



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE
CONTAMINACIÓN DE SUELO
POR METALES PESADOS EN
PACHUCA, HIDALGO.**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA
PÉREZ SEGOVIA ANAYANTZI DINAROA

DIRECTOR
Dr. FIDEL PÉREZ MORENO

CO-DIRECTORA
Dra. YOLANDA MARMOLEJO SANTILLÁN

Mineral de la Reforma, Hidalgo, Agosto de 2018.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Área Académica de Biología
Biology Department

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UAEH.
P R E S E N T E

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado a la pasante de Licenciatura en Biología **Anayantzi Dinaroa Pérez Segovia** quien presenta el trabajo recepcional de tesis intitulado **Evaluación de contaminación de suelo por metales pesados en Pachuca, Hidalgo**, después de revisarlo en reunión de sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueren acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE:	Dra. Yolanda Marmolejo Santillán	
SECRETARIO	Dr. Fidel Pérez Moreno	
PRIMER VOCAL:	M. en C. Magdalena Meza Sánchez	
SEGUNDO VOCAL:	Dr. Numa Pompilio Pavón Hernández	
TERCER VOCAL:	Dr. Ignacio Esteban Castellanos Sturemark	
PRIMER SUPLENTE:	Dra. Iriana Leticia Zuria Jordan	
SEGUNDO SUPLENTE:	Biol. Janice Viridiana Montiel Pimentel	

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más atenta consideración.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Mineral de la Reforma, Hidalgo a 28 de Junio de 2018

M. en C. MAGDALENA MEZA SÁNCHEZ
COORDINADOR ADJUNTO DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts. 6640 y 6642 Fax 2112
 aab_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

*“Espero inspirar a la gente de todo el mundo
para que mire las estrellas y no sus pies”*

Stephen Hawking.

Dedicatoria

A mis padres por ayudarme a triunfar y apoyarme en cada peldaño de mi vida.

Al Dr. Fidel porque fue la pieza clave para la realización de este trabajo.

*Para todas las personas que me cuidaron desde niña y siguen
cuidándome y amándome hasta el día de hoy.*

Agradecimientos

Tengo mucho que agradecer a la gente que me rodea porque sin su ayuda la elaboración de esta tesis no hubiera sido posible. Espero que todos los implicados se sientan parte de ella.

En primer lugar quiero agradecer el apoyo de mis padres; Norberto y Erika, por su amor incondicional y el esfuerzo que hacen día con día para ayudarme a cumplir mis sueños, por el apoyo durante los días de ausencia, que a pesar de la distancia y los días difíciles jamás me soltaron. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy; es un privilegio ser su hija y sabiendo que no hay palabras suficientes para demostrar mi amor y gratitud solo puedo decirles que este logro es también suyo.

A mi hermano Idali A. porque siempre me he sentido motivada para ser el mejor ejemplo para ti, te amo inmensamente cachorro, gracias por ser el mejor cómplice de vida.

Al Dr. Fidel y la Dra. Yola, sin su apoyo este trabajo no existiría, son la pieza clave de este esfuerzo que hoy se ve concluido. Gracias por el apoyo incondicional acompañado de una gran amistad y conocimientos compartidos que sin duda han sido fuente de inspiración para mi crecimiento profesional.

A mis asesores de tesis: Dr. Ignacio, Dra. Iriana, Dr. Numa, M. en C. Magda, Biol. Janice; por confiar en mí y tomar el compromiso de apoyarme, corregirme y compartir sus conocimientos conmigo, agradezco infinitamente el tiempo y las contribuciones cedidas a esta investigación.

Con mucho cariño para Cary y Amai, ustedes que fueron mi nueva familia durante los años de la carrera, gracias por las noches de cafécito, por las salidas y las fiestas, por los inolvidables recuerdos, y por cada momento a su lado que sin duda me hicieron ser una mejor amiga. Gracias por todas las risas, lágrimas y enojos compartidos, son las mejores "roomies" las quiero muchísimo.

A Jaciel D. Por coincidir en el camino y empezar a recorrerlo juntos, porque me apoyaste en los momentos más difíciles, pero también has compartido los más felices y este trabajo es uno de ellos, gracias por impulsarme a seguir aun cuando yo sentía que no podía más, por todo el amor compartido en estos años y por ser pieza fundamental en mi vida.

Mi querida Maryev, gracias por compartir tus conocimientos conmigo, eres una gran amiga y colega, nunca olvidare los momentos juntas; desde el congreso en Chetumal, hasta las escapadas por alitas. Tu amistad es un privilegio para mí.

Karlita, por recorrer juntas esta hermosa carrera; Edith porque cuando sentía que me quedaba sola llegaste a iluminar el depa con tus ocurrencias y risas. Por último pero no menos importante a: Yara, Mario, Charles, Diego, que me acompañaron desde el inicio de esta hermosa etapa de mi vida, por tanto cariño y buenos momentos compartidos.

Sin duda alguna toda mi familia y amigos son parte de este proceso tan importante, en el que me han visto crecer y tropezar, pero a pesar de ello siempre han estado a mi lado.

A todos ustedes mi mayor admiración, cariño y respeto. Gracias totales.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	<u>I</u>
ÍNDICE DE FIGURAS	<u>II</u>
RESUMEN	<u>III</u>
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ANTECEDENTES	3
1.1 Urbanización	3
1.2 Urbanización en Pachuca	5
1.3 Efectos de la urbanización	6
1.4 Contaminación de suelos por urbanización.....	11
1.5 Metales pesados en suelo y fuentes de producción.....	14
1.6 Efecto contaminante de los metales pesados	17
1.7 Objetivo general.....	19
1.8 Objetivos específicos	19
1.9 Hipótesis	19
CAPÍTULO II	20
DESARROLLO EXPERIMENTAL	20
2.1 Selección de sitios de muestro	20
2.2 Colecta de muestras	21
2.3 Análisis en laboratorio	22
2.4 Cálculos	24
2.5 Conversión de elementos a óxidos.....	25
CAPÍTULO III	26
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	26

3.1 Potencial de Hidrógeno de los suelos analizados	26
3.2 Óxidos metálicos presentes en el suelo.....	27
3.3 Elementos metálicos minoritarios totales de suelo	29
3.4 Elementos metálicos minoritarios solubles en suelo	31
3.5 Elementos metálicos traza insolubles en suelo	33
3.6 Elementos de As y Hg totales presentes en suelo	35
CAPÍTULO IV	37
4.1 CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
GLOSARIO	44
ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Datos de georreferenciación de los sitios de colecta.....	20
Tabla 2. pH de suelo en áreas cercanas a edificios construidos en diferentes periodos de tiempo en la Ciudad de Pachuca, Hgo.....	26
Tabla 3. Porcentajes promedio de óxidos de elementos mayoritarios en suelo con gradiente temporal de construcción en Pachuca, Hgo.....	28
Tabla 4. Contenido de elementos minoritarios totales en suelo con gradiente temporal de construcción en Pachuca, Hgo.....	30
Tabla 5. Concentración promedio de elementos metálicos minoritarios solubles en suelo en un gradiente temporal de construcción de Pachuca, Hgo.....	32
Tabla 6. Contenido de elementos metálicos minoritarios insolubles en suelo en un gradiente temporal de construcción de Pachuca, Hgo.....	34
Tabla 7. Análisis de As y Hg total en suelo de la Ciudad de Pachuca, Hgo.....	35
Tabla 1A. Datos promedio y desviación estándar de la concentración de pH en cada sitio de muestreo.....	46
Tabla 2A. Curvas de calibración para la determinación de elementos metálicos mayoritarios totales por ICP.....	47
Tabla 3A. Porcentaje de elementos mayoritarios totales de suelo en Pachuca, Hgo.....	49
Tabla 4A. Curvas de calibración de elementos minoritarios totales por ICP.....	50
Tabla 5A. Elementos minoritarios totales de suelo de la ciudad de Pachuca, Hgo.....	52
Tabla 6A. Elementos solubles determinados por ICP.....	53
Tabla 7A. Valores de curva de calibración de As por el método de generación de hidruros.....	54
Tabla 8A. Análisis de As total en suelo de la Ciudad de Pachuca, Hgo.....	55
Tabla 9A. Valores de curva de calibración de Hg por el método vapor frío.....	55
Tabla 10A. Análisis de Hg total en suelo de la Ciudad de Pachuca, Hgo.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Sitios de colecta de muestras de suelo para análisis de elementos metálicos	21
Figura 1A. Curvas de calibración de elementos mayoritarios totales por ICP.....	48
Figura 2A. Curvas de calibración de estándares de elementos minoritarios por ICP.....	51
Figura 3A. Curva de calibración de As, método utilizado es el de generación de hidruros	54
Figura 4A. Curva de calibración de Hg, método utilizado es el de vapor frío.....	56

RESUMEN

En el presente estudio sobre la evaluación de contaminación por elementos tóxicos en suelo de la ciudad de Pachuca, se determinó que la variación del pH es un indicador primario de los cambios de composición de éste.

También se pudo determinar que la composición de los principales minerales es constante y que el contenido de Ca, Mg, Na, K, Al y Si no se ven afectados por la presencia de elementos tóxicos, debido a que el contenido de éstos es mínimo.

De los elementos minoritarios tóxicos que fueron monitoreados en suelo superficial, los elementos Cu, Li, Mn, Ti, Hg y As no sobrepasaron el límite permisible por la normativa nacional.

Se determinó que el Cr en la parte de suelo insoluble se incrementa ligeramente con el gradiente de construcción ya que de 0-1 años se tiene una media de 76.8 mg/Kg, en 2-36 años de 77.4 mg/Kg y para >37 años de 78.2 mg/Kg, por lo que se considera que este elemento en particular representa un riesgo para la salud humana, debido a que se pueden generar condiciones para que se pueda solubilizar.

Se concluye que las características del suelo han sido modificadas por el cambio de uso del suelo, incremento de construcciones y poblaciones.

A pesar de que las concentraciones evaluadas no rebasan los límites permisibles de la normativa oficial mexicana, es necesario que este tipo de información se utilice para la planeación urbana de la ciudad, impacto en la salud pública, monitoreo y mitigación de la contaminación ambiental.

INTRODUCCIÓN

La composición del suelo se ve afectada por diferentes variables tales como humedad, temperatura y pH; sin embargo, estas variables están siendo modificadas drásticamente debido a las actividades antropogénicas y a los cambios de las actividades cotidianas en el uso de suelo. Los principales contaminantes estudiados son metales pesados, y elementos traza, éstos están presentes en la corteza terrestre, suelo, organismos y vegetación.

Los elementos traza en el suelo pueden ser de origen geogénico, que proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Mientras que los de origen antropogénico son derivados de las actividades antropogénicas proceden de la industria, minería y residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales son potencialmente tóxicos para los humanos (Galán y Romero, 2008).

Los metales se lixivian por las corrientes superficiales, moviéndose a lo largo de la red de los cursos de agua y eventualmente alcanzando a los mantos acuíferos y por lo tanto resultan en la contaminación del agua y consecuentemente del suelo.

En consecuencia, es importante conocer las fuentes, procesos de lixiviación, conversiones químicas y modos de disposición de los diferentes compuestos tóxicos que contaminan el medio ambiente, el cual, esencialmente sostiene la vida. La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con los diferentes tipos de actividades humanas (Morton-Bermea, *et al.*, 2009).

El suelo no puede asimilar, inmovilizar, inactivar y degradar todos los contaminantes que recibe y es por ello que en un determinado momento, cuando se superan los umbrales críticos, puede transferir los contaminantes a otros medios e incorporarlos en las cadenas tróficas (Heredia y Fernández, 2008).

Los metales pesados se encuentran en los alimentos que comemos, el aire que respiramos, en los edificios, ropa, maquinaria, agua del grifo, en pastas dentales y utensilios de cocina entre muchas otras situaciones cotidianas. Algunos metales son necesarios ya que son minerales que nuestro cuerpo necesita. Pero la mayoría de los metales pesados son tóxicos y causan cáncer, problemas de tiroides, deficiencias en el aprendizaje, problemas

neurológicos, desequilibrios hormonales y muchos otros problemas de salud (Londoño, *et al.*, 2016).

El nivel de riesgo ambiental que los metales pesados tienen sobre diversos ecosistemas terrestres son principalmente por absorción y/o sustitución en organismos vegetales, terrestres y acuáticos; siendo generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria (Alloway, 2012).

El impacto antropogénico y el crecimiento descontrolado de la población, afectan gravemente a la calidad del medio ambiente urbano y representan un riesgo para la salud humana; la importancia ecológica de los metales pesados en el suelo está estrechamente relacionada con la salud humana debido a su alta transferencia ecológica. Con frecuencia, la concentración total de metales pesados en los suelos es un indicador de la calidad del medio ambiente urbano, sin embargo, la gravedad de la contaminación no sólo depende de la concentración total de metales pesados del suelo, sino también de la proporción de sus formas móviles y biodisponibles (Morton-Bermea, *et al.*, 2009).

El suelo en todas las zonas urbanas y suburbanas generalmente contiene Pb, Zn, Cd y Cu a concentraciones a nivel de traza; sin embargo estas concentraciones se ven afectadas por diferentes tipos de fuentes, tales como tráfico vehicular, combustión de carbón, maderas, uso de pesticidas, pinturas, pilas, etc., Afectando al suelo en muchas zonas las cuales pueden tener impactos durante décadas o incluso siglos después (Alloway, 2012).

Debido a la innegable contaminación presente en el suelo, es necesario evaluar el contenido de metales pesados totales, solubles e insolubles para conocer el impacto antropogénico que puedan tener a mediano y largo plazo.

CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES

1.1 Urbanización

La urbanización es un proceso a escala mundial que está cambiando el paisaje social y ambiental de todos los continentes. Es el resultado de la inmigración de grupos humanos desde las zonas rurales concentrando a la población en las ciudades, lo que conlleva cambios no sólo demográficos, sino también económicos y culturales como un proceso generalizado (OMS, 2018).

La urbanización inicia en el siglo XIX junto con la revolución industrial y agrícola, y con la transición que llevó a una explosión demográfica concebida como un aspecto del cambio económico y social (Bottino, 2009).

El proceso de urbanización implica tamaño, densidad y heterogeneidad de la población; la movilidad, segregación e industrialización son procesos que frecuentemente acompañan a la urbanización, por ello el ambiente urbano constituye un sistema complejo debido a la cantidad de elementos que lo componen y las interacciones entre sí (Ballesteros y Daponte, 2011).

En el desarrollo de la urbanización se distinguen las etapas del crecimiento de las ciudades en relación a su desarrollo económico y modalidades de integración funcional con el entorno en el que se desarrollan, así es que durante este proceso se pueden nombrar tres tipos de urbanización (CONAPO, 2012).

Rururbanización: es la demanda de suelo que provoca que los sitios tradicionalmente urbanos comiencen a establecerse en suelo rural, ya que es mucho más barato; consecuentemente esto provoca que se abandonen las actividades agrícolas por las industriales; una vez que la ciudad se establece influirá considerablemente sobre las zonas rurales que la rodean (Anzano, 2012).

Contraurbanización: se conoce como el proceso de movimiento de personas y actividades económicas desde las áreas urbanas hacia las rurales, esta contribuye a la

difusión de la urbanización en el territorio y en la sociedad, con ello se invierte la dirección de los tradicionales flujos migratorios campo-ciudad, provocando que las áreas rurales dejen de despoblarse (Anzano, 2012).

Periurbanización: considerado como el espacio geográfico entre la aglomeración urbana y rural, ocupada por las infraestructuras de transporte como aeropuertos, autopistas, instalaciones ferroviarias, zonas militares, áreas naturales protegidas cercanas a la ciudad, etc. (Anzano, 2012).

Aunque la urbanización tiene el potencial de hacer que las ciudades sean más prósperas y los países más desarrollados, las ciudades en crecimiento ejercen una demanda insostenible sobre los recursos naturales y grandes alteraciones ambientales (ONU, 2016).

Muchas ciudades alrededor de todo el mundo no están preparadas para los cambios multidimensionales asociados a la urbanización; la edificación de construcciones sobre paisajes y ecosistemas naturales debe orientarse a reducir los niveles de contaminación y generación de residuos, de esta manera la urbanización dejaría de ser un modelo insostenible en muchos aspectos (Vegara, 2009).

México se ha convertido en uno de los países de América Latina que es cada vez más urbano; esto plantea múltiples desafíos que demandan nuevas políticas, estrategias y programas integrales que atiendan eficazmente a este grupo mayoritario de la población, evitando la expansión desordenada, desarticulada y segregada de las ciudades para contribuir en la mejora de la calidad de vida de las personas (CONAPO, 2012).

A medida de que la población mundial se está duplicando, la población urbana se va intensificando y más de la mitad del planeta vive en áreas urbanas, éste crecimiento demográfico oculta lo que puede ser una interacción todavía más importante entre los seres humanos y el medio ambiente (ONU, 2014).

El proceso de urbanización se manifiesta como una línea de investigación de singular relevancia; el papel de la urbanización, sus causas y sus efectos son cuestiones que han llamado la atención de las administraciones públicas, instituciones y centros de estudios de investigación especializados tanto nacional como Internacional (Moya, 2001).

1.2 Urbanización en Pachuca

Hidalgo es una de las treinta y dos entidades federativas de México que ha registrado un lento y tardío proceso de urbanización (Vargas, 2011). En los últimos veinte años la ciudad de Pachuca ha sufrido grandes transformaciones en su territorio, el ritmo de crecimiento poblacional ha provocado que la ciudad se expanda físicamente como no lo había hecho en sus casi quinientos años de existencia (Granados-Alcántar, 2006).

Hasta la mitad del siglo XX la única ciudad en Hidalgo fue Pachuca, esto se atribuye a que en primer lugar la configuración urbana en Hidalgo dependió de lógicas externas al seleccionar a Pachuca como centro de explotación; sin duda, la cercanía a la capital del país, ha condicionado en mucho el proceso de urbanización en Hidalgo (Granados-Alcántar, 2010).

La minería se desempeñó como la actividad económica principal de la ciudad de Pachuca convirtiéndola en una zona de atracción de personas, que detonó su evolución territorial (Granados-Alcántar, 2010). En el proceso de esta expansión urbana los jales se visualizaron como un obstáculo para la urbanización dentro de la ciudad, optando por “eliminarlos” y crear sobre esa superficie los asentamientos inmobiliarios para clase media y que influyeron en el crecimiento comercial en toda la zona del centro sur de la metrópoli (Rodarte y Galindo, 2016).

Para la historia urbana de Pachuca, la minería fue la actividad económica que le dio vida, pero visto de otra manera es la actividad que marca su crecimiento y transformación del espacio que la rodea (Granados-Alcántar, 2006).

1.3 Efectos de la urbanización

El proceso de urbanización es un factor importante, que sin duda ha incidido en la actual crisis medio ambiental, y es que este proceso de urbanización ha implicado transformaciones de tierra, agua, aire, recursos energéticos y las poblaciones humanas; estas transformaciones son de una enorme magnitud, tanto que ya influyen en los ciclos biogeoquímicos y en las variaciones de los elementos climáticos (Kogan, 2016).

El impacto que se ejerce sobre el ambiente es tan antiguo como el mismo ser humano, la magnitud y escala espacial, temporal y social de los mismos ha incrementado considerablemente en las últimas décadas como consecuencia de diversos factores, tales como: intensa urbanización, modelos de producción, grandes proyectos de infraestructura y desarrollo de industrias son algunos de los detonantes que impactan más sobre el medio ambiente (Castro, 2012).

La dependencia de las ciudades sobre una gran variedad de recursos y la forma en que éstos son usados, administrados, transformados y desechados después de su vida útil, tiene un profundo impacto no sólo sobre los habitantes de una ciudad en particular, sino sobre el todo del planeta y sus habitantes en general, por lo que los problemas ambientales urbanos tienen una repercusión a escala local, regional y mundial (Frers, 2018).

La mayor parte de las ciudades comparten una serie de problemas medioambientales tales como contaminación del aire, agua y suelo, además de contaminación por ruido y luz artificial. A continuación se describen algunas fuentes de contaminación.

La contaminación del aire se entiende por la presencia de sustancias en forma de gas y/o partículas sólidas que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (Carnicer, 2007).

La contaminación del aire urbano es un serio problema en muchas grandes ciudades del planeta, el intenso e incesante tráfico, unido a fábricas que no controlan sus emisiones, convierte el aire de ciudades de todo el mundo en auténticas nubes de smog. Los niveles

de partículas contaminantes sobrepasan en muchos casos el límite de seguridad para la salud humana marcado por la OMS (National Geographic, 2010).

Niveles elevados de ruido, definido como el sonido exterior no deseado o nocivo es generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte y por emplazamientos de actividades industriales (Ballesteros y Daponte, 2011).

La modernidad, industria, urbanización y el ajetreo cotidiano causan una alta contaminación auditiva en los parajes urbanos; el transporte, la construcción, el acelerado crecimiento poblacional, entre otros factores, son la principal causa del ruido en las urbes. Hoy en día, el ruido es una de las principales fuentes de contaminación que rompen el equilibrio natural y provocan estrés que afecta o perjudica a las personas (Alfie y Salinas, 2017).

Generación de residuos: los residuos sólidos urbanos son aquéllos que provienen de cualquier actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública y los resultantes de lugares públicos y las casas habitación, como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, por ejemplo, residuos de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques (SEMARNAT, 2018).

El incremento de la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) está directamente relacionado con el aumento poblacional y el estilo de vida actual, los cuales definen por lo general un mayor consumo de bienes y servicios; es necesario prestar atención a los temas relacionados con la recolección, manejo y disposición final de los residuos con la finalidad de evitar que los sitios en los que se depositan los RSU se conviertan en focos de contaminación o infección y se asegure que no serán dispersados (SEMARNAT, 2015).

Agua residual: es aquella agua cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

El crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares, agricultura e industria, han aumentado significativamente el uso global del

agua. Las diferentes actividades productivas al generar desechos diversos, son las fuentes principales de contaminación de los diferentes cuerpos de agua (Ducci, *et al.*, 2013).

Fragmentación de hábitats: el proceso de antropización ha transformado el paisaje eliminando todos los elementos naturales, denominando al impacto paisajístico como la alteración estructural o funcional en uno o varios componentes naturales y elementos visuales del paisaje como consecuencia de las intervenciones humanas (Ruiz y Caro, 2012).

Es bien conocido que la modificación de hábitats por actividades humanas crea remanentes aislados y dispersos que conducen a una rápida transformación del paisaje e inciden en la pérdida de biodiversidad (Bojorges-Baños, 2009).

Pérdida de biodiversidad: el hombre es el principal inductor de los cambios por causa de su expansión numérica y creciente demanda de recursos, la disminución o desaparición de la diversidad biológica son consecuencia de esos cambios (Refoyo y Muñoz, 2013). Se estima que para el año 2100, el cambio de uso de suelo, el cambio climático, modificación al ciclo de nitrógeno y las especies invasoras serán los principales motores de la pérdida de biodiversidad mundial (Pineda, 2018).

La pérdida de biodiversidad es rápida y continua; durante los últimos 50 años con una distribución cada vez más urbana, con un aumento en nuestros patrones de consumo alimentarios, energéticos y de nuestra forma de vida, los seres humanos hemos cambiado los ecosistemas de forma más rápida y extensamente que en cualquier otro período comparable de la historia de la humanidad (CEPAL, 2018).

Deforestación; las causas actuales de la deforestación tienen que ver con la apertura de campos de cultivo y potreros, el desarrollo de infraestructura urbana y de comunicaciones, como la construcción de carreteras, de presas, caminos, explotación petrolera, viviendas, y desde luego los fenómenos naturales entre los cuales destacan los incendios, las inundaciones, los deslizamientos de tierra y los huracanes, entre otros (Guevara, *et al.*, 2018).

El impacto del crecimiento de la mancha urbana se refleja en la pérdida de cobertura forestal, cuando las ciudades crecen, el territorio circundante compuesto por áreas verdes,

zonas boscosas naturales, áreas rurales y tierras de cultivo es absorbido para construir casas, carreteras y satisfacer las necesidades de la población habitante (Aquino y Silván, 2013).

Cambio de uso de suelo: el cambio de uso de suelo para la agricultura y la ganadería extensiva es la principal causa de la alteración de hábitats naturales; asimismo, el establecimiento de nuevos centros urbanos y su constante expansión influyen negativamente en la riqueza biológica (Bojorges-Baños, 2009).

A pesar del problema que representa el suelo agrícola, el cambio de uso de suelo agrícola a suelo urbano impulsa con mayor fuerza la desaparición de este recurso natural y agrava los problemas medio ambientales. La urbanización del suelo agrícola fomenta la saturación de la infraestructura y servicios básicos existentes, la escasez de alimentos y agua para la población, el aumento del calor, así como la desaparición de la biodiversidad (Soto, 2015).

Si bien las áreas urbanas ejercen los mayores efectos sobre el medio ambiente, a diferencia de lo que se cree, muchos de los problemas ambientales vienen de áreas urbanas pequeñas y no de las zonas urbanas con mayor extensión, la magnitud del impacto ambiental es determinada por la conducta de la población, su perfil de consumo y forma de vida (Boyle, 2016).

El problema radica en el crecimiento desmesurado de los núcleos urbanos y que a escala nacional y mundial, la estructura y composición de las ciudades van modificando la naturaleza, los usos de suelo y el consumo de recursos (Romero y Moscoso, 2007).

Los procesos de cambio global como el cambio climático, contaminación, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, etc. dependen del aumento de las actividades urbanas, a pesar de la amplia aceptación del desarrollo sustentable para orientar el crecimiento urbano actual y futuro, poco se ha avanzado en trascender de lo normativo a esquemas operativos que promuevan el equilibrio deseado en el crecimiento urbano (Bonilla y Sánchez, 2007).

En América Latina, el proceso de urbanización ha sido intenso y el crecimiento urbano, muy acelerado (García, 2011). Es necesario entender que los vínculos de actividades humanas y los cambios globales requieren de conocimientos científicos confiables ya que los efectos de la expansión urbana incluye impactos no solo sobre los recursos ambientales y áreas naturales, sino también sobre los ambientes rurales, la salud, y la calidad de vida (Ballesteros y Daponte, 2011).

1.4 Contaminación de suelos por urbanización

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida, y puede definirse como un sistema natural fortalecido a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico (De la Rosa, 2008); es vulnerable a las actividades antropogénicas, de difícil y larga recuperación ya que tarda desde miles a cientos de miles de años en formarse, y es de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable (Silva y Correa, 2009).

Actualmente la contaminación del suelo tiene relación con el crecimiento de la población, la generación de basura, desechos industriales, mineros, etc. (Bermúdez, 2010), como consecuencia, se pueden presentar cambios en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que pueden afectar nocivamente la vida humana y/o de especies de plantas y animales (Atilio, 2013).

En nuestras sociedades, el recurso suelo no goza de la misma consideración y del mismo aprecio que los demás recursos naturales, como, por ejemplo, el agua, los bosques o los yacimientos minerales, porque no es un bien directamente consumible y también porque existe la creencia común pero errónea de que los suelos son renovables. Probablemente es por esta razón que la sociedad se siente menos afectada por la degradación de suelos que por el agotamiento de otros recursos naturales (Lezama y Graizbord, 2010).

En 1982 la FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) estableció la Carta Mundial de los Suelos, en el que definió que la degradación es la pérdida total o parcial de la productividad cualitativa y/o cuantitativa de los suelos debida a procesos como salinización, erosión, inundación, desertización y contaminación; a pesar de que la agricultura repercute directamente en la degradación de los suelos, la urbanización en los últimos años ha ocupado un lugar importante en las causas del deterioro de los suelos (García, 2008).

Al permitir las autoridades la modificación del uso de suelo agrícola a urbano se promueve la depreciación de este recurso que proporciona beneficios para los habitantes. El

aumento poblacional y la expansión de la zona urbana muestran que se debe efectuar una revalorización que estimule la preservación de este suelo y las actividades laborales propias del mismo (Soto, 2015).

Por lo tanto, el consumo y uso de suelo debe ser de particular preocupación, ya que es un recurso no renovable y los cambios en el uso de suelo pueden ser permanentes; los procesos originados por las actividades humanas reducen la capacidad actual o futura de los suelos para permitir la existencia de los ecosistemas, mantener o mejorar la calidad del aire y agua y para preservar la salud humana (SEMARNAT, 2007).

La sustitución de la cobertura vegetal por la cubierta asfáltica reduce la filtración de agua, afectando la cubierta vegetal aledaña y con ello acelera el proceso de degradación del suelo; al urbanizar, el ser humano vierte en el medio ambiente cantidades altas de elementos provocando la incorporación de metales puros o combinados a las redes tróficas afectando tanto a especies vegetales como a animales (Bayardo, 2013).

Por ejemplo, en la zona sur de la ciudad de México, los problemas de invasión, cambio de uso de suelo de natural a agrícola y de rural a urbano, así como la deforestación, han agudizado el desabasto de agua y la lenta recuperación de suelos. El cambio en la cobertura y uso de suelo afectan de 65 a 80 % de la superficie vegetal del país (Mejía, 2014).

Existen muchas fuentes antropogénicas de contaminación que afectan a los suelos agrícolas y/o urbanos, la contaminación de una fuente única predominante o fija puede tener un marcado efecto sobre la conservación de los suelos, vegetación y también en la salud de la población humana que habita en ese lugar, especialmente en los países en los que no hay controles de emisiones adecuadas y los niveles de calidad del suelo no son buenos (Alloway, 2012).

Como indicadores de la salud del suelo se han utilizado de forma mayoritaria parámetros físico-químicos (ej., pH, contenido en materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención hídrica, etc.); recientemente, los indicadores biológicos o bioindicadores de la salud del suelo han surgido con fuerza en este campo

debido a su mayor sensibilidad y rapidez de respuesta frente a las perturbaciones introducidas en el suelo (Garbisu, *et al.*, 2007).

Por lo anterior, es necesario estudiar las características particulares del suelo para determinar su grado de contaminación. El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, concentración de sales en la solución, etc. (Fernández, 2002).

La realidad es que el suelo es un indicador ambiental, y como recurso natural, es un elemento imprescindible que lo convierte en el soporte para la integración y estructuración de los asentamientos humanos. El hecho de que la cobertura del suelo este directamente relacionada con su uso, hace necesario que se identifiquen las tendencias de degradación, desertificación, contaminación o pérdida de biodiversidad, por lo tanto la importancia de controlar y orientar la ocupación del suelo tiene que radicar en encontrar un balance entre el hábitat natural y humano, para una futura conservación de este recurso (García, 2008).

1.5 Metales pesados en suelo y fuentes de producción

El término “metal pesado” suele utilizarse para hacer referencia a los elementos metálicos de la tabla periódica cuyos pesos específicos son mayores a 5 g/cm^3 , o que tienen un número atómico superior a 20; no obstante es una definición poco convencional y al considerarse sus propiedades físico-químicas y sus funciones biológicas para los seres vivos, algunos de estos metales pesados son esenciales, entre ellos destacan: Fe, Mn, Zn, Cu y Mo, mientras que el Cd, Pb y Hg resultan ser tóxicos (Mejía-Dominguez, 2011).

El contenido de metales pesados en suelo debería ser únicamente en función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo, pero la actividad humana ha incrementado el contenido de éstos en cantidades considerables (De la Rosa, 2008).

Los metales pesados geogénicos son los que pasan de la roca madre al suelo tras ser liberados por meteorización y se constituyen junto a otros procedentes de emisiones volcánicas y lixiviados de mineralizaciones; por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. (Galán y Romero, 2008).

México se encuentra localizado en una región volcánica rica en minerales, entre los estados que destacan por su contribución de la producción de metales y minerales siderúrgicos se encuentran: Baja California, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Zacatecas. Los elementos potencialmente tóxicos derivados de estos procesos son: Pb, Cd, Zn, As, Se, Hg (Volke-Sepulveda, *et al.*, 2005).

Los metales pesados derivados de diversas fuentes antropogénicas afectan a suelos agrícolas y urbanos (Xin, *et al.*, 2015). El suelo en emplazamientos industriales puede tener grupos distintos de metales pesados que dependen de las industrias, materias primas y sus productos que desarrollan. En las zonas urbanas el suelo presenta contenidos de Pb, Zn, Cd y Cu asociados a otros elementos que pueden ser o no asimilables por los organismos vivos (Alloway, 2012).

Los contaminantes se transportan rápidamente a través de ríos y aire hasta llegar al suelo donde tienden a acumularse, por esta razón, el suelo actúa como un receptor de la mayor parte de los contaminantes. Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados en suelo están relacionadas con diferentes tipos de actividades:

Actividades agrícolas. En este tipo de actividades, el riego con aguas negras, la utilización de fertilizantes inorgánicos, el uso de pesticidas para control de plagas que afectan la producción, el uso de estiércol para incrementar el contenido de nutrientes en el suelo, el uso de cambios de pH del suelo utilizando calizas y sobre todo lodos residuales, incrementan los contenidos de elementos metálicos de alto riesgo para la salud humana.

Generación de energía eléctrica. Algunos elementos minoritarios tóxicos como Pb, Ni y V son emitidos al medio ambiente por la generación de electricidad por las centrales térmicas, los elementos se dispersan en el aire, suelo y agua y en consecuencia generan contaminación de las mismas.

Actividades industriales. Las principales industrias contaminantes son las fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados a las menas de Fe y Ni; así como la fabricación de baterías que produce cantidades considerables de Pb y Cd, las industrias de productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes de curtido de pieles, etc., también producen distintos tipos de contaminantes que incluyen As, Cd, Cr, Hg, Fe, Ni, Pb y Zn que producen graves problemas de salud humana y también contaminan al suelo en diferentes grados.

La actividad industrial y el tráfico automotor cumplen un rol importante en la formación de partículas y participan directa e indirectamente en la formación de aerosoles secundarios; en consecuencia, la concentración de partículas en áreas urbanas es alta comparada con áreas no urbanas (Machado, *et al.*, 2008).

La emisión de metales pesados por el tránsito vehicular es una importante fuente de contaminación, sin embargo, se ha llevado a cabo poca investigación para determinar cómo influyen otras variables como: clima, vegetación al lado del camino, altitud, ancho, tipo de

terreno y cantidad de edificaciones para determinar el grado de influencia de las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en el suelo (Zhang, *et al.*, 2012).

Asimismo, existe preocupación a nivel mundial con relación a la contaminación por transporte atmosférico de metales pesados a gran escala, debido a su capacidad de asociación a masas de aire; por efectos de la recirculación de los vientos, dichos metales tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen (Machado, *et al.*, 2008).

La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino también de las características del medio donde se encuentre de manera que la sensibilidad de los suelos a la agresión que tiene lugar por parte de los agentes contaminantes va a depender de sus características edáficas (Roca, 2016).

1.6 Efecto contaminante de los metales pesados

La peligrosidad de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados por métodos químicos, ni biológicos, y además, tienden a acumularse en los organismos vivos y sus concentraciones aumentan a medida que se habitúan, provocando diferentes efectos tóxicos a los organismos (MAP, 2018).

El principal problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso, no se detecta fácilmente y sobre todo que es de alto riesgo para la salud; en el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos tales como dolores crónicos, problemas sanguíneos, enfermedades de la piel, sustitución de Pb por el Ca en los huesos, efectos cancerígenos, etc. (Eróstegui-Revilla, 2009).

A nivel global, se han reportado casos que dan cuenta de las afectaciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados, un caso relevante ocurrió en Japón en donde la población ubicada abajo de una zona minera de explotación de Zn, Pb y Cu, se vio afectada por el consumo de arroz proveniente de cultivos contaminados con Cd, como consecuencia de las infiltraciones del agua ácida de mina a las zonas de cultivo (Reyes, *et al.*, 2016).

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, tanto en México como en el mundo, se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y grado de afectación; en nuestro país se han realizado diversas evaluaciones, sus resultados no son comparables ya que varían en correspondencia a las causas de la contaminación del suelo, ya sea de manera natural, industrial, minera, refinerías, entre otras (SEMARNAT, 2012).

La evaluación de la calidad ambiental del suelo en el área metropolitana de la Ciudad de México se puede utilizar como base para un programa de seguimiento regular de la aplicación de medidas de control de la contaminación más adecuada (Morton-Bermea, *et al.*, 2009); los análisis de suelo pueden garantizar la eficiencia del desarrollo urbano y ayudar a mejorar la calidad de vida.

El proceso de urbanización reciente de nuestro país, impone una serie de retos que incentiven el uso sustentable de los recursos naturales y fortalezcan las medidas de adaptación y mitigación ante el cambio climático y la disminución de la contaminación (CONAPO, 2012).

Por lo anterior la justificación del presente estudio sobre metales en suelos superficiales de zonas urbanas es muy importante para identificar las áreas con altos niveles de metales tóxicos y evaluar las fuentes de contaminación, por las implicaciones mineras y el rápido crecimiento poblacional en la ciudad de Pachuca es necesario evaluar la contaminación de suelo por metales pesados a lo largo de un gradiente de urbanización que pueden representar un riesgo para la salud humana.

1.7 Objetivo general

Evaluar el grado de contaminación de suelo por metales pesados en un gradiente de urbanización de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

1.8 Objetivos específicos

- Evaluar el contenido de elementos metálicos presentes en suelo por técnicas espectrofotométricas de absorción y emisión atómica.
- Correlacionar las diferentes variables en el análisis de suelo con el gradiente poblacional.

1.9 Hipótesis

En las zonas más urbanizadas con mayor densidad de población, alta densidad y/o tráfico vehicular y con mayor edad de construcción, se encontrará una mayor concentración de elementos metálicos tóxicos.

CAPÍTULO II

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Selección de sitios de muestro

En principio se seleccionaron 12 sitios de muestreo con diferente grado de urbanización en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, considerando que los sitios deben ir desde el centro de la ciudad hacia las periferias, manteniendo una distancia mínima entre ellos de 2 km, evitando tomar muestra de los jales mineros de la ciudad debido a que éstos presentan alto grado de contaminación por las actividades mineras de la ciudad.

Para los 12 sitios de colecta se tomaron los datos de georreferenciación para tener un mayor control de los sitios, a continuación se muestra un ejemplo en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de georreferenciación de los sitios de colecta.

Gradiente de urbanización	0-1 años	2-36 años	>37 años
Sitio	Praderas de Virreyes	UAEH CC	Maestranza-Ciclopista
Coordenadas	LN 20° 02' 20.94''	LN 20° 07' 41''	LN 20° 07' 11.17''
	LO 98° 42' 22.73''	LO 98° 44' 04''	LO 98° 44' 54.42''
Sitio	Carretera Real del Monte-Virgen	Chacón-Saucillo	Parque de Poblamiento
Coordenadas	LN 20° 08' 01.78''	LN 20° 04' 44.56''	LN 20° 7' 0.508''
	LO 98° 42' 25.34''	LO 98° 44' 17.53''	LO 98° 45' 53.09''
Sitio	Concepción-La Salle	Matilde-Ejido	Ciprés no me olvides
Coordenadas	LN 20° 08' 10.59''	LN 20° 01' 49.71''	LN 20° 07' 20.3''
	LO 98° 48' 6.74''	LO 98° 48' 05.17''	LO 98° 44' 03.4''
Sitio	Sahagún-Pachuca, San Vicente	Montessori-Arboledas	PEMEX-Río de las avenidas
Coordenadas	LN 9° 59' 58.52''	LN 20° 05' 0.35''	LN 20° 05' 36.52''
	LO 98° 48' 6.74''	LO 98° 47' 13.42''	LO 98° 44' 54.77''

En este gradiente se seleccionaron zonas con construcciones de diferentes edades (años de edificación) obtenidas del sistema Ciudades Capitales: Una visión histórica-urbana para el estado de Hidalgo el cual muestra los cortes de crecimiento de diversas ciudades. Los sitios de colecta fueron considerados para realizar otros estudios de carácter ambiental (Hernández-Medina, 2018) y que se presentan en la Figura.1

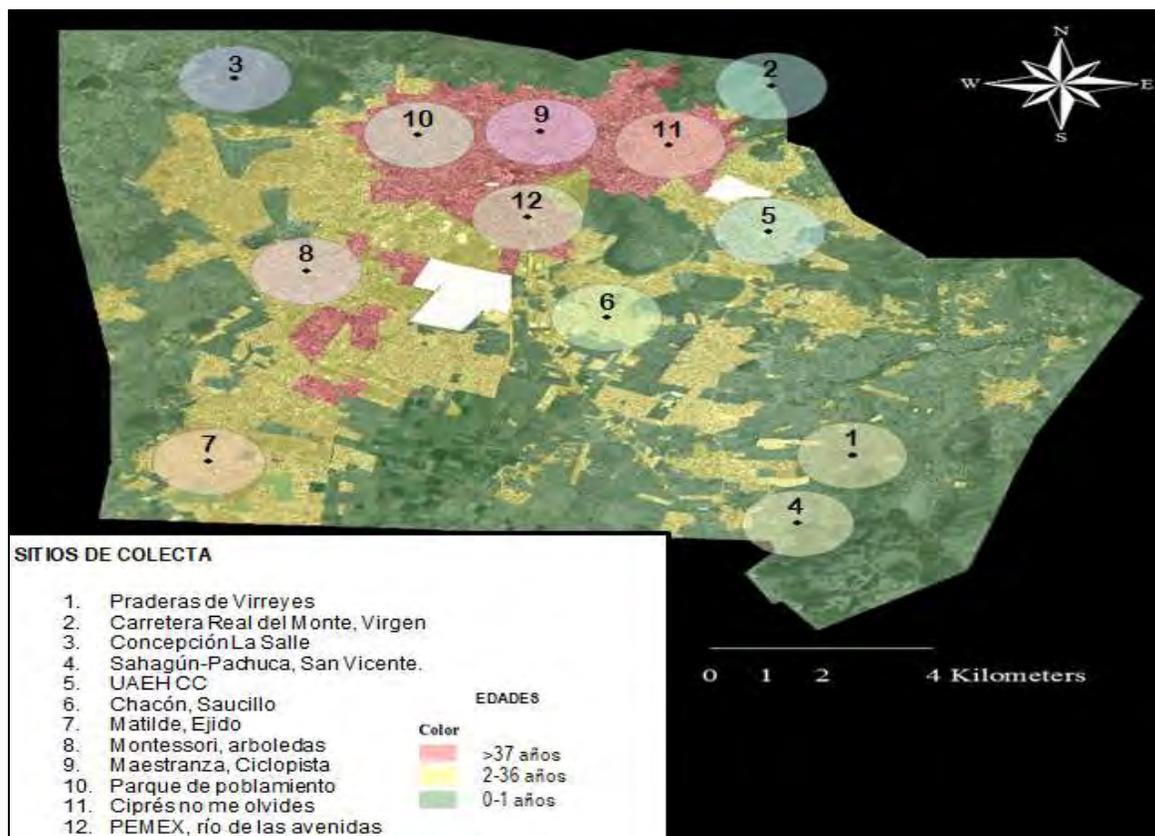


Figura 1. Sitios de colecta de muestras de suelo para análisis de elementos metálicos (Hernández-Medina, 2018).

2.2 Colecta de muestras

Las muestras se colectaron en los meses de septiembre y octubre en los 12 sitios que se muestran en la figura 1, ya que en estos meses hay escasez de lluvia y se evitan los lixiviados de los metales, por lo que el suelo se mantiene seco. Se seleccionaron terrenos baldíos, jardines, parques, camellones en donde existen organismos y suelo expuesto entre las edificaciones de la ciudad. En cada sitio se tomaron con ayuda de una pala, 3 sub

muestras para mezclarlas y formar una muestra compuesta que fuese representativa del suelo superficial. Se colocaron dentro de bolsas de plástico herméticas con sus datos de geo-referencia (sitio de colecta, fecha, coordenadas) y se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis (Vidal-Otálora, 2014).

2.3 Análisis en laboratorio

Las muestras se colocaron sobre una superficie plana y se dispersaron en forma homogénea para que se secaran a temperatura ambiente durante dos días, posteriormente se tamizaron utilizando el tamiz No 10 que corresponde a una malla < 2 mm, dejando pasar las partículas menores a 2 mm (Fernández, 2002).

Para determinar el pH de las muestras de suelo, se utilizó un potenciómetro de la marca Conductronic modelo pH 120 previamente calibrado con soluciones buffer certificadas de pH = 4.00 y 7.00. Se prepararon mezclas de pasta de suelo utilizando 10 g de muestra, se adicionaron 20 mL de H₂O y se pusieron en agitación durante 5 min y se dejaron reposar 5 min, esto se realizó durante 30 min, en forma intermitente; posteriormente se tomó la lectura de pH_{1:2} de acuerdo a la normativa oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Fernández, 2002).

Para la determinación de los elementos totales presentes en el suelo, se pesaron 0.2 gramos de suelo de tamaño de partícula menor a 0.2 mm con precisión, se colocaron en vasos de digestión para horno de micro ondas, se les adicionó 5 mL agua desionizada, 5 mL de HF, 3 mL HNO₃, 1 mL de HCl y se sometió a digestión en un horno de microondas marca CEM, modelo MARS 5, utilizando el siguiente programa de digestión: rampa de temperatura y presión ambiental a 190 °C y 200 psi en 25 min, mantener a esta temperatura y presión durante 15 min y dejar enfriar durante 10 min; se utilizó una potencia del equipo de 1200 W; se dejaron enfriar los vasos a temperatura ambiente, se les adicionó 35 mL de H₃BO₃ al 4% y se realizó una segunda digestión llevando de temperatura y presión ambiental a 190 °C y 200 psi en 15 min, se mantuvo a esta temperatura y presión por 15 min y se dejó enfriar durante 10 min, la potencia utilizada para esta segunda etapa de

digestión fue de 600 W; las muestra se dejaron enfriar y se aforaron a un volumen de 50 mL con agua desionizada.

La determinación de metales solubles se realizó con 10.0 g de muestra más 35 mL de agua desionizada, se mantuvo en agitación constante durante 1.0 h, se filtró en papel filtro y se centrifugó durante 10 min a 3000 rpm, se colectó el sobrenadante, se le adicionó 1.0 mL de HNO₃, se aforó a 50 mL y se mantuvo en refrigeración hasta su lectura.

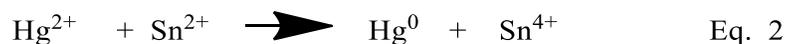
Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro de emisión de plasma por acoplamiento inductivo (ICP) marca Perkin Elmer, Modelo 8300 con un flujo del gas de plasma de 8.0 mL/min, flujo del gas auxiliar de 0.8 mL/min, potencia de radio frecuencia (RF) de 1200 W y flujo de inyección de la muestra de 1.0 mL/min. El equipo se calibró con un estándar multielemental certificado de los elementos a analizar.

Para la determinación de As, se tomó 1.0 mL de solución de las muestras preparadas para leer por ICP se colocó en un matraz volumétrico de 25 mL, se le adicionaron 10 mL de H₂O desionizada, más 1.0 mL de KI y ácido ascórbico al 5% c/u y 3 mL de HCl; se agitaron y se dejaron reposar por 20 min para realizar la pre-reducción de arsénico (V) a arsénico (III), se llevaron al volumen para su análisis por espectroscopia de absorción atómica por la técnica de vapor frio (Davidowski, 1993). En el análisis se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de la marca de Varian, Modelo 880 con lámpara de As a una $\lambda = 193.7$ nm de emisión, Intensidad corriente de 10 mA, una celda de cuarzo, un generador de hidruros con un flujo de HCl 7 M y NaBH₄ al 0.5% de 1.0 ml /min cada uno y el flujo de introducción de la muestra es de 8.0 mL/min; el equilibrio que se estableció está dado por el equilibrio 1.



El mercurio fue determinado utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con la técnica de vapor frio, para lo cual las muestras preparadas para el análisis multielemental se utilizaron para la determinación de Hg. Se utilizó un generador de hidruros de la Marca Varian modelo VGA 77 con SnCl₂ al 20 % en HCl al 25% con un flujo de 1.0 mL/min, HCl al 50 % a un flujo de 1.0 mL/min y la muestra a un flujo de 8.0

mL/min. La reacción del mercurio en solución con el agente reductor produce Hg atómico muy volátil como se muestra en el equilibrio 2.



El vapor de mercurio es conducido con $\text{N}_{2(g)}$ hacia una celda colocada en el paso del haz de la luz, donde ocurre la interacción entre los átomos de Hg y la radiación, produciéndose la absorción, que posteriormente es registrada por el software del equipo (Rivera y Valencia, 2013).

2.4 Cálculos

Para el análisis de metales se realizaron tres réplicas de cada sitio y se obtuvieron los valores promedio utilizando los datos proporcionados por las curvas de calibración de cada uno de los estándares analizados.

Para determinar el contenido de elementos en la muestra se utilizó la ecuación 1.

$$C_r = \frac{C_l \times V_{af} \times F_d \times 1000}{P_m} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

C_r es concentración real (mg/Kg)

C_l es concentración leída en el equipo (mg/L)

V_{af} es el volumen de aforo de la solución preparada (L)

F_d es el factor de dilución que corresponde al cociente del volumen de aforo (mL) de una alícuota (mL) tomada de la dilución original y es adimensional

P_m es el peso de la muestra que se utilizó en la digestión del suelo

2.5 Conversión de elementos a óxidos

Es necesario conocer el equilibrio de la formación de los óxidos a partir de los elementos para determinar la relación del número de átomos del elemento de interés que se requieren para la formación de compuesto. Así por ejemplo en el equilibrio 3 se muestra la formación del Na₂O.



Sabiendo la fórmula del compuesto y el número de átomos del elemento de interés se determina mediante las ecuaciones 2 y 3.

$$F_g = \frac{\text{Peso Molecular del compuesto}}{\text{Peso Atómico del elemento} \times \text{Número de átomos}} \quad \text{Ec. 2}$$

A partir de los pesos atómicos de los elementos

$$\% \text{ Óxido} = \frac{C_r \times F_g}{10000} \quad \text{Ec. 3}$$

C_r es la concentración real del elemento (mg/L)

F_g es el factor gravimétrico (adimensional)

CAPÍTULO III.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Potencial de Hidrógeno de los suelos analizados

Los valores de pH determinado en el suelo de los sitios de colecta se muestran en la tabla 2 (*ver Anexo. Tabla 1A*), son ligeramente ácidos y se encuentran en el rango de 5.60 - 7.31. Se observa que el pH del suelo donde las construcciones son escasas y recientes (0 - 1 años) es ligeramente menos ácido, mientras que en las que otras donde las construcciones datan de 1-37 años y > 37 años, los pH son similares, pero se muestra una mayor desviación estándar en el suelo de construcción media, esto se debe a que en el suelo de Matilde el pH fue el más ácido, esto probablemente al flujo continuo de vehículos por ser la principal vía hacia la Cd. de México y que emiten contaminantes que disminuyen el pH del suelo.

Tabla 2. pH de suelo en áreas cercanas a edificios construidos en diferentes periodos de tiempo en la Ciudad de Pachuca Hgo.

0-1 años	pH	2-36 años	pH	>37 años	pH
Praderas de Virreyes	6.74	UAEH CC	7.02	Maestranza - Ciclopista	7.04
Carretera Real del Monte-Virgen	6.57	Chacón-Saucillo	7.22	Parque de Poblamiento	6.30
Concepción la Salle	7.25	Matilde	5.60	Ciprés no me Olvides	6.30
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	7.31	Montessori Arboledas	6.49	PEMEX río de las avenidas	6.70
Media	6.97	Media	6.58	Media	6.59
Desv. Est	0.37	Desv. Est	0.72	Desv. Est	0.36

Densidad de construcción de viviendas: 0-1 años, escasa; 2-36 años, baja; > 37 años, alta

Se ha observado que en suelos contaminados y con pH ácido, la actividad de los microorganismos disminuye y hay mayor presencia de metales pesados (Campillo y Sadzawka, 2006) porque son lixiviados al medio, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino (Galán y Romero, 2008).

En la tabla 2. Se presentan 8 sitios de muestreo con un pH cercano a la neutralidad o alcalino ($\text{pH} \geq 6.5$), de los cuales 2 corresponden al gradiente > 37 a años de construcción, 2 al de 2-36 años y 4 al gradiente 0-1 años que no presenta construcción. En sitios con ese

pH, la abundancia de iones OH^- produce la precipitación de compuestos insolubles de Fe, Mn, Cu y Zn, de tal manera que estos micronutrientes se vuelven no-disponibles para su absorción por las raíces de las plantas (Osorio, 2012). Los otros cuatro sitios presentan un $\text{pH} < 6.5$ correspondiendo 2 al rango de 2-36 años y 2 al rango de > 37 años.

Los sitios de colecta que se presentan en suelos con pH alcalino pueden ser los sitios más satisfactorios para el crecimiento de la gran mayoría de las plantas, actividad de los microorganismos y la asimilación de los nutrientes ya que los agentes químicos y biológicos están en equilibrio (Montico, 2017).

El suelo alcalino contiene altas concentraciones de Ca y Mg debido a la presencia de carbonatos, este tipo de suelo no presenta problemas de toxicidad por aluminio y/o manganeso, debido a que los óxidos de estos elementos son ligeramente solubles y en bajas concentraciones son necesarios para el funcionamiento de ciertos órganos de los sistemas vivos. Con pH mayor de 8.0 en el suelo se afecta la disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y P disminuyendo sus concentraciones debido a la formación de los hidróxidos correspondientes (Montico, 2017).

3.2 Óxidos metálicos presentes en el suelo

Los elementos mayoritarios son los que se expresan en una abundancia del 1% ó >10.000 ppm, como son; Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P. Alguno de estos elementos, como el Al o el Mn pueden presentar toxicidad para algunos seres vivos en determinadas condiciones (Macías y De Anta, 2016).

A partir de los elementos mayoritarios analizados por ICP se determinaron los porcentajes de óxidos de éstos elementos. Debido a que sus porcentajes son relativamente altos no se observa claramente alguna variación significativa en cuanto a los porcentajes de Al_2O_3 y SiO_2 , sin embargo se observa que con el incremento de construcciones el contenido de

MgO disminuye y el contenido de K_2O se incrementa como se puede observar en la tabla 3 (ver Anexo. Tabla 2A, Figura 1A, Tabla 3A).

Tabla 3. Porcentajes promedio de óxidos de elementos mayoritarios en suelo con gradiente temporal de construcción en Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	% de óxidos					
	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
0-1 años						
Praderas de Virreyes	21.7	58.1	2.4	1.4	2.6	6.2
Carretera Real del Monte-Virgen	21.8	59.8	1.1	1.6	2.5	6.2
Concepción la Salle	23.9	59.0	2.1	1.6	2.2	4.5
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	18.2	58.5	3.3	1.2	3.2	5.8
Media	21.4	58.9	2.2	1.4	2.6	5.7
Desv. Est	2.4	0.7	0.9	0.2	0.4	0.8
2-36 años						
UAEH CC	20.9	59.2	2.4	1.2	3.2	5.5
Chacón-Saucillo	17.4	56.6	3.2	1.0	3.8	7.2
Matilde	22.9	57.5	1.8	1.2	2.4	7.1
Montessori Arboledas	22.3	53.8	2.6	1.7	2.5	5.0
Media	20.9	56.8	2.5	1.3	3.0	6.2
Desv. Est	2.5	2.3	0.6	0.3	0.7	1.1
>37 años						
Maestranza Ciclopista	9.8	63.5	1.9	0.8	1.7	2.6
Parque de Poblamiento	22.8	61.9	2.0	1.5	3.4	5.1
Ciprés no me Olvides	17.4	54.6	2.9	1.4	3.1	4.7
PEMEX río de las avenidas	18.7	60.4	2.2	1.1	3.7	6.8
Media	17.17	60.11	2.23	1.21	2.98	4.79
Desv. Est	5.41	3.88	0.44	0.29	0.89	1.74

3.3 Elementos metálicos minoritarios totales de suelo

Los elementos minoritarios son aquellos que se presentan en una abundancia intermedia (1000-10.000 ppm). Son importantes ya sea por ciertas cualidades que les confieren valor económico, o por ser trazadores de procesos geológicos pero sobre todo ambientales. En este grupo se incluyen elementos que pueden presentar toxicidad en determinadas situaciones como Ba, Sr, Cr, Ni, Zn, Cu y Li (Macías y De Anta, 2016).

Los elementos minoritarios totales indican que el Cr varía directamente proporcional con los años de las construcciones, el Sr y Ti lo hacen en forma inversa y Cu Li y Mn no presentan una tendencia con respecto al rango de construcción como se muestra en la tabla 4 (*ver Anexo*. Tabla 4A, Figura 2A, Tabla 5A) Es importante mencionar que no fue posible evaluar el contenido de Fe debido a problemas técnicos con el equipo sin embargo este presenta porcentajes que varían entre 5 y 10 %.

Las concentraciones elevadas de Mn con diferencias de más del doble de mg/Kg por muestra de suelo en comparación con el resto de los metales presentes, se debe a que es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Se encuentra en la tierra, los sedimentos, las rocas, el agua y los productos biológicos. El compuesto tricarbonilo de manganeso se ha utilizado como aditivo del *fuel-oil*, como inhibidor de humos y como antidetonante en gasolinas, al menos un centenar de minerales contienen Mn (Nordberg, 2001).

Actualmente el estado de Hidalgo es un importante productor de Mn en el país, con una producción de 192,166.00 toneladas registradas tan solo para el año 2015 (SGM, 2016).

Tabla 4. Contenido de elementos minoritarios totales en suelo con gradiente temporal de construcción en Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg					
	Cr	Cu	Li	Mn	Sr	Ti
0-1 años						
Praderas de Virreyes	74.6	63.3	74.9	568.2	23.6	407.7
Carretera Real del Monte-Virgen	82.9	61.7	58.0	628.9	23.9	474.1
Concepción la Salle	83.8	69.7	84.2	572.8	23.2	417.4
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	65.8	72.6	73.9	576.6	19.3	290.6
Media	76.8	66.8	72.7	586.6	22.5	397.4
Desv. Est	8.4	5.2	10.9	28.4	2.1	77.0
2-36 años						
UAEH CC	66.2	74.5	80.5	616.0	20.0	325.9
Chacón-Saucillo	58.4	58.5	76.3	496.5	19.3	250.6
Matilde	89.1	62.9	96.3	621.1	19.8	395.5
Montessori Arboledas	95.8	61.8	67.3	597.7	24.7	453.0
Media	77.4	64.4	80.1	582.8	20.9	356.2
Desv. Est	17.9	7.0	12.1	58.4	2.5	87.5
>37 años						
Maestranza Ciclopista	104.3	254.6	46.0	687.5	10.3	200.4
Parque de Poblamiento	57.7	71.8	79.3	553.5	21.9	386.4
Ciprés no me Olvides	84.5	63.1	83.9	629.6	28.6	355.4
PEMEX río de las avenidas	66.4	77.8	72.2	677.4	17.0	242.3
Media	78.2	116.8	70.4	637.0	19.5	296.1
Desv. Est	20.7	92.0	16.9	61.1	7.7	88.9

El Cd no fue analizado

3.4 Elementos metálicos minoritarios solubles en suelo

Se observa en la tabla 5 (*ver Anexo. Tabla 6A*) que las concentraciones de Sr, Zn y Li aumentan ligeramente con el incremento de construcciones en los sitios, sus concentraciones son mínimas pero es necesario tomarlas en cuenta debido al uso de materiales tales como pilas que se desechan y pueden generar problemas ambientales a largo plazo.

Por otra parte se observa que la concentración de Cd y Ag son muy pequeñas y no varían en los diferentes periodos de construcción.

El Mn y el Al incrementan sus concentraciones con el aumento de los años de construcción en los dos primeros periodos, sin embargo en el último la concentración se ve disminuida, esto probablemente debido al mantenimiento que se les da a los jardines y prados para la recuperación de los nutrientes del suelo.

El Bi en los dos primeros periodos se mantiene constante pero en el último periodo se incrementa ligeramente, podría decirse que se mantiene constante.

Tabla 5. Concentración promedio de elementos metálicos minoritarios solubles en suelo en un gradiente temporal de construcción de Pachuca, Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg							
	Cd	Mn	Sr	Bi	Zn	Al	Ag	Li
0-1 años								
Praderas de Virreyes	0.04	0.27	0.21	0.55	0.02	9.50	0.03	0.11
Carretera Real del Monte-Virgen	0.04	0.15	0.14	0.58	0.10	8.54	0.03	0.11
Concepción la Salle	0.04	0.11	0.16	0.59	-0.04	4.80	0.03	0.11
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	0.04	0.14	0.19	0.54	0.02	5.23	0.03	0.11
Media	0.04	0.17	0.17	0.56	0.02	7.02	0.03	0.11
Desv. Est	0.00	0.07	0.03	0.02	0.06	2.35	0.00	0.00
2-36 años								
UAEH CC	0.04	0.08	0.22	0.57	-0.04	3.20	0.03	0.12
Chacón-Saucillo	0.04	0.18	0.20	0.63	0.03	3.72	0.03	0.12
Matilde	0.04	0.63	0.18	0.51	0.09	20.49	0.03	0.12
Montessori Arboledas	0.04	0.43	0.17	0.53	0.16	10.20	0.03	0.11
Media	0.04	0.33	0.19	0.56	0.06	9.40	0.03	0.12
Desv. Est	0.00	0.25	0.02	0.05	0.08	8.05	0.00	0.01
>37 años								
Maestranza Ciclopista	0.04	0.06	0.33	0.59	-0.02	0.78	0.03	0.11
Parque de Poblamiento	0.04	0.35	0.20	0.52	-0.02	24.12	0.03	0.12
Ciprés no me Olvides	0.04	0.04	3.42	0.66	0.23	1.09	0.03	0.17
PEMEX río de las avenidas	0.04	0.12	0.14	0.55	0.08	3.54	0.03	0.11
Media	0.04	0.14	1.02	0.58	0.07	7.38	0.03	0.13
Desv. Est	0.00	0.14	1.60	0.06	0.12	11.23	0.00	0.03

Pb, Cr, Ba y Cu se encuentran en concentraciones menores a los límites de detección en todos los sitios.

3.5 Elementos metálicos traza insolubles en suelo

De los elementos insolubles determinados por diferencia de los metales totales y metales solubles se obtiene la tabla 6, en ésta se observa que la concentración del Sr disminuye mientras que la del Cr se incrementa con el transcurso de los años de construcción.

Por otra parte, la concentración de Cr insoluble se incrementa debido a que en las actividades antropogénicas se utiliza gran cantidad de compuestos de óxidos de Cr para diferentes tipos de industria entre ellos la textilera, para fabricar el acero inoxidable, galvanoplastia, grifería, catalizador, curtido de pieles y ampliamente utilizado en las pinturas para los automóviles (Nordberg, 2001).

El Cr representa un riesgo para la salud debido a los efectos nocivos que este elemento presenta, entre los que se encuentran: efectos respiratorios agudos, úlceras, dermatitis y efectos cancerígenos (Fernández y Guzmán, 2018).

Un estudio sobre contaminación por metales en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular en el estado de Zulia, Venezuela reportó que los límites de detección para Cr fue de 0.04 mg/Kg, presentando límites de entre 1.7–7.3 mg/Kg en una muestra de 0.5 Kg de suelo superficial urbano (Machado, *et al.*, 2008) como se puede observar, la totalidad de las concentraciones de Cr obtenidas en este estudio resultaron superiores.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SEMARNAT/SSA1-2004 la concentración de Cr en mg/Kg que se considera contaminante es de 280 para uso agrícola/residencial/comercial y 510 para uso urbano (Ardavin-Ituarte, 2007), las concentraciones media de los 3 gradientes es de 77.46 mg/Kg y no presenta solubilidad, por lo que no representaría un riesgo de contaminación que pueda afectar la salud de las personas, al menos en comparación con límites de la Norma Oficial Mexicana.

El Sr disminuye debido a los cambios de ambientes óxido-reductores, pH y temperatura, lluvia ácida y otros factores que hace que se lixivie al medio.

Se observa también que el Mn y el Li no presentan una tendencia definida en su comportamiento, sin embargo es necesario monitorear al Li debido al incremento de su uso en las baterías de diferentes tipos.

Tabla 6. Contenido de elementos metálicos minoritarios insolubles en suelo en un gradiente temporal de construcción de Pachuca, Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg			
	Cr	Mn	Sr	Li
0-1 años				
Praderas de Virreyes	74.6	567.9	23.4	74.8
Carretera Real del Monte-Virgen	82.9	628.8	23.8	57.9
Concepción la Salle	83.8	572.7	23	84.1
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	65.8	577.5	19.1	73.8
Media	76.78	586.7	22.33	72.65
Desv. Est	8.407	28.32	2.175	10.87
2-36 años				
UAEH CC	66.2	615.9	19.8	80.4
Chacón-Saucillo	58.4	496.3	19.1	76.2
Matilde	89.1	620.5	19.6	96.2
Montessori Arboledas	95.8	597.3	24.5	67.2
Media	77.38	582.5	20.75	80
Desv. Est	17.91	58.34	2.517	12.12
>37 años				
Maestranza Ciclopista	104.3	687.4	10	45.9
Parque de Poblamiento	57.7	553.2	21.7	79.2
Ciprés no me Olvides	84.5	629.6	25.2	83.7
PEMEX río de las avenidas	66.4	677.3	16.9	72.1
Media	78.23	636.9	18.45	70.23
Desv. Est	20.66	61.21	6.581	16.91

3.6 Elementos de As y Hg totales presentes en suelo

En cuanto al análisis de As y Hg totales en suelo, se presenta la tabla 7 (*ver Anexo*. Tabla 7A, Figura 3A, Tabla 8A, Tabla 9A, Figura 4A, Tabla 10A) donde observa que no hay una tendencia evidente de estos elementos, sin embargo sí se puede apreciar que hay una mayor concentración en áreas donde hay un mayor flujo de vehículos, como son: carretera Ciudad Sahagún-Pachuca y el centro de la ciudad.

Tabla 7. Análisis de As y Hg total en suelo de la Ciudad de Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg	
	Hg	As
NOM*	23	22
Europa ⁺	0.3	-
0-1 años		
Praderas de Virreyes	0.11	1.83
Carretera Real del Monte-Virgen	0.23	1.85
Concepción la Salle	0.19	1.18
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	2.39	1.36
Media	0.73	1.56
Desv. Est	1.11	0.34
2-36 años		
UAEH CC	0.67	0.97
Chacón-Saucillo	0.47	1.46
Matilde	0.17	2.43
Montessori Arboledas	0.59	1.20
Media	0.48	1.52
Desv. Est	0.22	0.64
>37 años		
Maestranza Ciclopista	1.05	1.21
Parque de Poblamiento	0.28	1.24
Ciprés no me Olvides	4.13	3.83
PEMEX río de las avenidas	7.29	1.73
Media	3.19	2.00
Desv. Est	3.20	1.24

(Ardavin-Ituarte, 2007)*; (Camargo García, *et al.*, 2015)[†].

Existen valores de referencia para niveles permisibles de As en México de 22 mg/kg para uso agrícola y 3260 mg/kg para uso industrial y para Hg es de 23 mg/kg para uso agrícola y 310 mg/kg para uso industrial, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSAI-2004 (Ardavin-Ituarte, 2007), por lo tanto los niveles presentados en la tabla 7 no representan un riesgo basados en los límites de la Norma Oficial antes mencionada.

En el marco del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa los límites permisibles de Hg son de 0.07-0.3 mg/kg (Camargo García, *et al.*, 2015) en este sentido, los sitios de muestreo tendrá niveles no permisibles de contaminación de Hg y sería importante abordar esta problemática, debido a los efectos dañinos que puede provocar a la salud humana.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

La evaluación realizada de suelo de la ciudad de Pachuca indica que algunas variables tales como pH, y el contenido de algunos elementos metálicos como el Cr y Cu se ven influidos por la incidencia de construcciones y las actividades antropogénicas en los sitios.

La dinámica urbana, como el tránsito vehicular, la minería, y el incremento poblacional hace necesario poner atención en todas las variables que se evaluaron en el gradiente, ya que no hay una tendencia significativa del incremento de las concentraciones de la mayoría de los elementos analizados.

Se observa que la presencia de Cr insoluble se incrementa con el gradiente de las construcciones, a pesar de que en esta forma no es asimilable, es necesario su monitoreo debido a sus efectos tóxicos a la salud pública.

El Hg y As respecto a la Normativa oficial Mexicana no presenta un riesgo para la salud, por lo cual proporciona evidencia para considerar el suelo de Pachuca como indicador de la calidad del suelo urbano debido a las bajas concentraciones que presenta; si se considerarán normativas internacionales, los niveles de Hg sí representarían un riesgo inminente para la salud.

Finalmente se concluye que las características del suelo han sido modificadas por el cambio de uso del suelo debido al incremento de las construcciones; como consecuencia se considera que elementos tóxicos en el aire y agua se han incrementado.

Se recomienda que en la planeación urbana sean tenidos en cuenta los análisis de suelo para garantizar la eficiencia del desarrollo urbano y considerarlo como un indicador asociado al mejoramiento de la calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfie, M., y Salinas, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(1), 65-96.
- Alloway, J. B. (2012). *Heavy metals of in soils*. Reading, Reino Unido: Springer
- Anzano, J. (2012). El proceso de urbanización en el mundo. *Proyecto Clío*. Recuperado de: <http://clio.rediris.es/n36/oposicones/tema09.pdf>
- Aquino, V., y Silván, J. (2013). Urbanización y deforestación, un vistazo desde el espacio. *Ciencia y Desarrollo*. Recuperado de: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/267/articulos/urbanizacion-deforestacion.html>
- Ardavin-Ituarte, J. (2007). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *NOM-127-SEMARNAT/SSAI-2004*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Atilio, E. (2013). Contaminación. *Ecología*. Recuperado de: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/007-contaminacion.pdf>
- Ballesteros, V., y Daponte, A. (2011). *Urbanismo, medio ambiente y salud*. Andalucía, España: OSMAN.
- Bayardo, T. (2013). Contaminación del suelo, causas y prácticas de conservación. *Los suelos y la vida*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/182354793/contaminacion-del-suelo-causas-y-practic-as-conservacion-doc>
- Bermúdez, M. (2010). Contaminación y turismo sostenible. *Contaminación*. Recuperado de: <http://galeon.com/mauriciobermudez/contaminacion.pdf>
- Bojorges-Baños, J. (2009). Amenazando la biodiversidad: Urbanización y sus efectos en la avifauna. *Ciencia y mar*, 8(9), 61-68.
- Bonilla, A., y Sánchez. (2007). *Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina*. São José dos Campos, Brasil: IAI, INE, UNEP.
- Bottino, R. (2009). La ciudad y la urbanización. *Estudios históricos*, 1(2), 1-14.
- Boyle, B. (2016). La urbanización: una fuerza ambiental considerable. *Urbanización y medio ambiente*. Recuperado de:

<http://www.prb.org/SpanishContent/2004/LaUrbanizacionUnaFuerzaAmbientalConsiderable.aspx>

- Camargo García, J., Arias Morales, P., & Muñoz Paredes, D. (2015). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta Agronómica*, 64(2),165-177.
- Campillo, R., y Sadzawka, A. (2006). La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. En *Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía*. Témuco, Chile: Ministerio de Agricultura.
- Carnicer, M. (2007). *Contaminación atmosférica*. Madrid, España: EOI.
- Castro, O. (2012). *Impacto urbano-ambiental en la ciudad de México generado por la urbanización. Estudio de caso: Santa Fe*. Ciudad de México, México: IPN-ESIA.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2018). *Daño y pérdida de biodiversidad*. CEPAL. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2012). *Catálogo Sistema Urbano Nacional 2012*. Ciudad de México, México: SEGOB.
- Davidowski, L. (1993). A simple continuous flow hydride generator for ICP-OES. En *Optima 3000. ICP. Application studies*. Connecticut, EUA: Perkin Elmer.
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Ciudad de México, México: Mundi-Prensa.
- Ducci, J., Zamora, V., y De la Peña , M. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Ciudad de México, México: BID.
- Eróstegui-Revilla, C. (2009). Contaminación por metales pesados. *Ciencia Médica*, 12(1), 45-46.
- Fernández, G., y Guzmán , A. (2018). Presencia antropogénica de Cromo en el ambiente y su impacto en la salud de los pobladores de las Toscas, Argentina. *Ambiente Ecológico*. Recuperado de: <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-aldoguzmanramos.html>
- Fernández, C. (2002). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *NOM-021-RECNAT-2000*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.

- Frers, C. (2018). Los problemas ambientales en las ciudades. *Waste Magazine*. Recuperado de: <http://waste.ideal.es/ambiente-ciudad.htm>
- Galán, E., y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 24(10), 48-60.
- Garbisu, C., Becerril, J., Epeldel, L., y Alkorta, I. (2007). Biondicadores de la calidad del suelo: Herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16(2), 44-49.
- García, C. (2011). El proceso de metropolización en América Latina. *Educar*. Recuperado de: <https://www.educ.ar/recursos/14629/el-proceso-de-metropolizacion-en-america-latina>
- García, E. (2008). *El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez Chihuahua (Tesis de maestría)*. Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, México.
- Granados-Alcántar, J. (2010). *Los nuevos residentes de Pachuca*. Pachuca, Hidalgo: UAEH.
- Granados-Alcántar, J. (2006). Las corrientes migratorias en las ciudades contiguas a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: el caso de la aglomeración urbana de Pachuca. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 22(3), 619-649.
- Guevara, S., Laborde, J., y Sánchez, G. (2018). La Deforestación. *INECOL*. Recuperado de: <http://www1.inecol.edu.mx/paisaje/documentos/PDFs/5%20La%20Deforestaci%C3%B3n%20p%C3%A1g%2085-1.pdf>
- Heredia, O., y Fernández, A. (2008). Importancia de las propiedades de los suelos en la determinación del riesgo de contaminación de acuíferos. *Ciencia del suelo*, 26(2), 1-12.
- Hernández-Medina, E. (2018). Reservas energéticas de abejas a lo largo de un gradiente de urbanización en Pachuca, Hidalgo. (*Tesis de maestría*). UAEH. Pachuca, Hidalgo.
- Kogan, J. (2016). América Latina: rápida urbanización, lento desarrollo. *El País*, pp. 17.
- Lezama, J., y Graizbord, B. (2010). *Medio ambiente*. Ciudad de México, México: Colegio de México.
- Londoño, L., Muñoz, P., y García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.

- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., y Velásquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 4(4),171-182.
- Macías, F., y De Anta, R. (2016). *Niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de Galicia*. Galicia, España: La Ibérica.
- Mejía, J. (2014). Caracterización del impacto de la sobreexplotación de agua por loss cambios de uso de suelo en los últimos 10 años en el DF. *MILENIO*. Recuperado de:http://www.milenio.com/df/UNAM-urbanizacion-riesgo-sur_del_DF-suelo_de_conservacion-uso_de_suelo_0_371363179.html
- Mejía-Dominguez, C. (2011). *Metales pesados en suelo y plantas: Contaminación y fitotoxicidad*. Huachu, Perú: Departamento Académico de Bomatología y Nutrición.
- MAP (Ministerio de agricultura y Pesca). (2018). Calidad y evaluación ambiental. *Metales pesados*. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx
- Montico, S. (2017). Principios para el manejo de situaciones con suelos salinos y alcalinos. *Agromensajes de la Facultad*, 40(3), 2-4.
- Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., González-Hernández, G., Romero, F., Lozano, R., Y Beramendi-Orozco, L. (2009). Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration*, 101(3), 218-224.
- Moya, M. (2001). El proceso de urbanización de América Latina durante el período Científico-Técnico. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(29), 42-50.
- National Geographic. (2010). La contaminación del aire. *National Geographic*. Recuperado de: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire>
- Nordberg, G. (2001). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid, España: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). (2014). *Fiscalización ambiental en Aguas Residuales*. Lima, Perú: OEFA.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018). Urbanización y salud humana. *OMS*. Recuperado de: <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/urbanization/es/>

- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2014). World urbanization prospects the 2014 revision. *United Nations*. Recuperado de: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2016). *Urbanización y desarrollo: futuros emergentes*. ONU. Recuperado de: <http://nua.unhabitat.org/uploads/Reportedelasciudades2016.pdf>
- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4.
- Pineda, J. (2018). Perdida de biodiversidad. *Temas Ambientales*. Recuperado de: <http://www.temasambientales.com/2017/03/perdida-de-biodiversidad.html>
- Refoyo, P., y Muñoz, B. (2013). Perdida de biodiversidad, responsabilidad y soluciones. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Madrid: Real Sociedad Española de Historia Natural.
- Rivera, M. P., y Valencia, H. J. (2013). *Validación de la metodología para el análisis de Mercurio en agua trada y cruda y estandarización del análisis de Mercurio en pescados por el método de absorción atómica-vapor frío*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Roca, A. (2016). Contaminación de suelo por metales pesados. *INFOAGRO*. Recuperado de: http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm
- Rodarte, R., y Galindo, E. (2016). *Espacio rural, espacio urbano el eterno conflicto, el valle de Pachuca, Hidalgo*. Mérida, Yucatán: AMECIDER.
- Romero, H., y Moscoso, C. (2007). *Cambios en los usos de suelo y sus efectos sobre la escorrentía humana*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Ruiz, C., y Caro, J. (2012). *Estudio Paisajístico del Proyecto de Actuación del Área Lógica de Interés Autonómico de Majarabique*. Sevilla, España: Junta de Andalucía.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2007). *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo*. Ciudad de México, México: SEMARNAT.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). En *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*. Ciudad de México, México: SEMARNAT.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). Residuos. En *Informa de la situación del Medio Ambiente en México*. Ciudad de México, México: SEMARNAT.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. *SEMARNAT*. Recuperado de: <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema1>
- SGM (Servicio Geológico Mexicano). (2016). Panorama Minero del Estado de Hidalgo. *SGM*. Recuperado de: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/HIDALGO.pdf>
- Silva, S., y Correa, F. (2009). *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. (Tesis de Maestría no publicada)*. Universidad de Medellín. Colombia.
- Soto, J. (2015). La modificación del suelo agrícola a urbano en el municipio de Texcoco, estado de México. *Espacio I+D*, 5(10), 1-6.
- Vargas, P. (2011). La conflictividad en el proceso de metropolización de la ciudad de Pachuca. *Papeles de Población*, 17(68), 127-146.
- Vegara, A. (2009). La planificación urbanística y sus implicaciones en el mundo en globalización. *Revista sobre la sociedad del conocimiento*. 7(8), 3-4.
- Vidal-Otálora, M. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Lima, Perú: MAVET.
- Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J., y de la Rosa Pérez, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo*. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Xin, W., Bo, G., Peng, W., Huaidong, Z., y Jin, L. (2015). Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112(15), 186-192.
- Zhang, F., Xuedong, Y., Chen, Z., Man, Z., Suraj, S., Tandong, Y., y Lochan, D. (2012). Influence of Traffic Activity on Heavy Metal Concentrations of Roadside Farmland Soil in Mountainous Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5), 1715-1731.

GLOSARIO

A

Analito: hace referencia a una sustancia, la cual puede ser un ion, un elemento, o incluso un compuesto determinado, que posee un interés en nuestra muestra, pues es la parte que deseamos analizar.

Antropización: toda intervención de las sociedades humanas sobre los elementos naturales.

B

Buffer: sistema constituido por un ácido débil y su base conjugada, o por una base y su ácido conjugado que tiene capacidad tamponante, es decir, que puede oponerse a grandes cambios de pH (en un margen concreto) en una disolución acuosa.

C

Coloide: se emplea para nombrar a aquella sustancia que, al encontrarse en un líquido, se dispersa poco a poco.

E

Edafogenéticos: procesos simples y procesos específicos de formación de suelos.

Espectrofotómetro: es un aparato que se basa en la medición de la absorbancia de una radiación electromagnética a una longitud de onda característica del elemento a medir. Es necesario para la medida que el elemento se encuentre en su forma atómica.

G

Galvanoplastia: es el proceso en el que, por medio de la electricidad, se cubre un metal sobre otro; a través de una solución de sales metálicas (electrólisis).

Geogénico: parte de la geología que trata del origen y formación de la Tierra.

Grifería: conjunto de grifos y llaves que sirven para regular el paso del agua.

I

ICP: técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica

L

Lixiviación: se llama así al fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables, causado por el movimiento de agua en el suelo. Esto provoca que algunas capas del suelo pierdan sus compuestos nutritivos, se vuelvan más ácidas y a veces, también se origine toxicidad.

M

Mantos acuíferos: estrato o formación geológica permeable, que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea que provienen de la infiltración en el terreno de las aguas, lluvias o de lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas.

Menas: Es un mineral del que se puede extraer un elemento, un metal generalmente, por contenerlo en cantidad suficiente para ser aprovechado.

Meteorización: Conjunto de procesos externos que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera.

T

Tamiz de malla: utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro, también es conocido por cedazo o criba.

U

Urbes: ciudad especialmente grande.

ANEXOS

Tabla 1A. Datos promedio y desviación estándar de la concentración de pH en cada sitio de muestreo.

Sitios de colecta	pH(1)	pH(2)	pH(3)	Media	Desv. Est
PEMEX, río de las avenidas	6.03	7.24	7.04	6.77	0.65
Praderas de virreyes	5.8	7.74	6.69	6.74	0.97
Maestranza, Ciclopista	6.4	7.48	7.25	7.04	0.57
Sahagún-Pachuca, San Vicente	7.04	7.3	7.59	7.31	0.28
UAEH CC	6.63	7.54	6.9	7.02	0.47
Parque de poblamiento	6.2	6.1	6.59	6.30	0.26
Concepción la Salle	7.1	7.95	6.7	7.25	0.64
Carretera real del Monte - Virgen	7.05	6.27	6.4	6.57	0.42
Montessori, arboledas	7.93	5.62	5.93	6.49	1.25
Ciprés no me olvides	6.75	7.5	4.73	6.33	1.43
Chacón - Saucillo	7.52	7.28	6.85	7.22	0.34
Matilde, ejido	3.22	7.65	6.4	5.76	2.28

Tabla 2A. Curvas de calibración para la determinación de elementos metálicos mayoritarios totales por ICP.

Concentración mg/L	Al	Si	Ca	Mg	K	Na
0	833.6	832.8	10114.7	13638.8	34100.7	176731.8
5	122088.7	19127.9	43613.7	272508.4	550910.3	824198.8
10	240116.5	35248.3	71137	521348.1	1185518.9	1788673.2
15	366795.8	51863.1	109848.5	752101.1	1862521.1	2869752
20	501531.6	67445.9	145013.7	1019883.9	2536867.2	3873003.5
25	631001.5	82155.3	178837.9	1261785.8	3186577.5	4897800
m	25233	3246.8	6780.2	49792	127984	193330
b	-5023.1	2194.5	8342.3	17810	40388	11604

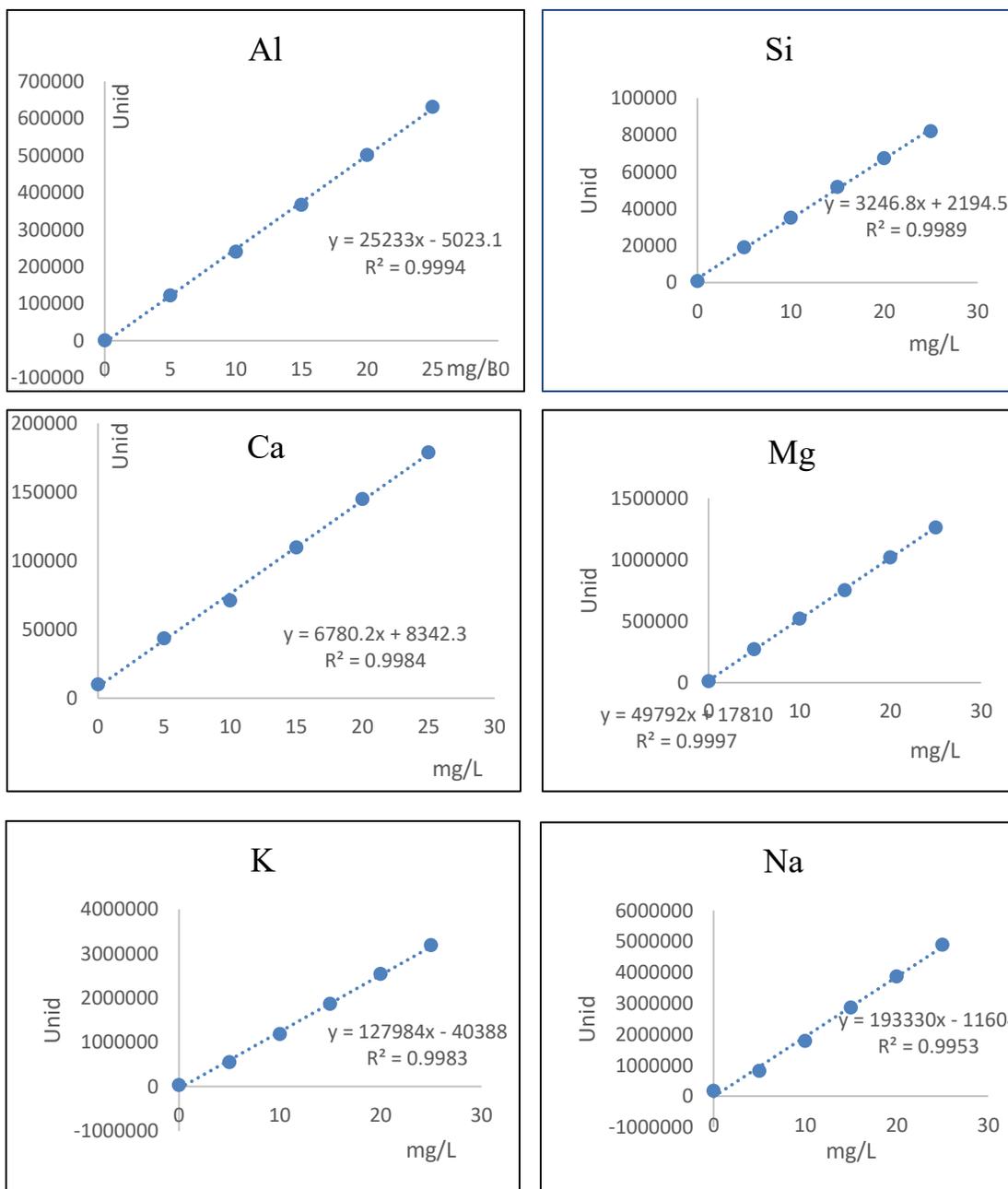


Figura 1A. Curvas de calibración de elementos mayoritarios totales por ICP.

Tabla 3A. Porcentaje de elementos mayoritarios totales de suelo en Pachuca, Hidalgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg					
	Al	Si	Ca	Mg	K	Na
0-1 años						
Praderas de Virreyes	11.5	27.2	1.7	0.8	2.2	4.6
Carretera Real del Monte-Virgen	11.5	28.0	0.8	1.0	2.1	4.6
Concepción la Salle	12.7	27.6	1.5	1.0	1.8	3.3
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	9.6	27.4	2.4	0.7	2.6	4.3
Media	11.3	27.5	1.6	0.9	2.2	4.2
Desv. Est	1.3	0.3	0.7	0.1	0.3	0.6
2-36 años						
UAEH CC	11.0	27.7	1.7	0.7	2.7	4.1
Chacón-Saucillo	9.2	26.4	2.3	0.6	3.1	5.4
Matilde	12.1	26.9	1.3	0.7	2.0	5.3
Montessori Arboledas	11.8	25.2	1.9	1.0	2.1	3.7
Media	11.0	26.5	1.8	0.8	2.5	4.6
Desv. Est	1.31	1.06	0.41	0.18	0.55	0.84
>37 años						
Maestranza Ciclopista	5.2	29.7	1.3	0.5	1.4	1.9
Parque de Poblamiento	12.1	28.9	1.4	0.9	2.8	3.8
Ciprés no me Olvides	9.2	25.5	2.0	0.8	2.6	3.5
PEMEX río de las avenidas	9.9	28.2	1.6	0.7	3.1	5.0
Media	9.1	28.1	1.6	0.7	2.5	3.6
Desv. Est	2.86	1.81	0.32	0.18	0.74	1.29

Tabla 4A. Curvas de calibración de elementos minoritarios totales por ICP.

Concentración µg/L	Cd	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Sr	Ti
0								
8	31.8	53.2		22204.7	438.9	12.8		686.8
16	54.6	102.2		47288.3	897.7	45.9	28776.9	1370.2
24	86.1	155.3	1407.4	74815.7	1306.6	69.9	72939.9	2198.1
32	106.3	198.3	3171.6	104546	1714.6	87.6	106518	2777.5
40	135.8	256.4	5818.1					
m	3.2463	6.2813	275.67	3431.9	52.95	3.105	4858.8	88.75
b	5.01	2.33	5355.7	6424.1	30.45	8.5	47201	16.85

Los valores del blanco fueron inconsistentes, así como las primeras concentraciones de Cu y Sr por lo que no se consideraron para la realización de las curvas de calibración.

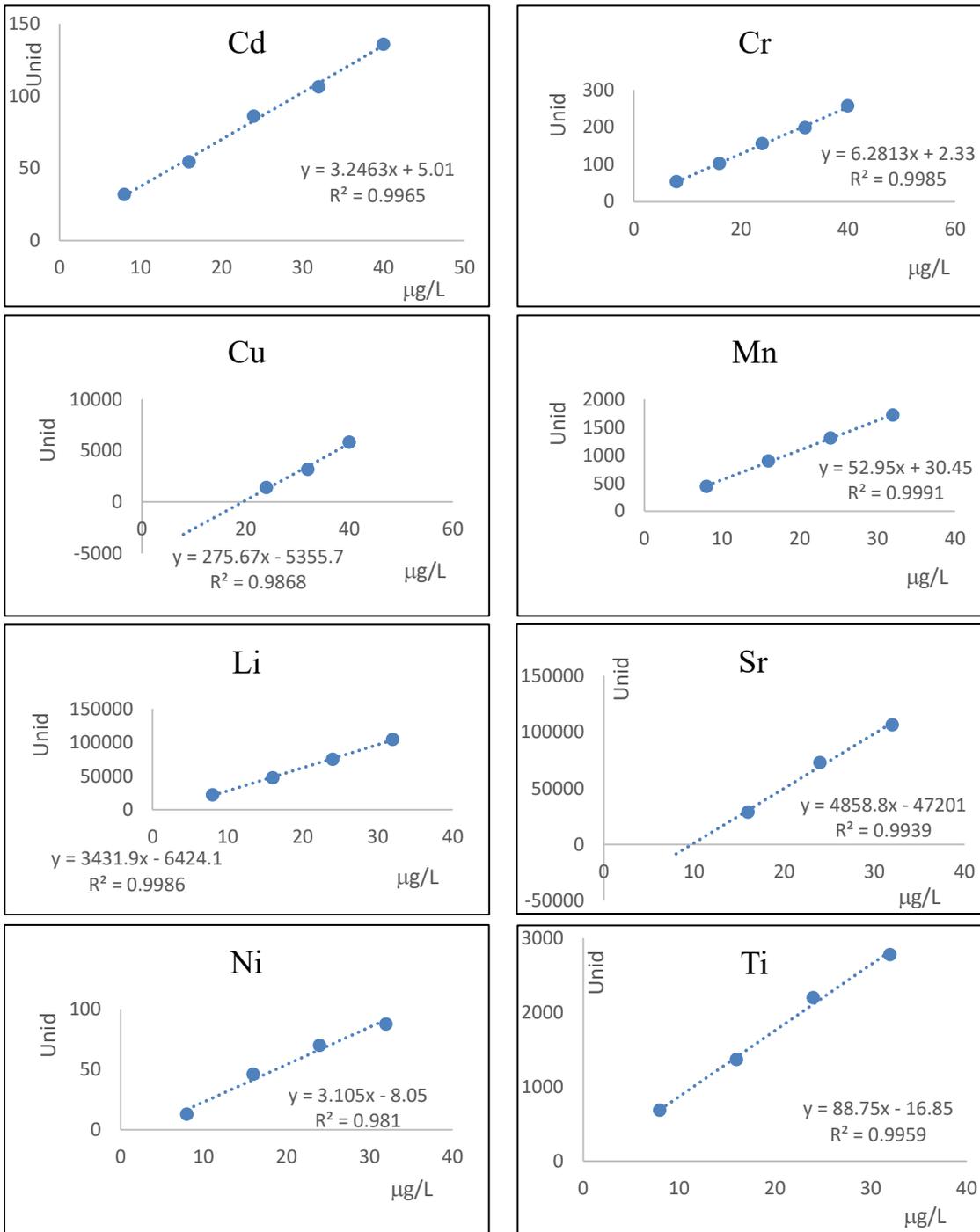


Figura 2A. Curvas de calibración de estándares de elementos minoritarios por ICP.

Tabla 5A. Elementos minoritarios totales de suelo de la ciudad de Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg/Kg					
	Cr	Cu	Li	Mn	Sr	Ti
0-1 años						
Praderas de Virreyes	74.6	63.3	74.9	568.2	23.6	407.7
Carretera Real del Monte-Virgen	82.9	61.7	58.0	628.9	23.9	474.1
Concepción la Salle	83.8	69.7	84.2	572.8	23.2	417.4
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	65.8	72.6	73.9	5770.6	19.3	290.6
Media	76.8	66.8	72.7	1885.1	22.5	397.4
Desv. Est	8.4	5.2	10.9	2590.5	2.1	77.0
2-36 años						
UAEH CC	66.2	74.5	80.5	616.0	20.0	325.9
Chacón-Saucillo	58.4	58.5	76.3	496.5	19.3	250.6
Matilde	89.1	62.9	96.3	621.1	19.8	395.5
Montessori Arboledas	95.8	61.8	67.3	597.7	24.7	453.0
Media	77.4	64.4	80.1	582.8	20.9	356.2
Desv. Est	17.9	7.0	12.1	58.4	2.5	87.5
>37 años						
Maestranza Ciclopista	104.3	254.6	46.0	687.5	10.3	200.4
Parque de Poblamiento	57.7	71.8	79.3	553.5	21.9	386.4
Ciprés no me Olvides	84.5	63.1	83.9	629.6	28.6	355.4
PEMEX río de las avenidas	66.4	77.8	72.2	677.4	17.0	242.3
Media	78.2	116.8	70.4	637.0	19.5	296.1
Desv. Est	20.7	92.0	16.9	61.1	7.7	88.9

Tabla 6A. Elementos solubles determinados por ICP

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	Concentración real mg/Kg									
		Cd	Mn	Sr	Bi	Cu	Zn	Al	Ag	Li
0-1 años										
Praderas de Virreyes	Media	0.08	0.55	0.42	1.09	-0.03	0.04	19.00	0.07	0.22
	Desv. Est	0.01	0.20	0.12	0.07	0.03	0.11	5.59	0.00	0.01
Carretera Real del Monte-Virgen	Media	0.08	0.29	0.28	1.15	-0.03	0.21	17.08	0.06	0.23
	Desv. Est	0.00	0.12	0.04	0.03	0.03	0.37	6.91	0.00	0.01
Concepción la Salle	Media	0.07	0.21	0.31	1.18	-0.06	-0.09	9.60	0.06	0.22
	Desv. Est	0.00	0.10	0.03	0.05	0.02	0.00	5.69	0.00	0.00
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	Media	0.09	0.29	0.39	1.09	0.02	0.03	10.46	0.07	0.23
	Desv. Est	0.00	0.07	0.25	0.06	0.02	0.06	3.41	0.00	0.01
2-36 años										
UAEH CC	Media	0.08	0.15	0.44	1.14	-0.02	-0.07	6.39	0.06	0.24
	Desv. Est	0.00	0.02	0.04	0.04	0.03	0.01	1.12	0.01	0.01
Chacón-Saucillo	Media	0.08	0.35	0.41	1.26	-0.04	0.06	7.45	0.07	0.25
	Desv. Est	0.00	0.12	0.17	0.02	0.02	0.16	2.91	0.00	0.02
Matilde	Media	0.08	1.25	0.36	1.03	-0.02	0.17	40.98	0.07	0.25
	Desv. Est	0.00	0.59	0.08	0.03	0.03	0.06	17.57	0.01	0.02
Montessori Arboledas	Media	0.08	0.86	0.35	1.07	-0.02	0.33	20.41	0.07	0.22
	Desv. Est	0.01	0.44	0.02	0.13	0.02	0.64	9.97	0.00	0.01
>37 años										
Maestranza Ciclopista	Media	0.08	0.13	0.66	1.17	0.07	-0.05	1.56	0.06	0.23
	Desv. Est	0.01	0.05	0.06	0.06	0.02	0.00	0.76	0.00	0.01
Parque de Poblamiento	Media	0.08	0.69	0.40	1.05	-0.02	-0.04	48.24	0.06	0.24
	Desv. Est	0.00	0.25	0.09	0.04	0.02	0.02	20.05	0.00	0.01
Ciprés no me Olvides	Media	0.08	0.07	6.84	1.32	-0.02	0.45	2.19	0.07	0.34
	Desv. Est	0.01	0.05	0.77	0.05	0.03	0.86	2.02	0.00	0.03
PEMEX Río de las avenidas	Media	0.08	0.25	0.27	1.10	0.06	0.16	7.09	0.06	0.22
	Desv. Est	0.01	0.03	0.05	0.05	0.05	0.09	1.14	0.00	0.00

Tabla 7A. Valores de curva de calibración de As por el método de generación de hidruros

$\mu\text{g/L}$	Unid. Abs.
0	0.0147
5	0.1571
10	0.2237
15	0.3244
20	0.3612

$\lambda_{\text{As}}=193.7$; Aire/acetileno = 13.5/2.1 L/min; Intensidad de corriente de lámpara= 10 mA

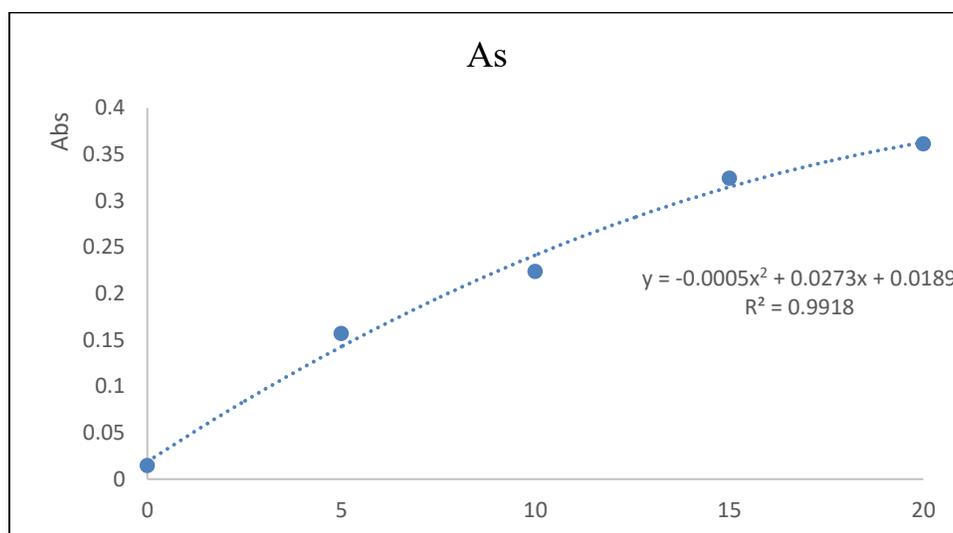


Figura 3A. Curva de calibración de As, método utilizado es el de generación de hidruros

Tabla 8A. Análisis de As total en suelo de la Ciudad de Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg	Cl (µg/L)	Cr sol (µg/L)	Cr suelo (mg/Kg)
0-1 años				
Praderas de Virreyes	200.2	2.94	7.35	1.83
Carretera Real del Monte-Virgen	200.6	2.97	7.42	1.85
Concepción la Salle	197.2	1.86	4.66	1.18
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	202.4	2.19	5.49	1.36
Media		2.49	6.23	1.55
Desv. Est		0.55	1.38	0.34
2-36 años				
UAEH CC	199.9	1.56	3.89	0.97
Chacón-Saucillo	202.5	2.36	5.91	1.46
Matilde	200.4	3.90	9.74	2.43
Montessori Arboledas	199.5	1.92	4.80	1.20
Media		2.43	6.09	1.52
Desv. Est		1.03	2.57	0.64
>37 años				
Maestranza Ciclopista	198.2	1.91	4.78	1.21
Parque de Poblamiento	192.2	1.91	4.76	1.24
Ciprés no me Olvides	205.5	6.30	15.74	3.83
PEMEX río de las avenidas	199.8	2.76	6.91	1.73
Media		3.22	8.05	2.00
Desv. Est		2.09	5.23	1.24

$V_{af\ inicial} = 0.05L$; $V_{af\ pre-red} = 0.025L$; $V_{alc} = 0.010L$

Cl_{sol} = Concentración leída en la solución; Cr_{sol} = Concentración real en la solución;

Cr_{suelo} = Concentración real en suelo.

Tabla 9A. Valores de curva de calibración de Hg por el método vapor frio

Conc. µg/L	Abs. Media
0	0.0037
1.6	0.0306
3.2	0.0654
4.8	0.1001
6.4	0.1378

$\lambda_{As} = 253.7$; N_2 como gas de arrastre; técnica utilizada = Vapor frio; Intensidad de corriente de lámpara = 4.0 mA.

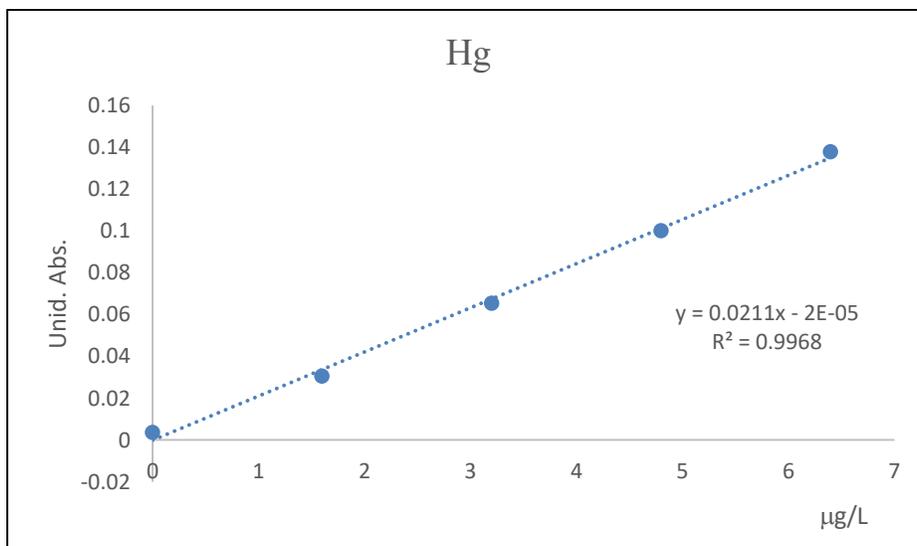


Figura 4A. Curva de calibración de Hg, método utilizado es el de vapor frío.

Tabla 10A. Análisis de Hg total en suelo de la Ciudad de Pachuca Hgo.

Gradiente de urbanización y sitios de colecta	mg	Cl _{sol} (µg/L)	Cr _{sol} (µg/L)	Cr _{suelo} (mg/Kg)
0-1 años				
Praderas de Virreyes	200.2	0.34	0.43	0.11
Carretera Real del Monte-Virgen	200.6	0.72	0.90	0.23
Concepción la Salle	197.2	0.62	0.77	0.19
Sahagún Sn Vicente-Pachuca	202.4	1.53	9.54	2.39
Media		0.80	2.91	0.73
Desv. Est		0.51	4.43	1.11
2-36 años				
UAEH CC	199.9	2.15	2.69	0.67
Chacón-Saucillo	202.5	1.51	1.89	0.47
Matilde	200.4	0.56	0.69	0.17
Montessori Arboledas	199.5	1.88	2.35	0.59
Media		1.52	1.91	0.48
Desv. Est		0.70	0.87	0.22
>37 años				
Maestranza Ciclopista	198.2	3.35	4.19	1.05
Parque de Poblamiento	192.2	0.90	1.12	0.28
Ciprés no me Olvides	205.5	2.64	16.50	4.13
PEMEX río de las avenidas	199.8	4.66	29.12	7.29
Media		2.89	12.73	3.19
Desv. Est		1.57	12.79	3.20

V_{af inicial} = 0.05L; V_{af segundo} = 0.025L; V_{alic} = 0.020L; V_{af lectura} = 0.01L; V_{alic lectura} = 0.002 L
Cl_{sol} = Concentración leída en la solución; Cr_{sol} = Concentración real en la solución;
Cr_{suelo} = Concentración real en suelo.