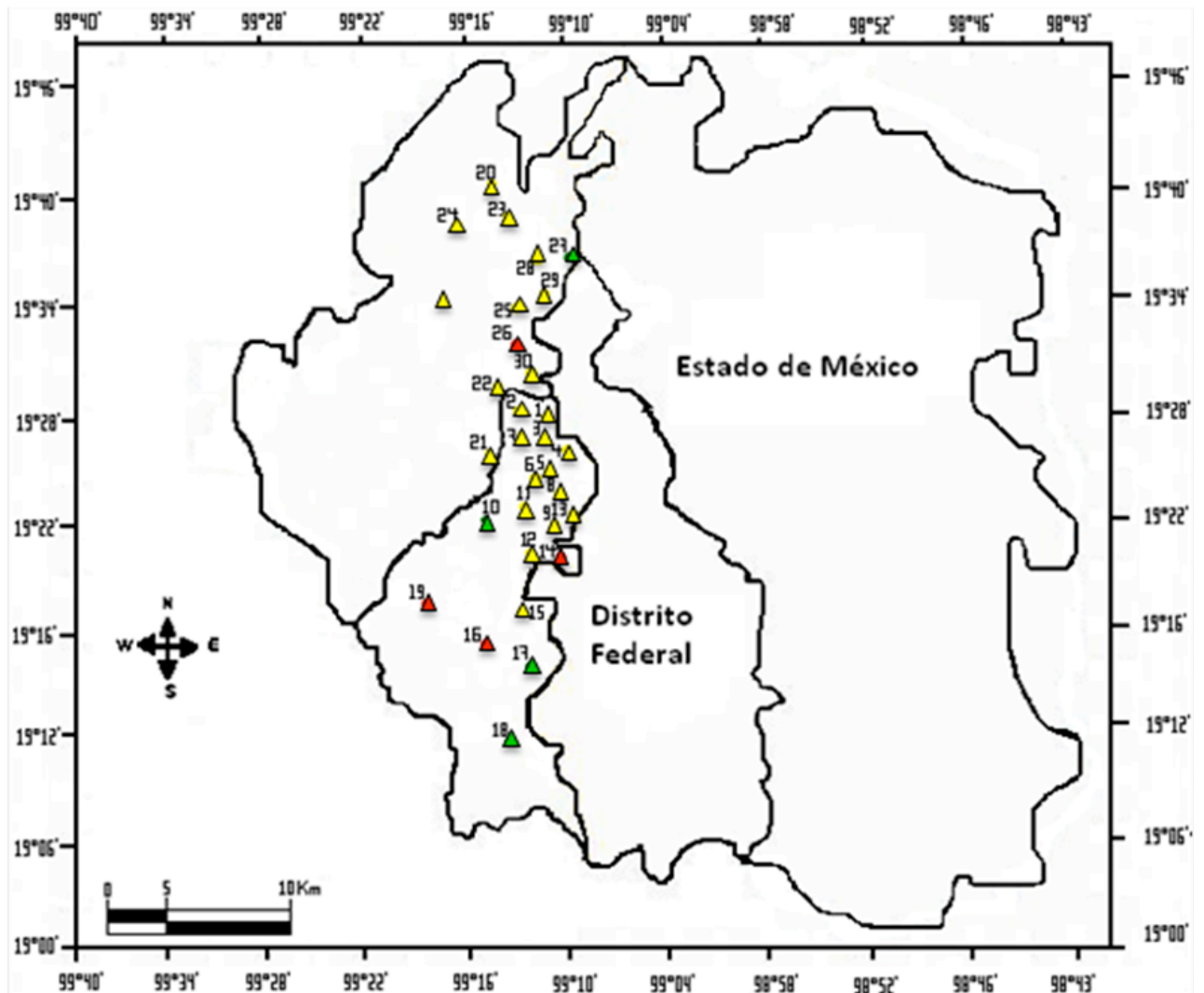


Fig. 14. Localización de los parques que representa un riesgo de exposición al contenido de metales pesados en polvo

4.3 Comparación con otros estudios

La ZMVMO presentó una concentración promedio de metales pesados disponibles en suelo y polvo baja, en comparación con lo reportado en otros países como Hong Kong, Sevilla y Madrid, incluso están por debajo de lo encontrado recientemente en la Ciudad de México por Morton-Bermea en el 2008 (Tabla 9).

Tabla 9
Comparación del contenido total de metales en suelos y polvos en diferentes ciudades ($\mu\text{g/g}$)

Ciudad	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	V	Referencia
Suelo											
Hong Kong	25	-	-	168	-	2.1	93.4	-	-	-	Li <i>et al.</i> 2001
Sevilla	68	51	57	145	39	-	137	22	-	-	Madrid <i>et al.</i> 2002
Madrid	72	-	-	145	68	39	161	22	-	-	De Miguel <i>et al.</i> 1998
Cd. México	54	-	-	219	117	1	82	39	-	97	Morton-Bermea <i>et al.</i> 2008
ZMVMO	1.7	3.4	9	3.4	2.3	0.3	26.8	5.6	1.9	6	Presente estudio
Polvo											
Hong Kong	173	-	-	1450	-	3.7	181	-	-	-	Li <i>et al.</i> 2001
ZMVMO	2.7	12	7.4	6.7	8.3	0.6	62	5	10.9	3.6	Presente estudio

4.4 Zona Norte, Centro y Sur

En la Figura 41 se muestran las concentraciones de metales pesados en suelo de parques localizados en la zona norte, centro y sur. Las concentraciones de Cu son ligeramente altas en la zona norte y disminuye hacia el sur; Mn, su concentración es alta en la zona norte, para disminuir en la zona cetrica y aumenta en la zona sur. El Zn presenta concentraciones bajas en el norte a diferencia de la zona centro y sur. El Fe presentó concentraciones bajas en la zonas norte y centro en comparación con la sur. Cr se encontró en mayor cantidad en la zona céntrica seguida de la zona sur para despues dismuir en la zona norte. Cd y Co no presentaron alguna diferencia entre las tres zonas. Pb obtuvo un contenido alto en la zona cetrica. V se encuentra en menor cantidad en el norte que el centro y sur. Cabe aclarar que no se realizó prueba estadística, solo un analisis gráfico.

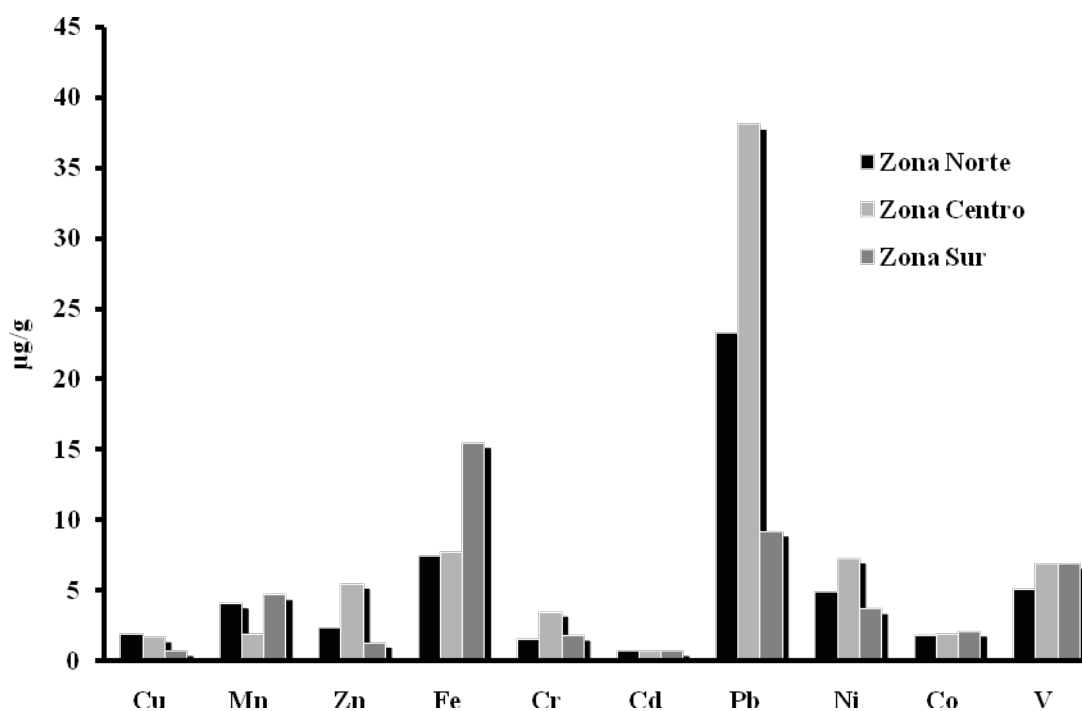


Figura 41. Comparacion entre las concentraciones de metales pesados en suelos de parques y areas de reserva que se encuentran en la zona norte, centro y sur de la ZMVMO

En el caso del polvo (Figura 42) Cu se presenta en la misma cantidad en las zonas norte y centro, disminuye hacia el sur; Mn presentó una alta concentración en las zonas céntricas, seguido de la zona norte y sur, el contenido de Zn y Fe presentaron la misma cantidad en la zona norte y centro, mientras que en la zona sur disminuye su concentración; Cr presentó altas concentraciones en la zona norte, a diferencia de la zona céntrica y sur, entre estas zonas no se encontraron diferencias; Cd se presenta en cantidades muy bajas en las

tres zonas, existe un ligero aumento en la zona norte; Pb fue disminuyendo de norte a sur; Ni se encontró en las mismas concentraciones en la zona norte y centro, y bajo hacia la zona sur; Co y V fue extremadamente bajo en la zona norte y centro en comparación con la zona sur. Las concentraciones de los metales a excepción de Co y V, disminuyen hacia la zona sur.

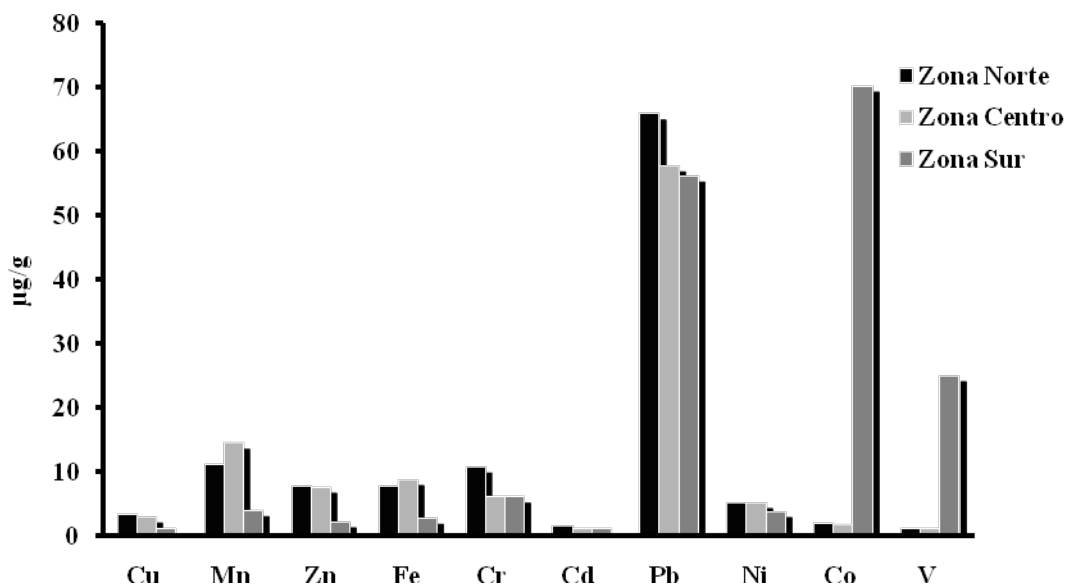


Figura 42. Comparación entre las concentraciones de metales pesados en polvos de parques y áreas de reserva que se encuentran en la zona norte, centro y sur del Valle de México (sección oeste)

Generalmente el patrón de las concentraciones de metales pesados en suelo y polvo de parques localizados en la zona norte son bajas, incrementándose en la zona céntrica y disminuye hacia la zona sur. Esto puede deberse a la dirección de los vientos, que predominan en la ZMVM de Noroeste a Suroeste (SMA, 2004). La mayor aportación

de metales pesados hacia el ambiente, se encuentra en la zona norte, ya que es un área altamente industrializada (SMA, 2004), estos contaminantes son llevados por los vientos hacia la zona céntrica del valle en donde llegan acumularse gracias a la infraestructura, que sirve como trampa para que estos metales se depositen y llegando hacia la zona sur en menor cantidad.

4.5 Correlación

Para determinar si la concentración de metales pesados estaba dada por las propiedades fisicoquímicas del suelo y polvo (pH, materia orgánica y textura), se realizó un análisis de correlación simple (Tabla 10), ya que la biodisponibilidad y el contenido de los metales pesados en el suelo depende de su origen y de sus propiedades fisicoquímicas como pH, contenido y tipo de arcillas, materia orgánica, entre otros (Kabata-Pendias 2000).

Los resultados obtenidos, muestran que las propiedades fisicoquímicas del suelo y polvo no explican la variación del contenido de metales pesados encontrados en el presente estudio ya que los valores de correlación (R) fueron menores a 0.40.

Tabla 10
Correlación de metales pesados y parámetros fisicoquímicos

	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>V</i>
Suelo										
<i>pH</i>	0.1192	0.0472	0.0401	0.0366	0.0263	0.0025	0.1558	0.0269	0.0708	0.00002
<i>M.O</i>	0.0085	0.0071	0.0019	0.1384	0.1705	0.1482	0.0019	0.0019	0.1258	0.0479
<i>Arenas</i>	0.0003	0.0109	0.0003	0.0076	0.0038	0.0020	0.0016	0.0016	0.0133	0.00003
<i>Limos</i>	0.0083	0.0136	0.3100	0.0311	0.0362	0.0177	0.00006	0.0006	0.0030	0.0002
<i>Arcillas</i>	0.0002	0.0138	0.00004	0.0048	0.0281	0.00179	0.009	0.009	0.0302	0.0028
Polvo										
<i>pH</i>	0.1624	0.1117	0.1021	0.1287	0.004	0.0003	0.0597	0.1648	0.2772	0.2803
<i>M.O</i>	0.0395	0.0533	0.0002	0.189	0.0013	0.0046	0.0378	0.1596	0.2067	0.2026
<i>Arenas</i>	0.0132	0.0324	0.0106	0.0352	0.0438	0.0094	0.0026	0.001	0.0273	0.0269
<i>Limos</i>	0.0101	0.0586	0.029	0.005	0.0464	0.0023	0.002	0.0002	0.0205	0.0201
<i>Arcillas</i>	0.0116	0.0061	0.0155	0.0135	0.0382	0.0199	0.0003	0.0132	0.0031	0.0031

5. CONCLUSIONES

Los metales pesados que se encontraron por arriba de las normas ambientales son: Pb, Cd y Co. Mientras que Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Ni y V no rebasaron ninguna norma.

Los niveles encontrados de MP en este estudio, resultaron ser bajos en comparación con otros países, incluso con lo reportado en un estudio reciente realizado en la ciudad de México.

La zona centro presentó mayor contenido de MP, seguido de la zona norte y en menor cantidad en la zona sur.

La variabilidad de contenido de metales pesados en suelo y polvo no está dada por las propiedades fisicoquímicas del suelo y polvo como el pH, la materia orgánica, y el porcentaje de partículas.

Los parques que presentan mayor riesgo para la población humana, especialmente infantil, por la presencia de concentraciones elevadas de metales pesados biodisponibles en suelo localizado en áreas de recreo infantil para el caso del suelo el Casco de Santo Tomas (Pb) . Para el polvo el Parque de los Venados (Pb), el Cerro del Judío (Co) el Parque Cultural Desierto de los Leones (Pb) y Ciudad Deportiva Solidaridad (Cd).

Los parques que no representan riesgo son para el suelo: Parque Espejo de los Lirios y para el polvo Parque Tarango, Los Dinamos y Parque Estatal Sierra de Guadalupe.

Los parques que presentan un menor riesgo son para suelo: Parque Refinería(Cu, Mn y Fe), Parque Tezozomoc (Mn y Cr), Parque Revolución (Cu, Zn, Cr, Cd y Pb), Bosque de Chapultepec 1 y 2 sección (Pb, Ni, Co, V y Fe), Alameda Central(Cu, Cr, Cd, Pb, Ni y V), Parque España(Cr, Cd, Pb, Ni, Co y V), Parque Ecológico de la Juventud (Fe, Co y V), Parque Tarango (Mn y Fe), Alameda Poniente (Cu, Zn, Fe, Cr, Cd, Ni y V), Jardín de la Bombilla (Pb, Ni, Co y V), Parque Hundido (Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni, Co y V), Parque de los Venados (Co), Parque Ciudad de México (Cu y Mn),

Reserva Ecológica Cerro del Judío (Mn y V), Los dinamos (Mn, Fe y V), Parque Nacional Cumbres del Ajusco (Fe), Parque Cultura y Recreativo Desierto de los Leones (Mn y

Fe), Reserva Natural Xochitla (V), Reserva Ecológica Bosque Río de los Remedios (Fe), Parque Naucalli (Mn, Fe y Zn), Parque de las Esculturas (Mn), Facultad de Estudios Superiores Iztacala (Mn y Fe), Ciudad deportiva solidaridad (Cu, Mn, Fe, Cr, Ni y V), Parque Estatal Sierra de Guadalupe (Mn, Co y V), Parque Villa de las Manzanas (Mn y Ni), Parque Rancho la Palma 1 (Mn, Fe y Ni) y el Parque los Ciervos (Co).

En cuanto al polvo son los siguientes: Parque Refinería (Cu, Mn, Zn Cr y Fe), Parque Tezozomoc (Cu, Ni y Co), Casco de Santo Tomás (IPN) (Mn, Fe, Pb y Zn), Parque Revolución (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Pb y Ni), Bosque de Chapultepec 1 y 2 sección (Cu, Mn, Zn, Fe, Pb y Ni), Alameda Central (Mn, Zn, Fe, Pb y Ni) Parque España (Cu, Mn, Fe, Pb y Ni) Parque de la Juventud (Cu, Fe y Ni), Alameda Poniente (Cr), Jardín de la Bombilla (Cu, Mn, Fe y Ni), Parque Hundido (Cu y Zn), Parque Ciudad de México (Cr y Pb), Parque Nacional Cumbres del Ajusco, Reserva Natural Xochitla (Cr y Pb), Reserva Río de los Remedios (Mn), Parque Naucalli (Cu, Fe, Cr y Pb), Parque Espejo de los Lirios (Mn, Cr, Pb y Ni), Parque de las Esculturas (Mn y Ni), Facultad de Estudios Superiores Iztacala (Cr y Pb), Parque Villa de las Manzanas (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Pb y Ni), Parque Rancho la Palma I (Cu, Cr, Pb y Ni) y Parque de los Ciervos (Mn y Fe).

Se necesita realizar una Norma que regule el contenido de metales pesados en suelo y polvo de parques urbanos para México

6. LITERATURA CITADA

Adachi, K., Tainosho, Y., 2005. Single particle characterization of size-fractionated road sediments. *Applied Geochemistry* 20, 849-859.

Anaya, C.M. (2001). Las áreas verdes en el contexto urbano. Estudio de caso: ciudad de Guadalajara. Tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado, CIEMAD/IPN, Mexico, D.F., 116p.

Ajmone-Marsan F., Biasioli M., Kralj T., Greman H., Davidson C. M. Hursthouse A.S., Madrid L., Rodrigues S. 2008. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environmental Pollution* 152, 73-81.

Al-Rajahi A., Seaward M.R., Edwards H.G. 1996. Particle size effect for metal pollution analysis of atmospherically deposited dust. *Atmospheric Environment* 30, 145-153.

Basta, N. T. 2004. Heavy metal and trace element chemistry in residual-treated soil: Implication on metal bioavailability and sustainable land application, In; Sustainable land application Conference, January, 4-8, Florida; University of Florida.

Banat, K.M., Howari F.M., Al-Hamad A.A. 2005. Heavy metals in urban soil of central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research* 97, 258-273.

Banerjee, A.D.K. 2003. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution* 123, 95-105.

Boocca, B., Almonti, A., Petrucci, F., Violante, N., Sancesario, G., Forte, G. 2004. Quantification of trace elements by sector field inductively coupled plasma spectrometry in urine, serum, blood and cerebrospinal fluid of patients with Parkinson's disease. *Spectrochim Acta: B59*: 559-66.

Cala, V., Kunimine, Y. 2003. Distribución del plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas. UNAM. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* año/Vol. 19 Número 003. pp. 109-115.

Carter R. 1993. *Soils sampling and methods of análisis*. Lewis Publishers. 87-89 y 106-117.

Csuros M. y Csuros C. 2002. *Environmental sampling and analysis for metals*. Lewis Publisher. p. 372

De Miguel, E., Jimenez, M., Llamas, J., Martin-Dorado A., Mazadiego I. 1998. The overlooked contribution of compost application to the trace element load in the urban soil of Madrid (Spain). *The Science of the Total Environment*. 215, 113-122.

USEPA. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol. 1: metals

Flores J., Vaca, M., López R., González A. y Barceló M. 1998. Caracterización de metales pesados tóxicos en polvos de la Ciudad de México. UNAM. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, año/Vol. 14, número 002. Distrito Federal, México pp. 93-100.

Flores J., Vaca, M., López R., González A. y Barceló M. 2001. Plomo, Cadmio y Zinc en polvos sedimentados a diferentes alturas en la ciudad de México. Departamento de Energía Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Gobierno del Distrito Federal. 2001. Secretaria de Desarrollo Económico; Dirección general de Regulación y fomento económico.

Holde D. 2000. Los elementos traza en Parques Urbanos. Universidad de California. División de Agricultura y Reserva Naturales, Los Ángeles C. pp.1-4.

Imperato M., Adamo, P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution* 124, 247-256.

IHOBE (Seguridad pública gestión ambiental). 1998. Manual práctico para la investigación de la contaminación del suelo. Seguridad pública de gestión ambiental. Gobierno Vasco, España.

INE. 2005. Metales pesados. Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530, Delegación Coyoacan, México D.F. disqre@ine.gob.mx

INEGI 2000. www.inegi.gob.mx

IPCS. International Programme on Chemical Safety. 2001. Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compound, World Health Organisation, Ginebra, No. 29

Jiang M., Marr L.C., Dunlea E.J., Herndon S.C., Jayne J.T., Kolb C.E., Knighton W.B., Rogers T.M., Zavala M., Molina L. T and Molina M.J. 2005. Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, and other pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico city. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 5, 3377-3387.

Krishna A.K., Gov P.K. 2001. Heavy metal contamination of soil around Pali Industrial Area, Rajasthan, India. *Environmental Geology* 47: 38-44.

Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press-Bocca Raron, USA.

Larocque A.C.L and Rasmusen P.E. 1998. An overview of trace metals in the environment: mobilization to remediation. *Environmental Geology* 33: 85-91.

Li, X., Poon. C.S., Lui, P.S., 2001. Heavy metal contamination of urban soil and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry* 16, 1361- 1368

Lide R.D. 1997. Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press 78th edition. BocaRaton, FL. p. 112-119

Lu, Y., Gong, Z., Zhang, G., Burghardt W. 2003. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb, and Cr of urban soils in Nanjing, China. *Geoderma* 115. 101-111.

Lopez S., Perelman P., Rivara M., Castro M., Faggi A. 2006. Características del suelo y concentraciones de metales a lo largo de una gradiente de urbanización en Buenos Aires, Argentina, *Multiquina* 15, 69-180.

Ministere de l'Environnement du Québec (MEQ). 2001. Politique de Protection des Sols et de Rehabilitation des Terrains Contamines. Publications of the MEQ, Collection Terrains Contamines, Québec, Canada.

Morton-Bermea O. 2006. Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de Mexico, UNAM. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, ano/vol. 9, numero 001. Mexico pp. 45-47.

Morton-Bermea O. , Hernandez-Alvarez, E., Gonzalez-Hernandez, G., Romero, F., Lozano, E., Beramidi Orozco L.E. 2008. Assesment of heavy metal pollution in urban topsoil from the metropolitana area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration* (2008), doi: 10.106/j.gexplo.2008.07.02

Muñoz D. et al 2000. Manual de métodos de análisis de suelo. Edafología. UNAM. FESI. UBIPRO.

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., Campos, A. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. *Ecología Aplicada*, 5 (1,2).

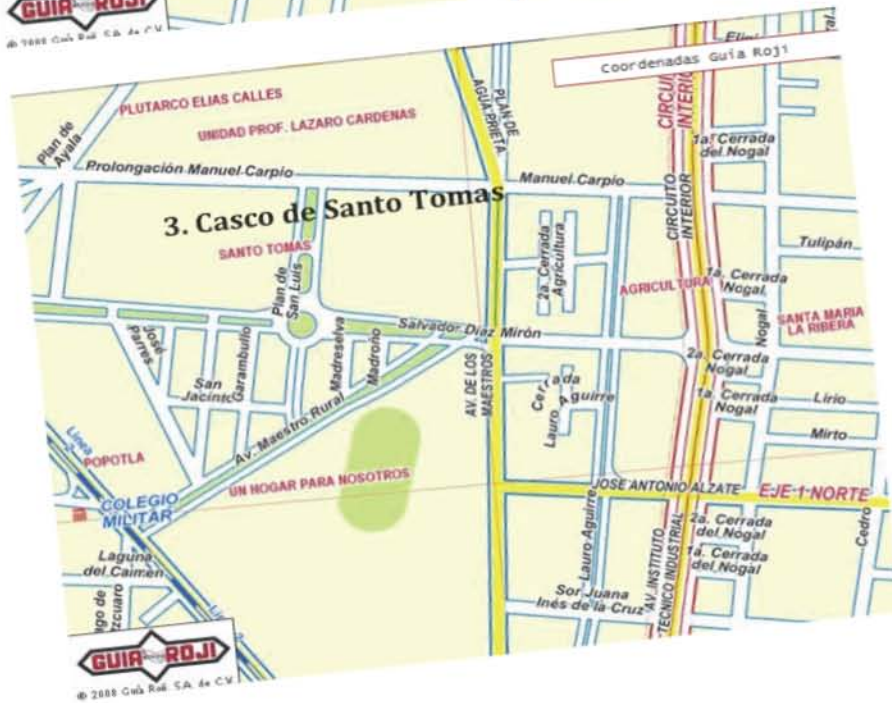
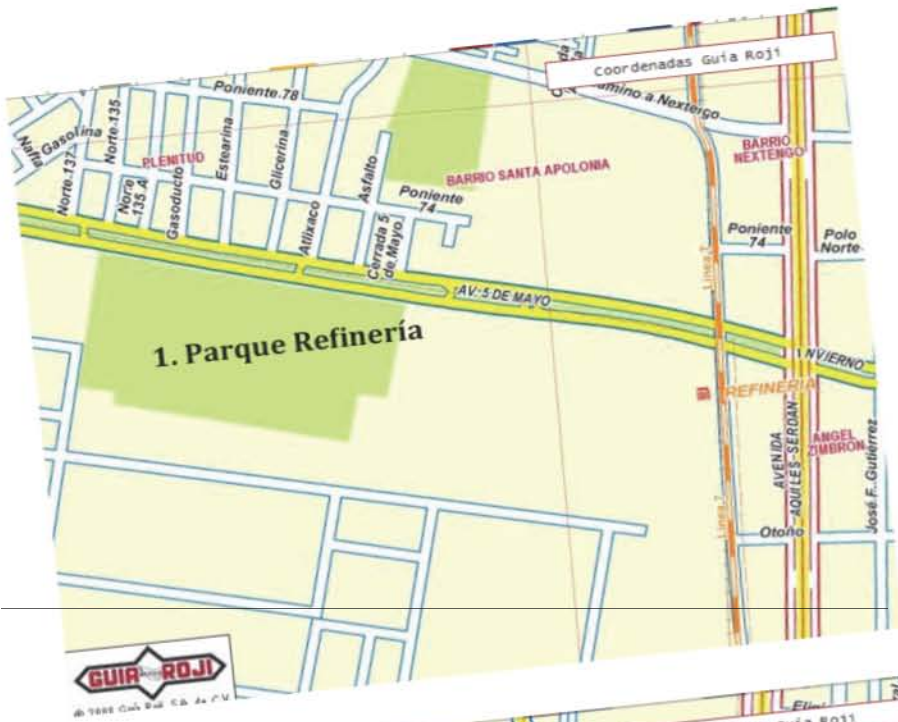
Rodríguez Mercado J.J. , Altamirano Lozano M. A. 2006. Vanadio: Contaminación metabolismo y geotoxicidad. Universidad Autónoma de México. Distrito Federal. Revista de Contaminación Ambiental, ano/vol. 22, numero 004. pp. 173-189

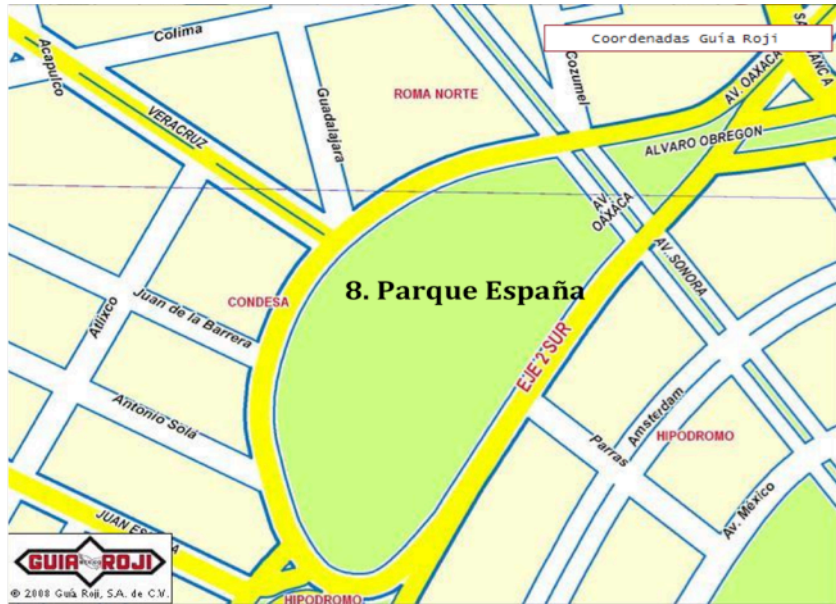
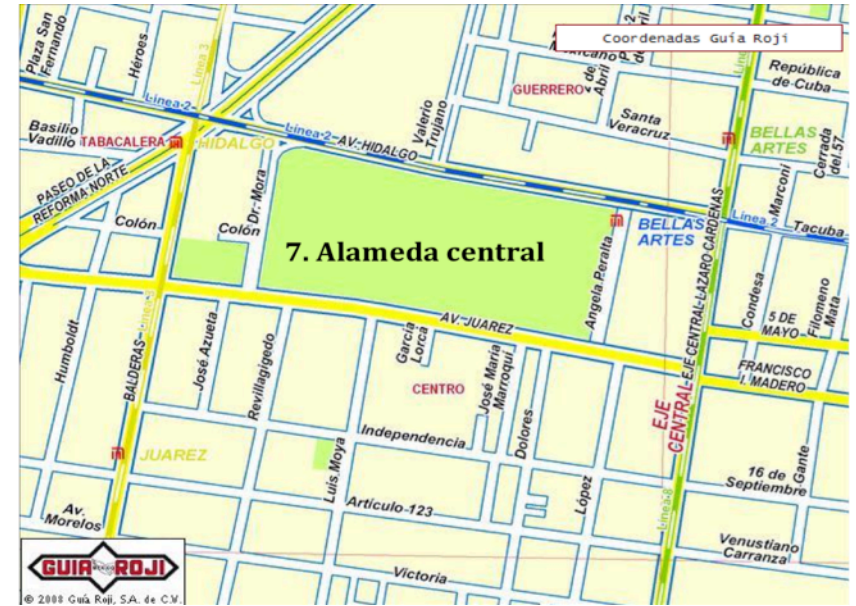
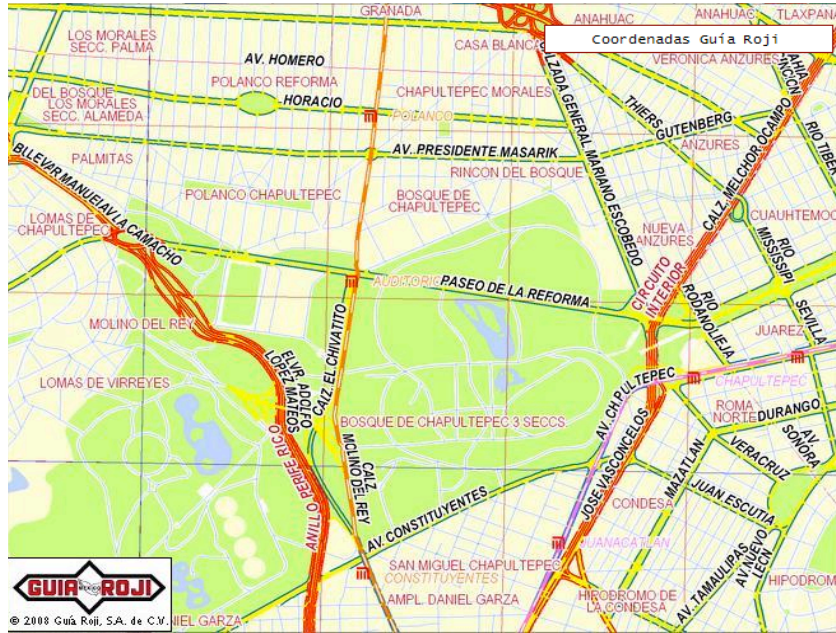
Sánchez-Camazano, M., Sánchez Martín M., Lorenzo L., 2000. Cadmium and lead contents in suburban and soils from two medium-sized cities of Spain: influence of Traffic intensity. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 64, 250-257.

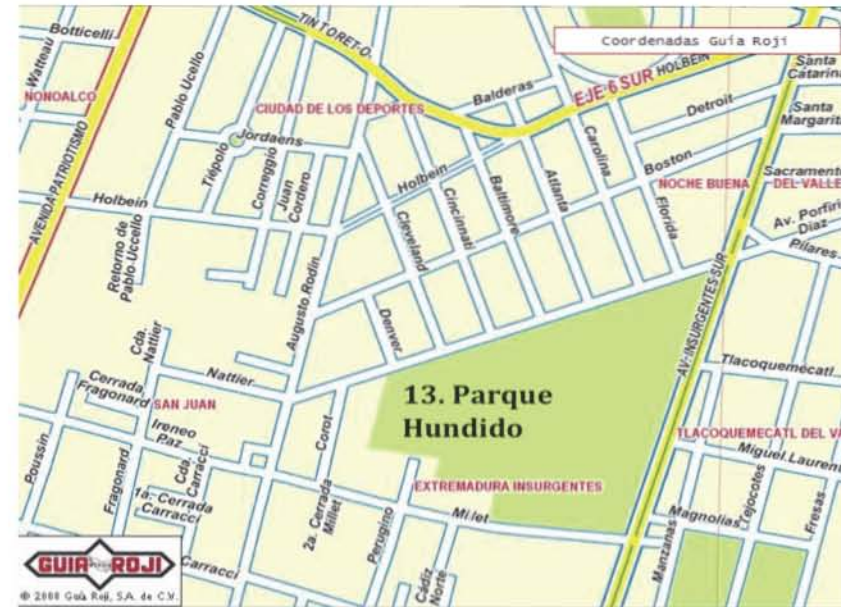
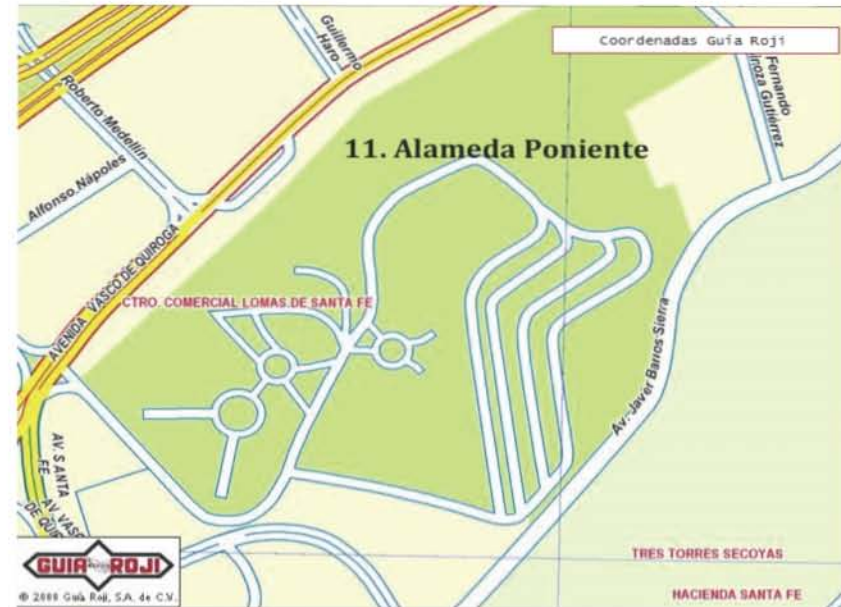
Secretaria de Medio Ambiente (SMA). 2004. Intario de contaminantes toxicos del aire en la ZMVM.

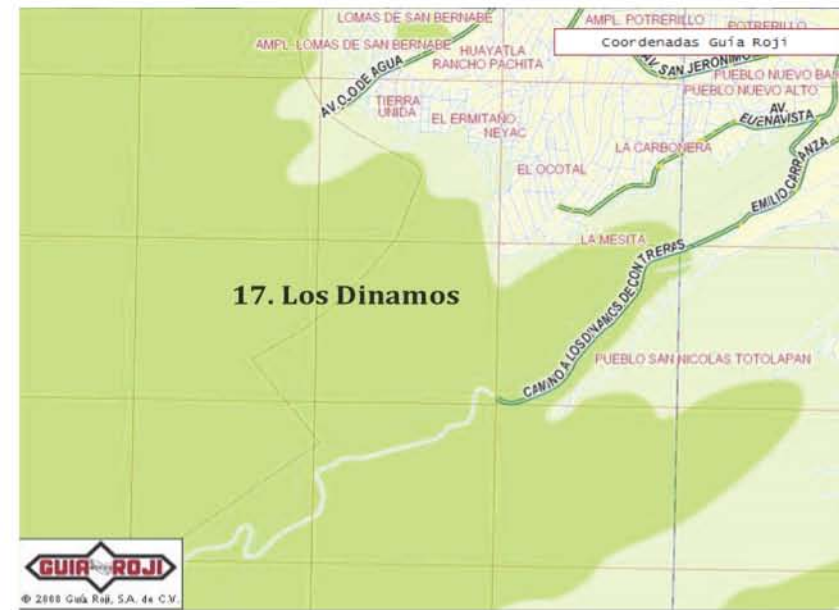
Shim C., Li, Q., Luo, M., Kulawik, S., Worden, H., Worden, J., Eldering, A., Diskin, G., Sachse G., Weinheimer A., Knapp, D., Montzca, D., Campos, T. 2009. Satellite observations of Mexico City pollution outflow from the Tropospheric Emissions Spectrometer (TES). Atmospheric Enviroment 43 1540-1547.

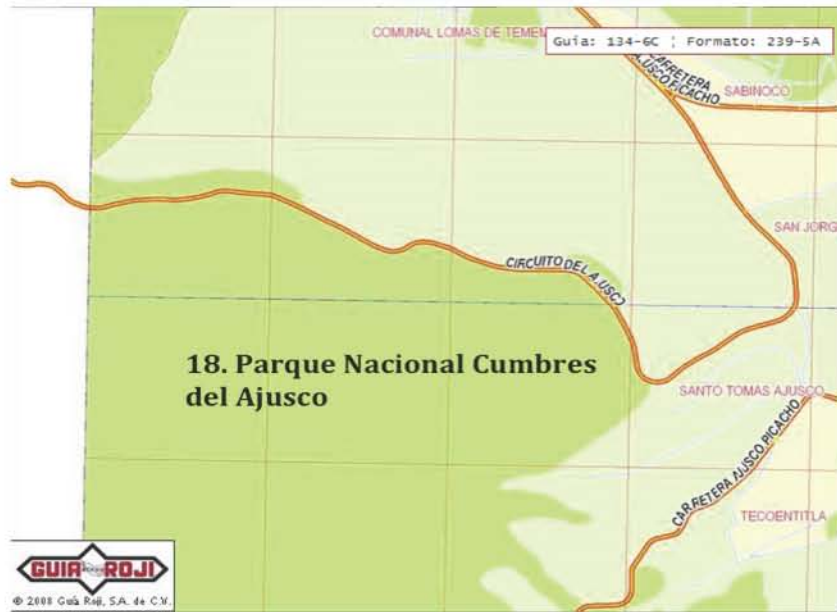
APENDICE I

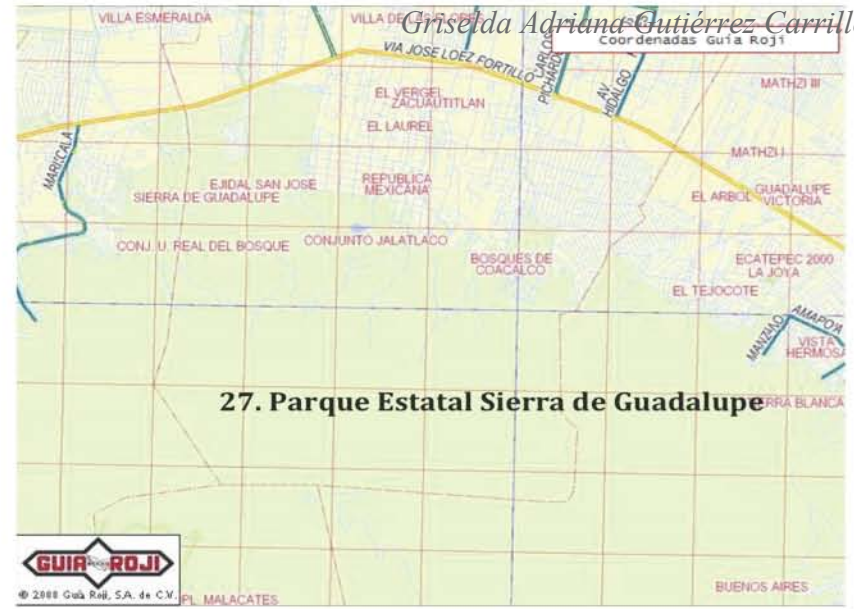












Graciela Adriana Gutiérrez Carrillo



