

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Las abejas melíferas biomonitores de metales pesados en el
aire de Torreón y sitios aledaños.**

POR:

RAY OSCAR GALLARDO CRUZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

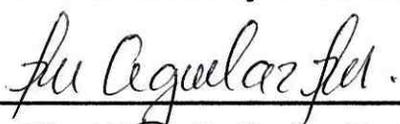
LAS ABEJAS MELÍFERAS BIOMONITORES DE METALES PESADOS EN EL AIRE DE TORREÓN Y SITIOS ALEDAÑOS.

Tesis que se somete a la consideración del comité particular de asesoría y aprobado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobado por:

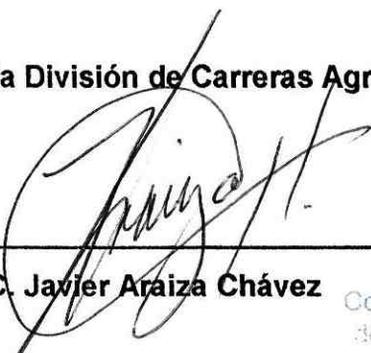
ASESOR PRINCIPAL: 
_____ **Dr. José Luis Reyes Carrillo**

ASESOR: 
_____ **Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano**

ASESOR: 
_____ **Ing. Rubi Muñoz Soto**

ASESOR: 
_____ **Ing. Joel Limones Avitia**

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas


_____ **M.C. Javier Araiza Chávez**



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

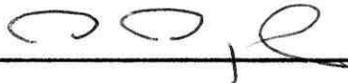
LAS ABEJAS MELÍFERAS BIOMONITORES DE METALES PESADOS EN EL AIRE DE TORREÓN Y SITIOS ALEDAÑOS.

Tesis que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

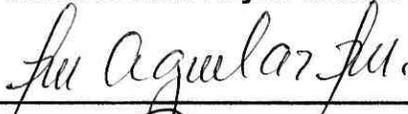
Aprobado por:

PRESIDENTE:



Dr. José Luis Reyes Carrillo

VOCAL:



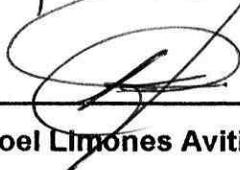
Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano

VOCAL:



Ing. Rubí Muñoz Soto

VOCAL SUPLENTE:



Ing. Joel Limónes Avitia

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



M.C. Javier Araiza Chávez



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Marzo del 2007.

Torreón, Coahuila, México

AGRADECIMIENTOS

Principalmente y ante todo le agradezco a dios por haberme dado la vida, por haberme guiado y cuidado durante todos estos años, por que me ayudo en los momentos difíciles, y gracias a él supe sacar adelante mi principal propósito desde que entre a la universidad que fue concluir mis estudios superiores satisfactoriamente, también por darme unos padres y hermanos maravillosos que me han ayudado en todo momento. GRACIAS DIOS.

Le agradezco profundamente a mis padres por su ayuda tanto económica como moralmente que me brindaron, gracias por su paciencia.

Estoy muy agradecido con mis hermanos Onider, Nancy y Ardaño, (gracias "tito") por haberme sabido ayudar en los momentos que los necesitaba tanto económica como moralmente.

A mis asesores:

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, gracias por haberme guiado en el proceso de la elaboración de mi tesis, por sus muy buenos y acertados consejos que me brindo, gracias por su amistad Doc.

A la Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano, gracias por su colaboración para llevar a cabo los análisis de las abejas, por haberme enseñado el método usado para la determinación de los resultados, gracias por su amistad, maestra.

A la Ing. Rubí Muñoz Soto, gracias por haber aceptado ser mi colaborador, gracias por su amistad, por sus consejos y sugerencias que me sirvieron de mucho para poder terminar mi tesis.

Al Ing. Joel Limones Avitia, gracias ingeniero por su gran amistad que nos supo brindar a mí y a mis demás compañeros de generación, por enseñarnos parte de los conocimientos adquiridos, gracias por aceptar ser mi asesor.

A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UNAAN – UL) por haberme cobijado durante casi 5 años, por brindarme las posibilidades para realizar mis estudios y poder desarrollarme como profesionista.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. Eitelberto Gallardo Luna, y Sra. Guilibalda Cruz Pantaleón, por haberme inducido a iniciar y terminar mi carrera, por haberme dado un regalo muy valioso en la vida. . . Mis estudios.

A mis Hermanos:

Onider, Nancy, Ardalio ("tito") y Sofía † (Chofi) se las dedico de todo corazón, se la dedico a mi hermanita chofi, aunque no disfruté de su compañía como me hubiese gustado, se que donde quiera que este me esta mirando y cuidando.

A mis abuelitas:

Sra. Cirila Luna Ramírez y Sra. Eudosia cruz Pantaleón, por su apoyo y buenos consejos y deseos durante estos años de mi vida, en mi pueblo querido Buenavista de Allende, Guerrero.

ÍNDICE

TEMA	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS Y GRAFICAS.....	iii
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. META.....	2
IV. HIPOTESIS.....	2
V. REVISION DE LITERATURA.....	3
5.1 Antecedentes y descripción del problema.....	3
5.1.1 Situación actual en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.....	3
5.2 Estudios realizados.....	4
5.3 Contaminación del aire.....	5
5.3.1 Problemática de la metalúrgica Met - Mex Peñoles.....	6
5.4 Utilización de las abejas y sus productos como indicadores... 5.4.1 Comisión Nacional de Energía Atómica.....	6 7
5.4.2 Descripción de la abeja <i>Apis mellifera</i>	7
5.5 Comportamiento de los metales pesados en el suelo.....	8
5.6 Descripción de los metales pesados.....	9
5.7 Plomo (Pb).....	9
5.7.1 Qué le sucede al plomo cuando entra al medio Ambiente?.....	9 9
5.7.2 Cuales son los efectos del plomo en el cuerpo?.....	9
5.7.3 Consecuencias de intoxicación por plomo en los adultos.....	10 10
5.7.4 Norma Oficial Mexicana del plomo.....	10
5.8 Zinc (Zn).....	10
5.8.1 Qué le sucede al zinc cuando entra el medio ambiente.....	11 11
5.9 Manganeso (Mn).....	11
5.9.1 Importancia del manganeso.....	12
5.9.2 Necesidad y exceso del manganeso.....	12
5.10 Hierro (Fe).....	13
5.10.1 Importancia del hierro.....	13
5.10.2 Necesidad del hierro.....	14
5.11 Cobre (Cu).....	14
5.11.1 Importancia del cobre.....	14
5.11.2 Intoxicación por cobre.....	15
5.12 Cadmio (Cd).....	16

5.12.1 Intoxicación por cadmio.....	16
5.12.2 Qué le sucede al cadmio cuando entra al medio Ambiente.....	16
5.12.3 Como puede perjudicar la salud el cadmio?.....	17
5.12.4 Consecuencias de la intoxicación por cadmio.....	17
5.13 Normatividad para los metales pesados.....	18
5.13.1 Limite máximo permisible de plomo.....	18
5.14 Partes por millón.....	19
5.14.1 Concentraciones de residuos y su interpretación Intuitiva.....	19
VI. MATERIALES Y METODOS.....	21
6.1 Localización geográfica del área de estudio.....	21
6.2 Procedimiento.....	21
6.2.1 Método de "Digestión seca o Cenizas".....	22
6.2.2 Obtención de resultados.....	23
VII. RESULTADOS.....	24
7.1 Colonia Los Ángeles, Torreón, Coahuila.....	24
7.2 Colonia San Joaquín, Torreón, Coahuila.....	24
7.3 UAAAN, Torreón, Coahuila.....	25
7.4 Ejido Carlos Real, Cd. Lerdo, Durango.....	25
7.5 Ejido Anna, Torreón, Coahuila.....	26
7.6 Ejido California, Gómez Palacio, Durango.....	27
7.7 Ejido La Luz, Gómez Palacio, Durango.....	27
7.8 Ejido La Concordia, Fco. I. Madero, Coahuila.....	28
7.9 Buenavista de Allende, Guerrero.....	28
7.10 Resultados generales.....	29
VIII. DISCUSIÓN.....	35
IX. CONCLUSIONES.....	37
X. RECOMENDACIONES.....	38
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39

ÍNDICE DE CUADROS Y GRAFICAS

CUADRO		PÁGINA
1.	Equivalencias entre diversas unidades de medida, y términos de manejo corriente.....	20
2.	Datos generales de resultados de las lecturas obtenidas, (Unidades expresadas en partes por millón).....	29
 GRÁFICA		
1.	Concentraciones de metales pesados, en las abejas de la Colonia Los Ángeles de Torreón, Coahuila, ubicada a 2.4 km. al Norte de la compañía Peñoles, 27 de septiembre del 2006.....	24
2.	Concentraciones de metales pesados en las abejas de la Colonia San Joaquín de Torreón, Coahuila, ubicada a 3.1 km. al Oeste de la compañía Peñoles, 19 de septiembre del 2006.....	25
3.	Concentraciones de metales pesados en las abejas de la UAAAN de Torreón, Coahuila, ubicada a 6.8 km. al Sureste de la compañía Peñoles, 17 de noviembre del 2006.....	25
4.	Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido Carlos Real de Cd. Lerdo, Durango, ubicado a 8 km. al Oeste de la compañía Peñoles, 15 de noviembre del 2006.....	26
5.	Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido Anna de Torreón, Coahuila, ubicado a 9.2 km. al Noreste de la compañía Peñoles, 27 de octubre del 2006.....	26
6.	Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido California de Gómez Palacio, Durango, ubicado a 12 km. al Norte de la compañía Peñoles, 15 de noviembre del 2006.....	27
7.	Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido La Luz, de Gómez Palacio Durango, ubicado a 13 km. al Noroeste de la compañía Peñoles, 15 de junio del 2006.....	27

8.	Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido La Concordia de Fco. I. Madero, Coahuila, ubicado a 42 km. al Noreste de la compañía Peñoles, 02 de junio del 2006.....	28
9.	Concentraciones de metales pesados en las abejas de Buenavista de Allende, Guerrero, ubicado a 1100 km. al Suroeste de la compañía Peñoles, 07 de enero del 2007.....	28
10.	Datos generales de las concentraciones de metales pesados, encontrados en los diferentes puntos de muestreo.....	30
11.	Concentraciones generales de Plomo en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	31
12.	Concentraciones generales de Zinc en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	31
13.	Concentraciones generales de Manganeso en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	32
14.	Concentraciones generales de Hierro en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	32
15.	Concentraciones generales de Cobre en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	33
16.	Concentraciones generales de Cadmio en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.....	33
17.	Resultados (ppm, 0-700) y distancias de los sitios muestreados, tomando como referencia la compañía Peñoles.....	34

RESUMEN

La contaminación del aire es la que se produce como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas. La degradación del medio ambiente debida a la actitud adoptada por los humanos hacia la naturaleza durante el último siglo, en el sentido de que en su actuación tenía licencia para explotar los recursos naturales con una total indiferencia ante todo lo que no repercutiera en beneficio directo del hombre, ha dado lugar a uno de los problemas capitales que la Humanidad tiene planteados en la actualidad, la contaminación. La contaminación ambiental tiene una relación estrecha con la salud del individuo. En su mayoría, los valores máximos permisibles de calidad del aire atmosférico se basan en estudios epidemiológicos, con el fin de proteger a la población ocupacionalmente no expuesta. El objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Zn, Mn, Fe, Cu y Cd) en el aire utilizando las abejas (*Apis mellifera*) como biomonitores. Esta evaluación se llevó a cabo en el laboratorio de suelos dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, a partir de las muestras de abejas que fueron tomadas en diferentes sitios y fechas. Para tomar las muestras de abejas fueron colocadas en frascos que contenían alcohol al 70 % de su concentración, las muestras tomadas se llevaron al laboratorio para después ser tratadas mediante el método de "Digestión Seca o Cenizas" y posteriormente ser analizadas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. En base a los resultados obtenidos se concluye que: Las abejas, por su anatomía, pueden ser utilizadas como biomonitores del aire. El metal pesado predominante en el aire es el Hierro del cual se encontraron concentraciones superiores a la de los demás metales. El Zinc, Manganeso y Cobre se encontraron en concentraciones elevadas. El Cadmio y Plomo presentaron los valores comparativamente mas bajos. El contenido de Plomo en la atmósfera excede el límite máximo permitido por la Norma. Los metales pesados disminuyen sus concentraciones a medida que la distancia es mayor a la empresa emisora.

I. INTRODUCCIÓN

El hombre ha modificado el ambiente a lo largo de su existencia, desde el tiempo cuando él desarrolló medios agrícolas de subsistencia. La primera vez se usaron recursos naturales de una manera irracional y excesiva por un esfuerzo por proporcionar las nuevas formas de producción que surgió después de la Revolución Industrial. Actualmente, las sociedades modernas tienen que enfrentar problemas relacionados con la contaminación del suelo, aire y agua, y ellos deben resolverlos. Los productos desechados derivados de los procesos industriales contaminan el aire, suelo, y fuentes diferentes de agua. Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o ser destruidos. A un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como oligoelementos, algunos metales pesados (cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano (Rotterdamseweg, 1998).

La contaminación ambiental tiene una relación estrecha con la salud del individuo. En su mayoría, los valores máximos permisibles de calidad del aire atmosférico se basan en estudios epidemiológicos, con el fin de proteger a la población ocupacionalmente no expuesta (Yassi *et al.*, 2001). La contaminación por plomo sigue teniendo importancia, debido a que aún existen niveles significativos en el aire, incluso cuando se trata de los metales pesados de mayor atención en la historia de la humanidad. En la actualidad, diversos autores hacen hincapié acerca de la escasa información existente y de la carencia de datos para evaluar su problemática aun en el continente americano; no obstante, pueda ser que exista información en publicaciones no fácilmente accesibles, como tesis o informes de investigación (Romieu *et al.*, 1995).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar cualitativa y cuantitativamente la presencia de los metales pesados predominantes en el aire de la ciudad de Torreón mediante las abejas melíferas.

2.2 Objetivos específicos

Hacer los análisis necesarios y a partir de ellos demostrar que las abejas pueden ser utilizadas como monitores de metales pesados en el aire.

Determinar la presencia de Plomo (Pb), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Cadmio (Cd) en el ambiente de la ciudad de Torreón y algunos sitios aledaños.

III. META

Conocer la cantidad de partículas de metales pesados adheridas al cuerpo de las abejas (*Apis mellifera* L.) en partes por millón.

IV. HIPOTESIS

Las abejas (*Apis mellifera* L.) son bioindicadores de metales pesados para monitorear el aire en la ciudad de Torreón.

Existe la presencia de metales pesados en el aire de la ciudad de Torreón.

V. REVISION DE LITERATURA

5.1 Antecedentes y descripción del problema

El problema de la contaminación ambiental se conoce hace varios siglos. Los daños producidos en la ciudad de Londres por la combustión del carbón, en la primera mitad del siglo XIII, ocasionaron la publicación de un decreto en el año 1306, que prohibía la utilización de carbón para encender hornos. La revolución industrial fue responsable del segundo y duradero aumento de la contaminación del aire, suelo y agua, así en diciembre de 1891 llegaron a 2000 los fallecimientos producidos por la niebla de humo en Londres, cifra que se vio aumentada a 4000 en el mismo mes del año de 1952 (Lawther, 1978).

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos (Eroski, 2001).

5.1.1 Situación actual en la ciudad de Torreón, Coahuila, México

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos. Recientemente, ha llamado la atención de la prensa nacional e internacional, el caso del envenenamiento por metales pesados entre la población infantil de Torreón, Coahuila, en el Norte-Centro de México. El problema de la contaminación por metales pesados y sus efectos en la salud tiene su origen en el funcionamiento en el centro de la

ciudad de Torreón, del cuarto complejo fundidor más grande del mundo. Este complejo es propiedad de la compañía Met-Mex Peñoles. Este problema había sido estudiado y denunciado desde hace más de veinte años por diversas instituciones y grupos ambientalistas. El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos, sino que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa (Valdés, 1999)

El envenenamiento por plomo está generalizado. No es un problema solo de las personas y en particular de niños de escasos recursos de los centros ciudadanos ni de las minorías. De sus efectos no se libra ningún grupo socioeconómico, ninguna área geográfica ni ninguna población étnica o racial" (Centers for Disease Control, 1991).

5.2 Estudios realizados

En Finlandia se ha puesto en práctica la técnica de determinación de metales pesados utilizando las abejas (*Apis mellifera* L.), ya que las abejas melíferas por su constitución anatómica, de poseer pelillos que recubren todo su cuerpo, retienen partículas de metales, lo que puede convertirlas en biomonitores de la calidad de la atmósfera (Fakhimzadeh *et al.*, 2000), por lo que es posible utilizar a las abejas como bioindicadores de metales pesados en el aire de la ciudad de Torreón, Coahuila.

5.3 Contaminación del aire

La contaminación del aire es la que se produce como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas. La degradación del medio ambiente debida a la actitud adoptada por los humanos hacia la naturaleza durante el último siglo, en el sentido de que en su actuación tenía licencia para explotar los recursos naturales con una total indiferencia ante todo lo que no repercutiera en beneficio directo del hombre, ha dado lugar a uno de los problemas capitales que la Humanidad tiene planteados en la actualidad, la contaminación (Roberts *et al.*, 2001).

La motivación fundamental que permitió la sobrevivencia del hombre fue la búsqueda de la mejor satisfacción de sus necesidades primordiales. En nuestra sociedad actual, el avance tecnológico es enorme y en la obtención de satisfactores se ha perseguido generalmente el máximo beneficio, con el menor costo y esfuerzo. La acumulación de industrias, automóviles y otras fuentes de contaminación ha cumplido con aumentar la producción de bienes, pero a un enorme costo social, ya que ha originado una contaminación del ambiente que es incompatible con la salud humana y la sobrevivencia del ecosistema en que vivimos (Diario Oficial de la Federación, 1982).

Más allá de la percepción de que el aire se ve sucio, es necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, midiendo los niveles en los que se presentan espacial y temporalmente los contaminantes de los que se conocen efectos para la salud. Al comparar estas mediciones con las normas nacionales e internacionales se puede determinar si la calidad del aire es satisfactoria o no y en este último caso, establecer programas de control dependiendo de la severidad del problema. El requisito básico para evaluar la calidad del aire en una región o cuenca atmosférica es contar con un sistema moderno y confiable de monitoreo atmosférico. Sin embargo, esta es una actividad costosa que rebasa con frecuencia la capacidad financiera de las autoridades municipales y estatales (Wark, 2004).

El análisis de tendencias de la calidad del aire en las principales ciudades mexicanas a lo largo de los años, permite inferir si existe un problema de

deterioro creciente o una mejoría paulatina para cada uno de los contaminantes de interés. Estas tendencias constituyen, sin duda, el mejor indicador disponible para evaluar si una ciudad se dirige o se aleja de lo que puede considerarse como sustentable en materia de calidad del aire. En nuestro país, la Secretaría de Salud ha establecido normas o estándares para los siguientes contaminantes atmosféricos: bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), partículas suspendidas totales (pst), partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10) y plomo (Pb). Los niveles o concentraciones de los contaminantes en el aire se expresan en unidades como: partes por millón (ppm), partes por billón (ppb) o microgramos por metro cúbico (µg/m³). En México se usa el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire o Imeca, según el cual la concentración máxima permisible que señala la Norma de Calidad del Aire para cada contaminante le corresponde a 100 puntos Imeca (Femández, 2001).

5.3.1 Problemática de la metalúrgica Met-Mex Peñoles.

En el estudio de Albert y Badillo (1991) se advertía el grave problema existente en nuestro país, en donde señalaban la existencia de casos muy graves de contaminación y la ausencia de estudios sobre el impacto en la salud de los mexicanos. Ahí mismo se reconocía ya un caso especial al señalar que “a pesar de que la fundidora de Torreón es una de las más grandes en Latinoamérica y aún cuando está localizada cerca del centro de la ciudad, no se ha llevado un estudio a gran escala sobre el impacto de esta fuente sobre la salud de la población”.

5.4 Utilización de las abejas y sus productos como indicadores

La abeja y sus productos como indicadores de la contaminación ambiental despertaron el interés de muchos investigadores a lo largo de las tres últimas décadas. Su utilización fue citada por numerosos autores luego del accidente de Chernobyl y sucesivamente fue evaluada su utilidad en monitoreo rutinario, existiendo referencias de casos no accidentales (Gillari, 2004).

5.4.1 Comisión Nacional de Energía Atómica

En Argentina, La C.N.E.A (Comisión Nacional de Energía Atómica) cuenta con colmenas propias que multiplica, relocaliza y mantiene para llevar adelante las tareas de investigación entre las que pueden citarse como principales las siguientes: Monitoreo del medioambiente utilizando a la abeja melífera como indicador de contaminación radiactiva e industrial, Irradiación de materiales apícolas como método de profilaxis para el control de enfermedades bacterianas y parasitarias y Estudios de irradiación de mieles, cera y polen con rayos gamma de cobalto-60. Por ser un indicador biológico clase I –del tipo de ambiente presente (composición florística)-, clase II –de las alteraciones del medioambiente (agroquímicos)- y clase III -capacidad de acumular y concentrar compuestos químicos (radiactividad, metales pesados)-, las abejas pueden pensarse como muestreadores móviles. Así las abejas, en sus vuelos de exploración y recolección de néctar, polen, agua y resinas vegetales, recogen una amplia variedad de contaminantes suspendidos que transportan a sus colmenas y que, en última instancia, se transfieren a los productos de la misma. Bajo esta premisa y el hecho que el insecto puede sobrevolar un área de hasta 6 km², su utilización con fines muestreadores resulta de fundamental importancia (Gillari, 2004; Apiservices, 2004).

5.4.2 Descripción de la abeja *Apis mellifera*

El género *Apis* posee cuatro especies importantes para la producción de miel y cera que son: *Apis dorsata*, *Apis florea*, *Apis cerana* y *Apis mellifera* (L) (Salamanca *et al.*, 2001).

La abeja melífera, o abeja de miel, es uno de los insectos más importantes para el medio ambiente y el ser humano. Ello se debe no sólo a su producción de miel, cera o jalea real, sino también por su papel fundamental en la polinización de la mayoría de los principales cultivos de frutas, hortalizas y vegetales, así como plantas no cultivadas que impiden la erosión del suelo. La comunidad de las abejas melíferas está compuesta por la reina, el zángano y las obreras, todas ellas con diferentes funciones. La

reina es la madre de todos los miembros de la colonia, siendo capaz de producir 1,500 huevos diarios y de determinar el sexo de su descendencia. Se alimenta casi exclusivamente de jalea real, producida por las abejas obreras, y suele vivir hasta 3 años. Por su parte, la misión del zángano consiste en aparearse con las nuevas reinas, que tiene lugar en vuelo a cielo abierto, tras lo cual muere. Los zánganos son mayoritarios en las colonias durante la primavera y verano; en otoño son expulsados por las obreras, dejándolos morir. En cuanto a las obreras, aunque viven sólo unas seis semanas, son las encargadas de recolectar el polen, que sirve de fuente de energía para el desarrollo de toda la comunidad, mantener el panal y defenderlo de los depredadores. Una colmena típica cuenta con un número de obreras que oscila entre 8,000 y 15,000, las cuales desempeñan tareas diferentes según su edad (Eroski, 2006).

5.5 Comportamiento de los metales pesados en el suelo

La distribución de metales pesados en los perfiles de los suelos, así como su disponibilidad, esta controlada por parámetros como las propiedades intrínsecas del metal y las características de los suelos (Colombo *et al.*, 1998). La cantidad y calidad de los sitios de absorción, la concentración y tipo de complejos orgánicos e inorgánicos, la composición catiónica y aniónica del suelo, conductividad hidráulica y actividad microbiana, son los factores que afectan el comportamiento de los metales (Ramos, 2001).

Los metales que se asimilan en el suelo se van eliminando lentamente por diferentes procesos como el lavado, absorción por las plantas, erosión, etc. La vida media de los metales en condiciones de lixiviación varia según el elemento como ejemplo:

Zinc	70	a	510	años
Cadmio	13	a	1100	años
Cobre	310	a	1500	años
Plomo	740	a	5900	años

Aunque los aportes a la biosfera no sean muy elevados en los suelos se va aumentando su concentración debido a su larga vida media (Martirena y Garcia, 2001).

5.6 Descripción de los metales pesados

5.7 Plomo (Pb)

El plomo es un metal gris-azulado que se encuentra naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2005a).

5.7.1 Qué le sucede al plomo cuando entra al medio ambiente?

- El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua.
- Cuando se libera plomo al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo.
- Una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a partículas del suelo.
- La movilización del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo (University of Virginia Health System, 2006).

5.7.2 Cuáles son los efectos del plomo en el cuerpo?

Si no se detecta a tiempo, los niños con altos niveles de plomo en su cuerpo pueden padecer lo siguiente:

- Daño en el cerebro y el sistema nervioso.
- Problemas de conducta y aprendizaje.
- Crecimiento lento.
- Problemas de audición.
- Dolor de cabeza.
- Anemia.

- Convulsiones.

5.7.3 Consecuencias de intoxicación por plomo en los adultos

- Problemas durante el embarazo.
- Problemas reproductivos en hombres y mujeres.
- Presión de la sangre alta.
- Trastornos digestivos.
- Problemas de concentración y memoria.
- Dolor muscular y en las articulaciones (Tripp, 2005)

5.7.4 Norma Oficial Mexicana del plomo

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana promulgada en junio de este año, es de 10 µg/dL (Valdés, 1999)

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al plomo es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-026-SSA1-1993 (INE, 2006).

5.8 Zinc (Zn)

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. El zinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. En su forma pura elemental (o metálica), el zinc es un metal brillante de color blanco-azulado. La mayor parte del mineral de zinc que se encuentra naturalmente en el ambiente está en la forma de sulfuro de zinc (Universidad de California, 2004).

Los compuestos de zinc son extensamente usados en la industria. El sulfuro de zinc y el óxido de zinc se usan para fabricar pintura blanca, cerámicas y otros productos. El óxido de zinc se usa también en la manufactura de caucho. Los compuestos de zinc como el acetato de zinc, cloruro de zinc y sulfato de zinc se usan para preservar madera y en la manufactura de

colorantes para telas. El cloruro de zinc también es el ingrediente principal en el humo de bombas de humo (Medline Plus, 2004).

5.8.1 Qué le sucede al zinc cuando entra al medio ambiente?

El zinc entra al aire, el agua y el suelo como resultado tanto de procesos naturales como actividades humanas. La mayor parte del zinc que entra al ambiente es el resultado de la minería, la refinación de minerales de zinc, plomo y cadmio, la producción de acero, la incineración de carbón y de desperdicios. Estas actividades pueden aumentar los niveles de zinc en la atmósfera. Los desagües de industrias químicas que manufacturan productos de zinc u otros metales, desagües domésticos y flujos provenientes de terrenos que contienen zinc pueden descargar zinc a corrientes de agua. El nivel de zinc en el suelo aumenta principalmente a causa de la disposición de residuos de zinc por industrias que manufacturan metales y de cenizas de carbón generadas por plantas de electricidad. El lodo y los abonos también contribuyen al aumento de los niveles de zinc en el suelo. En el aire, el zinc está presente principalmente en forma de partículas finas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita sobre la tierra y el agua (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2005b).

Galán y Hercberg sugieren que, teniendo en cuenta la importancia de las necesidades de estos grupos de población y la dificultad de cubrirlas, se deben poner en marcha medidas globales de sanidad pública como podrían ser el enriquecimiento de uno o varios alimentos, cuya eficacia ha sido ya demostrada en algunos países como Suecia. (Galán y Hercberg, 1989).

5.9 Manganeso (Mn)

Al igual que los anteriores, es un elemento esencial para los mamíferos. Actúa como cofactor de varias enzimas, participando en el metabolismo de carbohidratos, lípidos. Es un activador de enzimas en competencia con el magnesio, al cual puede sustituir sin pérdida de actividad catalítica. Los alimentos más ricos en manganeso son los frutos secos, cereales y legumbres (López, 1984; Lozano *et al.*, 1987).

Sólo se absorbe un 3% del ingerido. La absorción tiene relación inversa con el nivel de calcio y de hierro en la dieta y directa con el nivel de potasio. El agua de bebida suponiendo una ingesta normal de 2 l/día, podría suministrar de 0,040 a 0,064 mg. Incluso la mayor de estas cantidades está por debajo del 3% aportado por las fuentes dietéticas usuales. No obstante, algunos tipos de agua, de forma aislada, pueden contener niveles muy superiores de este elemento, con lo cual contribuyen en la misma proporción que los restantes alimentos a la ingestión de manganeso (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2001).

5.9.1 Importancia del manganeso

El manganeso juega un importante papel, como protector, en ciertos tipos de cáncer al ser componente de la superóxido dismutasa. Recientemente se ha sugerido que su presencia en el agua potable está en relación inversa con la mortalidad cardiovascular. La OMS recomienda una ingesta para adultos de 2-3 mg/día, mientras que el Food and Nutrition Board de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. recomienda de 2,5-5 mg/día (Lozano *et al.*, 1987).

5.9.2 Necesidad y exceso del manganeso

Su carencia produce retraso en el crecimiento, disfunciones reproductoras, ataxia, etc. La ingestión excesiva de manganeso conduce a un estado de intoxicación denominado "manganismo". Se produce, sobre todo, en los obreros que manipulan este metal y se manifiesta con alteración mental, astenia, anemia no específica y paresia. Con excepción de un incidente aislado, no se han detectado casos de intoxicaciones por manganeso proveniente de agua potable. En 1941, en Japón, se atribuyó una enfermedad, similar a la encefalitis, al consumo de un agua de pozo que contenía concentraciones de 14 mg/l de este elemento. Actualmente el interés sobre el manganeso se centra en su papel en el metabolismo cerebral, que resulta afectado tanto por su déficit como por su exceso (Healthnotes, 2004).

5.10 Hierro (Fe)

Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y, entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. Igualmente es uno de los elementos más importantes del Universo, y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético. Ha sido históricamente muy importante, y un periodo de la Historia recibe el nombre de Edad de Hierro. (Wikipedia, 2006a).

5.10.1 Importancia del hierro

Es un elemento esencial en la nutrición humana. Se encuentra en una serie de proteínas de importancia biológica, entre ellas hemoglobina y citocromos, y también en muchas enzimas de oxidación-reducción. La mayor parte de los alimentos, excepto la leche, lo contienen en cantidades suficientes como para que no existan déficit de este metal por carencia en la dieta. Sin embargo, el hierro se absorbe con dificultad y la mayoría de los individuos apenas cubren sus necesidades diarias. Entre los alimentos ricos en hierro se pueden citar el hígado, riñones, sangre, morcillas, moluscos como las ostras, almejas o mejillones y en general, las carnes (García, 1991).

El agua de bebida puede suministrar hierro en cantidades variables en función de su contenido en este elemento. En EE.UU. el agua del grifo aporta, normalmente, menos del 5% de los requerimientos diarios. Sin embargo, si un suministro local contiene concentraciones elevadas podría contribuir en proporción considerable. Aproximadamente, sólo se absorbe un 10% del hierro ingerido y la composición de la dieta condiciona su absorción; la presencia de iones carbonato, fosfato, oxalato y fitatos dificultan este proceso. Los fitatos se encuentran presentes en los cereales, cacao, nueces, mandarinas, etc. mientras que los oxalatos abundan en espinacas, cacao, plátanos, café, té y sésamo. Los agentes reductores como la vitamina C aumentan la absorción. Las necesidades varían según la edad, el sexo y el estado fisiológico del individuo y el organismo es capaz de regular la absorción de dichas necesidades. Se han establecido niveles entre 7 y 14

mg/día para un individuo adulto. Las mujeres gestantes necesitan un exceso de 15 mg/día (Jiménez, 2001).

5.10.2 Necesidad del hierro

La deficiencia de hierro da lugar a desórdenes musculares y disminución de la capacidad física al esfuerzo, anomalías en el comportamiento como apatía, somnolencia e irritabilidad, disminución del rendimiento intelectual, así como una incidencia más elevada de infecciones en niños y un aumento de la morbi-mortalidad feto-maternal si se produce durante el embarazo. Su ingestión en exceso produce hemosiderosis y hemocromatosis. Hoy, se piensa que esta última se produce por un defecto congénito del metabolismo, el cual origina un aumento en la absorción del hierro. Además, el aporte desmesurado interfiere en el proceso de absorción y la utilización consiguiente del cobre, zinc y manganeso. Los alimentos se pueden contaminar con hierro por cesión de materiales, así por ejemplo, este elemento es un componente fundamental de las hojalatas desde donde puede cederse al producto alimenticio, sobre todo en el caso de conservas ácidas (González *et al.*, 1987).

5.11 Cobre (Cu)

El cobre es un elemento esencial para el hombre, interviene en el desarrollo de los huesos y del tejido elástico, en el funcionamiento del sistema nervioso central y en la síntesis de hemoglobina. Las recomendaciones diarias se estiman en 2 mg. Dada su gran distribución, es prácticamente imposible preparar una dieta que contenga menos de esta cantidad. Entre los alimentos más ricos en cobre se encuentran las ostras, hígados, setas, nueces y chocolate. Además, el contenido de este metal puede aumentar por la cesión de cerámicas y utensilios domésticos (Fernández y Fidalgo, 1995).

5.11.1 Importancia del cobre

El agua de bebida contiene generalmente 0,1 mg/l. Si se acepta esta concentración como típica en el agua potable, ésta podría contribuir a la

nutrición entre un 6 y un 10% de las necesidades diarias de cobre. No obstante, algunas aguas contienen niveles más elevados e incluso se han encontrado contribuciones del 40%. La absorción del cobre es del orden del 30% y es disminuida por altas ingestas alimentarias de hierro, molibdeno y zinc, este elemento se almacena preferentemente en el hígado, riñón, músculo, corazón y cerebro. Su deficiencia produce anemia, neutropenia y desmineralización ósea, mientras que la ingestión en exceso es tóxica (National Academy of Sciences, 1980).

5.11.2 Intoxicación por cobre

Aunque no son frecuentes las intoxicaciones agudas por este metal, dadas sus propiedades eméticas y laxantes, se caracterizan por náuseas, vómitos, dolor de cabeza y debilidad. Los casos más graves cursan con taquicardia e hipertensión que pueden ir seguidas por ictericia, anemia hemolítica, uremia y muerte (Wikipedia, 2006b).

Tras la absorción, por vía gastrointestinal, de cantidades pequeñas pero repetidas pueden presentarse náuseas, salivación, dolor epigástrico, diarreas, vértigo, debilidad e ictericia. Así, se han observado vómitos y diarreas por consumo de té con 25 ppm de cobre y se han descrito también erupciones cutáneas por ingestión de agua con 7.6 ppm de este metal. Un caso especial de intoxicación se produce en la enfermedad de Wilson, alteración congénita que afecta al metabolismo del cobre, en la que aparecen trastornos con la ingestión de concentraciones normales de este metal. Aunque se han encontrado valores elevados de cobre, hierro y zinc en ciertos tumores provocados experimentalmente en animales de laboratorio por xenobióticos orgánicos, no ha sido demostrada la responsabilidad carcinogénica del cobre. El Comité Mixto FAO/OMS establece la cantidad de 0,5 mg/kg como ingestión máxima diaria admisible (Lenntech, 2005).

5.12 Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal pesado que ha adquirido una gran importancia toxicológica; está asociado a la actividad antrópica. A partir de la mitad del siglo pasado, la producción y el uso de cadmio al nivel industrial se ha expandido rápidamente, y su eliminación se ha convertido en un serio problema para el ambiente. Los usos más habituales de este metal son en la industria de la galvanoplastia, la fabricación de baterías y la estabilización de algunos plásticos, aunque el cadmio se ha utilizado también en la elaboración de algunos plaguicidas y fertilizantes (Fernández, 2003).

5.12.1 Intoxicación por cadmio

Estas actividades, lo remueven de sus depósitos naturales insolubles, distribuyéndolo en los diferentes compartimentos ambientales, como aire, tierra y agua, siendo éste el más importante. Esta dinámica ambiental del metal conlleva la exposición crónica de los organismos, con consecuencias tanto a escala individual como poblacional como consecuencia de los procesos de bioacumulación. Por ello, los impactos son variados y ocurren a distintas escalas, ocurren desde el organismo hasta ecosistema. El cadmio que entra en el organismo suele fijarse rápidamente a los tejidos, localizándose la mayor parte en el hígado y el riñón, donde podrá ejercer sus efectos toxicológicos (Greco y Maté, 2005).

5.12.2 Qué le sucede al cadmio cuando entra al medio ambiente?

- El cadmio entra al aire de fuentes como la minería, industria, y al quemar carbón y desechos domésticos.
- En el aire, partículas de cadmio pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo o en el agua.
- El cadmio entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de desechos peligrosos.
- Se adhiere fuertemente a partículas en la tierra.
- Parte del cadmio se disuelve en el agua.
- No se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma.

- Las plantas, peces y otros animales incorporan cadmio del medio ambiente.
- El cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles.

(Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 1999)

5.12.3 Cómo puede perjudicar la salud el cadmio?

Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea. El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. El contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos (Estrucplan, 2006).

Aunque no han hecho un estudio detallado de las dosis, los investigadores destacan la existencia de una fuerte respuesta estrogénica en los animales con dosis consideradas bajas: entre 5 y 10 microgramos semanales por kilo de peso. La cifra es preocupante porque coincide con el límite considerado tolerable en humanos, 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso (Fernández, 2003).

5.12.4 Consecuencias de la intoxicación por cadmio

A pesar de que son claras las evidencias de la toxicidad del cadmio, aún no se realizan estudios formales acerca de las consecuencias reales que tiene la acción de este metal sobre los organismos vivos, especialmente en el humano. Es muy posible que algunos de nuestros padecimientos (tales como el cáncer, enfermedades renales, hepáticas, pulmonares, etc.), estén ligados con la exposición prolongada al cadmio. La investigación ayudaría, además, a profundizar en los mecanismos básicos de daño y permitiría un mejor entendimiento de la toxicidad del cadmio y su posible tratamiento (Barrera, 2004).

5.13 Normatividad para los metales pesados.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que los niveles mínimos de plomo en la sangre, a los cuales se observa un efecto sobre la salud de las personas son 15-20 mg/dl en adultos y 10 µg/dl en niños, y que sobre esta base la OMS recomienda, en su última revisión, un nivel de concentración de plomo en el aire de 0.5 µg/m³ anual. Los efectos en salud del plomo inhalado dependen, entre otros, del tamaño de las partículas. Una alta proporción de las partículas pequeñas inhaladas (menor a 2.5 micrones) se deposita en la parte más profunda del sistema respiratorio, alvéolos, desde donde el plomo difunde casi en un 100% al torrente sanguíneo (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2001).

5.13.1 Limite máximo permisible de plomo

La concentración de plomo en el aire, establecida como valor limite permisible para el ambiente en general por la EPA es de 1.5 µg/dl. Sin embargo, recientes estudios demuestran cambios neuropsicológicos en niños con niveles de plomo en sangre de 710 µg/dl, por lo que se ha establecido este valor como valor alerta que no debe ser sobrepasado para la población infantil (Corey y Galvao, 1989).

En el caso de la población laboral, los niveles de plomo en sangre, establecidos como permisibles por la OMS en 1980, no han de ser superiores a 40 µg/dl en adultos masculinos y a 30 µg/dl en mujeres en edad fértil (Martinez y Sosa, 1994)

La normatividad señalada por la Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícola es de 400 mg/kg de plomo (EPA, 1994).

El nivel máximo en los estados unidos para considerar que un sitio contaminado ya no lo esta (Superfund cleanup goal) es de 500 µg/g (500 partes por millón) (Al Benin *et al.*, 1999)

5.14 Partes por millón

Partes por millón (ppm) es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases. También se puede definir como: la cantidad de materia contenida en una parte sobre un total de un millón de partes. Técnicamente, 1 ppm corresponde a $1\mu\text{g/g}$ o $1\mu\text{g/ml}$. Se trata de una unidad genérica de medida en el sentido de que puede representar diferentes unidades de medida (por ejemplo mg/l , $\mu\text{g/ml}$, mg/kg). Por tanto, si usted tiene datos de calidad de un agua en mg/l debe saber que esos datos son equivalentes a ppm. Por ejemplo, decir que un agua tiene una concentración de 50 mg/l de calcio es lo mismo que decir que su concentración en calcio es de 50 ppm (Wikipedia, 2006c).

5.14.1 Concentraciones de residuos y su interpretación intuitiva

Es un poco difícil imaginarse lo que significa una parte por millón (PPM), por billón (PPB) o por trillón (PPT). También lo es interpretar la magnitud de dilución que representan esas medidas, y aunque se lo represente en otra forma, digamos miligramos por mililitro (mg/ml) o por litro (l), tampoco esto es fácil de intuir. Mucho menos cuando hablamos de nanogramos o picogramos por mililitro (ng o pg/ml). Debemos tener en cuenta que con las metodologías analíticas actuales, la determinación de concentraciones en el orden de los ng o pg/ml es normal con las rutinas de ensayo en los laboratorios analíticos. Concentraciones más bajas aún pueden ser determinadas por medio de metodologías y equipamientos más sofisticados. Por lo tanto, y a los fines ilustrativos se presenta en la Cuadro 1 una equivalencia entre las partes por millón, billón o trillón, las unidades por mililitro o litro y la dilución en términos manejados intuitivamente por el público. Esta tabla nos da una clara idea sobre la enorme sensibilidad que han alcanzado las metodologías analíticas en los últimos años.

Cuadro 1. Equivalencias entre diversas unidades de medida y términos de manejo corriente

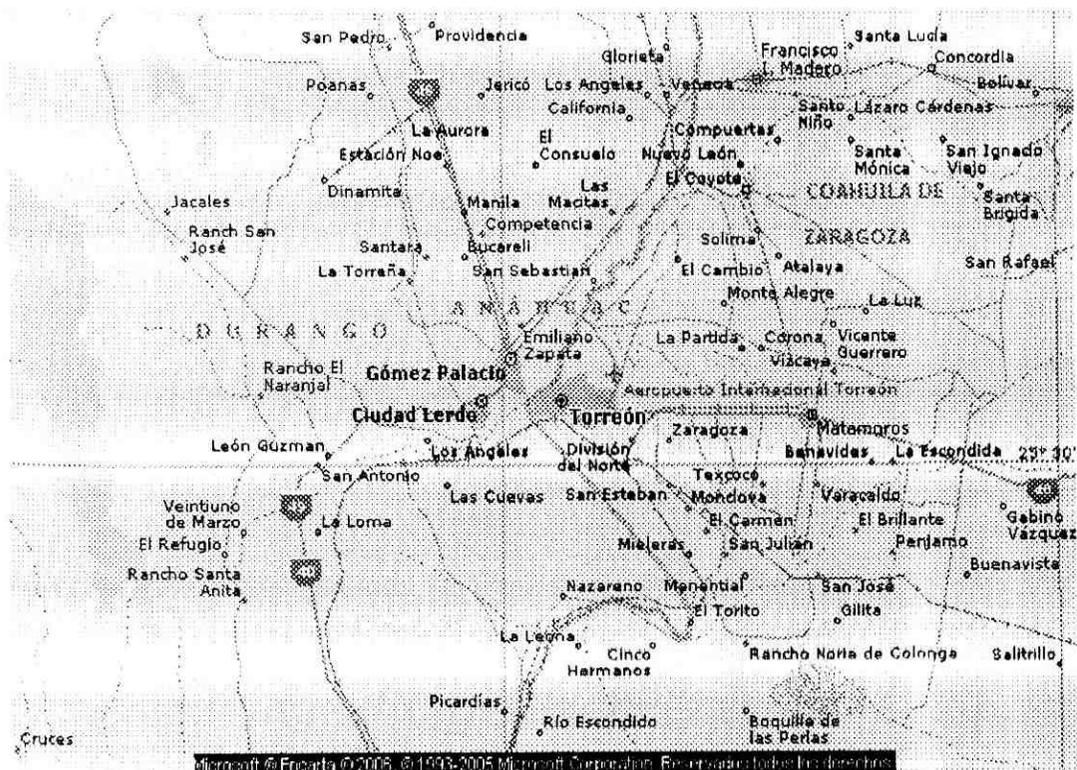
Definición de laboratorio	Notación científica	Unidad peso/vol	Peso	Volumen
1 %	10^{-2}	10 mg/ml	1 sobrecito de azúcar	1 taza de café
1 por mil	10^{-3}	1 mg/ml	1 sobrecito de azúcar	1 jarra de un litro
1 PPM	10^{-6}	1 μ g/ml	1 sobrecito de azúcar	1 tanque de mil litros
0,1 PPM	10^{-7}	0,1 μ g/ml	1 sobrecito de azúcar	1 camión tanque
1 PPB	10^{-9}	1 ng/ml	1 sobrecito de azúcar	1 buque tanque
1 PPT	10^{-12}	1 pg/ml	1 sobrecito de azúcar	1 represa
1 PPC	10^{-15}	1 fg/ml	1 sobrecito de azúcar	1 gran lago

mg: miligramo; μ g: microgramo; ng: nanogramo; ft: femtogramo (FAO, 2006).

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización geográfica del área de estudio

El procedimiento para hacer las determinaciones de los metales pesados se llevó a cabo en el laboratorio de suelos dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, la cual se localiza en Periférico y Carretera a Santa Fe, Km. 1.5, en Torreón, Coahuila México; durante el periodo marzo del 2006 a enero del 2007.



6.2 Procedimiento

Para llegar y lograr los objetivos e hipótesis establecidos se llevaran a cabo las siguientes actividades:

Se buscaron colmenas en diferentes puntos de la ciudad de Torreón para poder tomar las muestras de abejas necesarias. Para tomar las muestras de abejas fueron colocadas en frascos que contenían alcohol al 70 %. Se trajo una muestra de otro estado (Guerrero) en donde no existen las mismas condiciones en las que se encuentran las de la ciudad de Torreón, Coahuila

(por la industria), para hacer una comparación de las concentraciones encontradas en dichos lugares. Las muestras tomadas se llevaran al laboratorio para después mediante el siguiente procedimiento ser analizadas:

6.2.1 Método de “Digestión seca o Cenizas”

1.- El número de abejas junto con su contenido de alcohol respectivamente que contenía cada muestra se colocó en una cápsula de porcelana.

2.- Se colocó la cápsula con la muestra en la estufa “mapsa” y se elevó la temperatura a 60 °C y se dejó durante 24 hr dentro.

3.- Pasado el tiempo se sacó la muestra de la estufa y se molió en un mortero con mano, posteriormente se pesó la muestra molida y se depositó en la capsula de porcelana.

4.- Posteriormente se metió la cápsula a la mufla “felisa” elevando la temperatura paulatinamente hasta llegar a los 800 °C, ya programada se dejó por 2 hr y posteriormente se sacó de la mufla.

5.- Si la ceniza obtenida es negra, se disuelve con 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) y se vuelve a meter a la mufla por media hora (esto se hace cuantas veces sea necesario).

6.- Si la ceniza es blanca, sacar la capsula y agregar ácido nítrico (HNO_3) para disolver (solo el necesario).

7.- Se vació en un tubo de ensayo de 25 ml para preparar la dilución de HNO_3 y agua destilada.

8.- Obtenida la dilución fue leída en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Para obtener los resultados de las lecturas que dio el Espectrofotómetro de Absorción Atómica se procederá de la siguiente manera:

6.2.2 Obtención de resultados

Para la obtención de los resultados se utilizó la siguiente fórmula, en la cual se multiplica la lectura obtenida por los ml de agua destilada, la cual se le agrega a las cenizas, entre el peso seco de las abejas en cenizas.

$$\text{Resultado} = \frac{\text{(Lectura) (ml agua destilada agregada)}}{\text{Peso seco de las abejas}}$$

En el caso de algunas muestras que no fue posible leer en dilución normal: cenizas mas 2 ml de HNO₃ (ácido nítrico) y 25 ml de agua destilada, se hizo una nueva dilución la cual reunió 1 ml de dilución normal, mas 25 ml (en otros casos fueron de 10 ml) de agua destilada, en la cual se utilizó la siguiente fórmula para la obtención de los resultados.

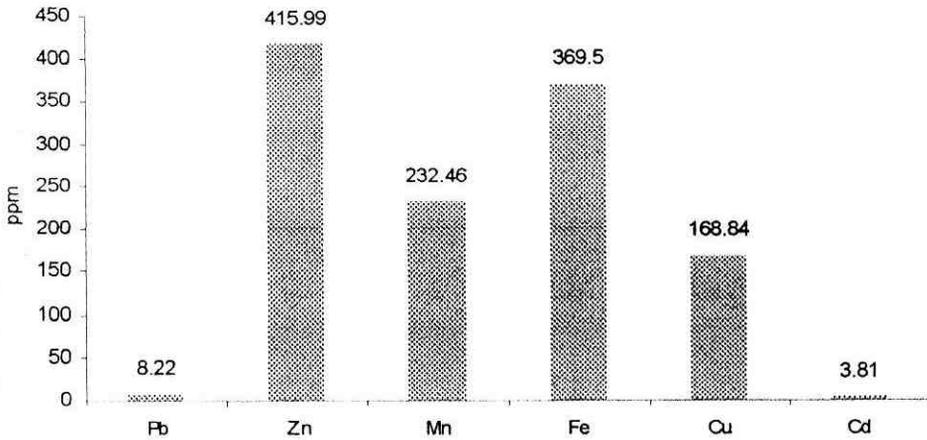
$$\text{Lecturas ** resultados} = \frac{\text{(Lectura) (ml agua destilada agregada) (**)}}{\text{Peso seco de las abejas}}$$

En este caso se diferencia de la primera por la multiplicación de los ml de agua destilada por los agregados de la segunda dilución (**).

VII. RESULTADOS

7.1 Colonia Los Ángeles, Torreón, Coahuila

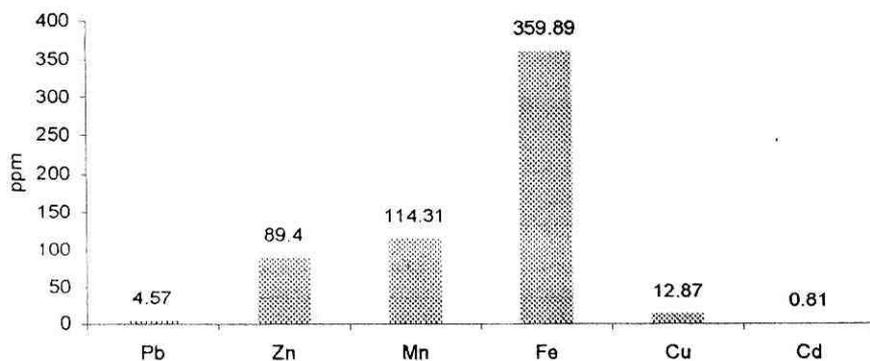
En la Gráfica 1, se observa que los valores encontrados de la concentración de metales pesados son muy elevados debido a que este es el sitio más cercano a dicha compañía en el cual abunda más el Zinc seguido por el Fe, Mn, Cu, Pb y Cd, los cuales representan un peligro para la población aledaña.



Gráfica 1. Concentraciones de metales pesados, en las abejas de la Colonia Los Angeles de Torreón, Coahuila, ubicada a 2.4 km al Norte de la compañía Peñoles. 27 de septiembre del 2006.

7.2 Colonia San Joaquín, Torreón, Coahuila

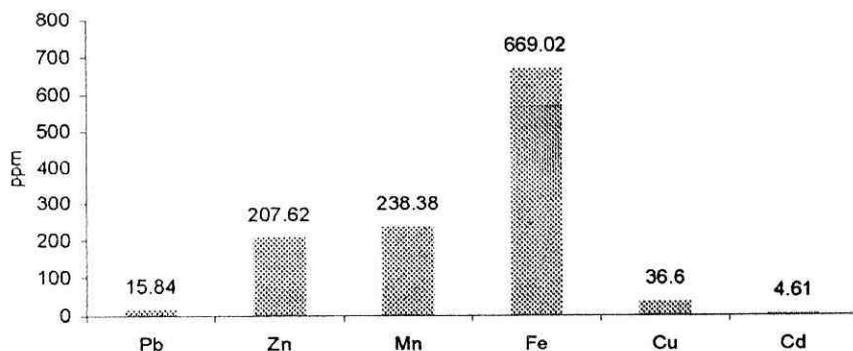
En la Gráfica 2, se puede notar que la variación entre el Hierro y el cadmio son significativas, el plomo más arriba que el valor del cadmio, las cuales son consideradas concentraciones altas con respecto a la Norma Oficial Mexicana del plomo para el aire (NOM-026-SSA1-1993).



Gráfica 2. Concentraciones de metales pesados en las abejas de la Colonia San Joaquin de Torreón, Coahuila, ubicada a 3.1 km al Oeste de la compañía Peñoles. 19 de septiembre del 2006.

7.3 UAAAN, Torreón, Coahuila

En la Gráfica 3, se puede apreciar que el Hierro tiene una de sus concentraciones mas altas seguido por el Mn, Zn, Cu, el Plomo con su máxima concentración encontrada de 15.84 ppm y el cadmio aun que con menor concentración pero a la vez elevada, con respecto a las demás.

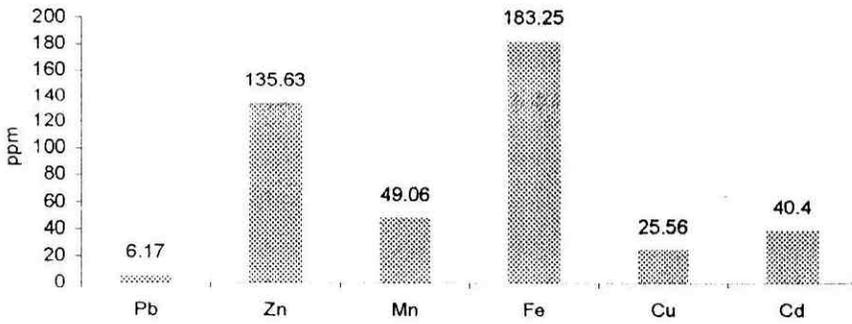


Gráfica 3. Concentraciones de metales pesados, en las abejas de la UAAAN de Torreón, Coahuila, ubicada a 6.8 km al Sureste de la compañía Peñoles. 17 de noviembre del 2006.

7.4 Ejido Carlos Real, Cd. Lerdo, Durango

En la Gráfica 4 se observó que las concentraciones halladas en este sitio son notablemente distintas a otros sitios ya que el Hierro disminuyó y el

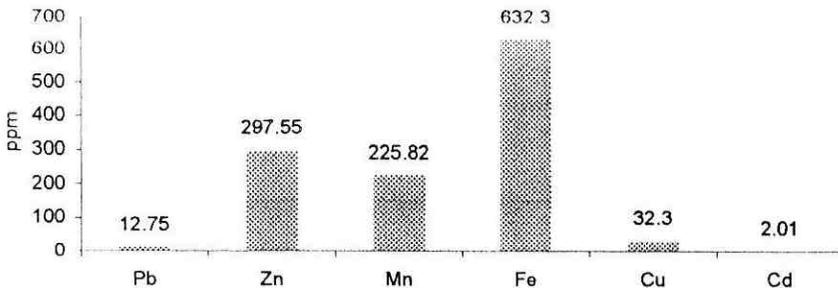
Cadmio aumentó su concentración por arriba del Plomo y el Cobre en una distancia relativamente cercana a los demás sitios muestreados.



Gráfica 4. Concentraciones de metales pesados, en las abejas del Ejido Carlos Real de Cd. Lerdo, Durango, ubicado a 8 km al Oeste de la compañía Peñoles. 15 de noviembre del 2006.

7.5 Ejido Anna, Torreón, Coahuila

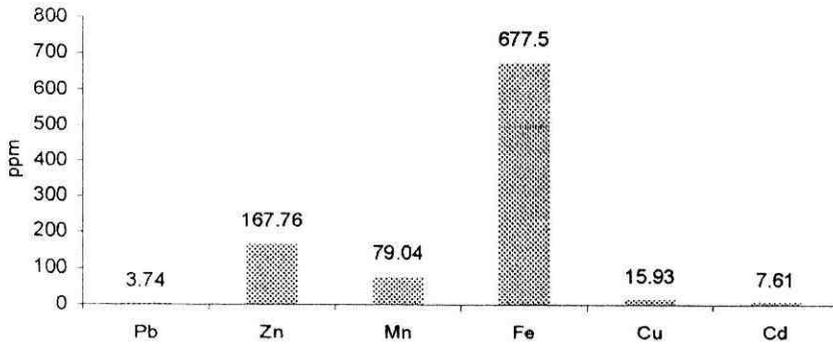
En la Gráfica 5, Se puede observar que el Hierro tiene un alto valor de concentración junto con el Zinc, cabe señalar que el Plomo tiene un valor muy elevado, tomando en cuenta la distancia de dicho sitio de muestreo.



Gráfica 5. Concentraciones de metales pesados, en las abejas del Ejido Anna de Torreón, Coahuila, ubicado a 9.2 km al Noreste de la compañía Peñoles. 27 de octubre del 2006

7.6 Ejido California, Gómez Palacio, Durango

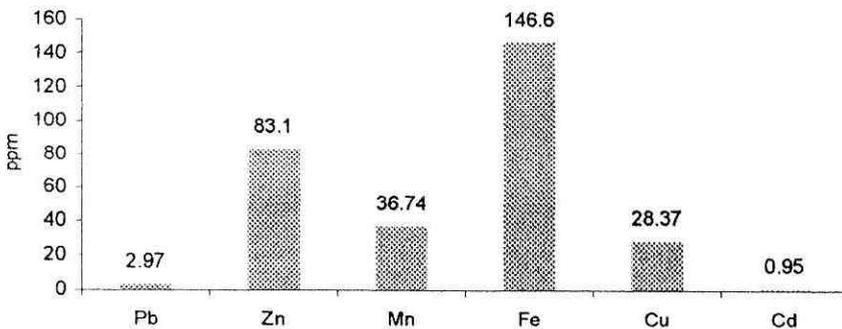
En la gráfica 6, se puede apreciar la gran diferencia que hace el Hierro entre los demás metales, en la cual el mínimo es el plomo, y el cadmio con su concentración muy elevada con respecto a la distancia.



Gráfica 6. Concentraciones de metales pesados, en las abejas del Ejido California de Gómez Palacio, Durango, ubicado a 12 km al Norte de la compañía Peñoles. 15 de noviembre del 2006.

7.7 Ejido La Luz, Gómez Palacio, Durango

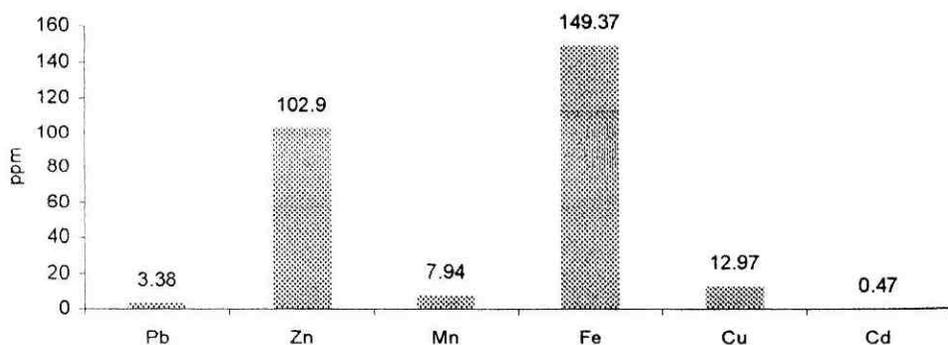
En la Gráfica 7, aquí también se aprecia una notable variación entre el Hierro y el Cadmio como máximo y mínimo valor respectivamente.



Gráfica 7. Concentraciones de metales pesados, en las abejas del Ejido La Luz, de Gomez Palacio, Durango, ubicado a 13 km al Noroeste de la Compañía Peñoles. 15 de junio del 2006.

7.8 Ejido La Concordia, Fco. I. Madero, Coahuila

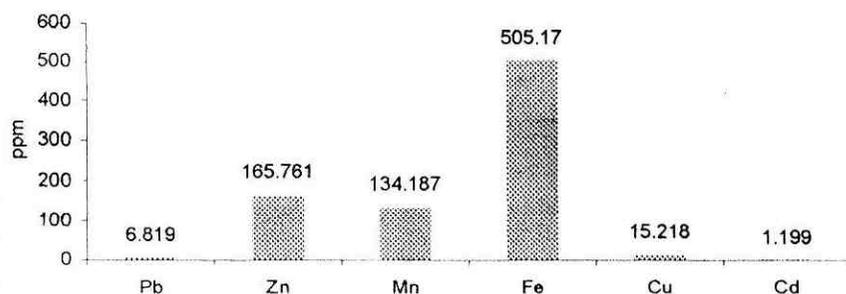
En la gráfica 8, se aprecia una gran variación de concentraciones entre metales en la cual se hace notar la diferencia de Hierro con una concentración de 149.37 ppm como máximo, y el Cadmio con 0.47 ppm como mínimo.



Gráfica 8. Concentraciones de metales pesados en las abejas del Ejido La Concordia de Fco. I. Madero, Coahuila, ubicado a 42 km al Noreste de la compañía Peñoles. 02 de junio del 2006

7.9 Buenavista de Allende, Guerrero

En la Gráfica 9, se hacen notar mucho las concentraciones encontradas debido a la distancia del sitio muestreado, con una significativa concentración de Hierro como valor máximo y Cadmio como mínimo.



Gráfica 9. Concentraciones de metales pesados, en las abejas de Buenavista de Allende, Guerrero, ubicado a 1100 km al Suroeste de la compañía Peñoles. 07 de enero del 2007.

7.10 Resultados generales

En el cuadro 2, se pueden apreciar los resultados obtenidos de todas las muestras analizadas con su respectiva ubicación y distancia, en el cual es notoria la gran diferencia que hace el Hierro que se halló con las concentraciones mas altas, habiendo variaciones entre los demás metales (Zn, Mn, Cu, Pb y Cd) los cuales aun que con mas bajas concentraciones, son a la vez muy significativas con respecto a su toxicidad.

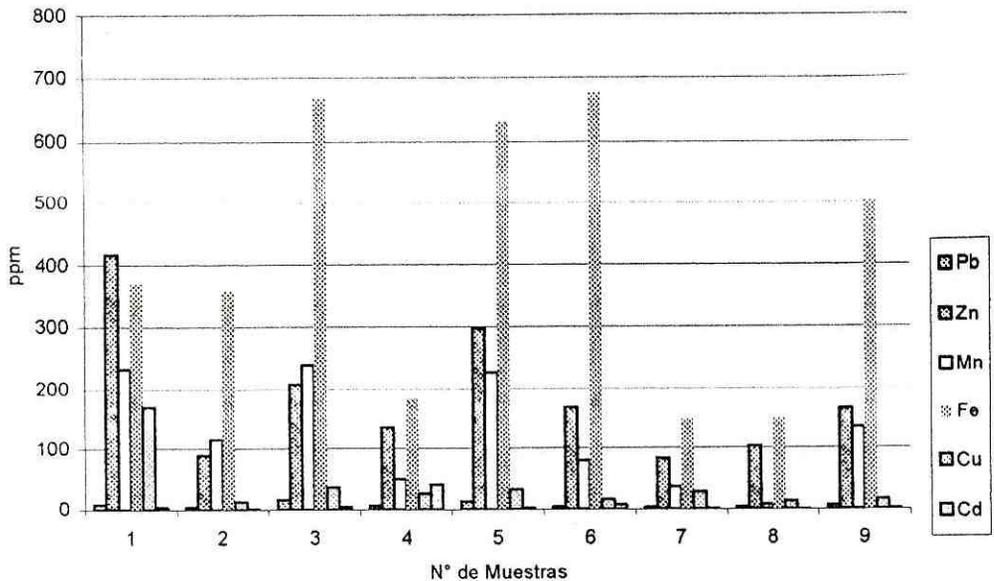
Cuadro 2. Metales pesados en Torreón y sitios aledaños,(en partes por millón) 2007.

Metales Pesados	Torreón Col. Los Ángeles 2.4 km	Torreón Col. San Joaquín 3.1 km	Torreón UAAAN 6.8 km	Lerdo, Ej. Carlos Real 8 km
Pb	8.22	4.57	15.84	6.17
Zn	415.99	89.40	207.62	135.63
Mn	232.46	114.31	238.38	49.06
Fe	369.5	359.89	669.02	183.25
Cu	168.84	12.87	36.6	25.56
Cd	3.81	0.81	4.61	40.4
Ubicación	Norte	Oeste	Sureste	Oeste

Continuación...

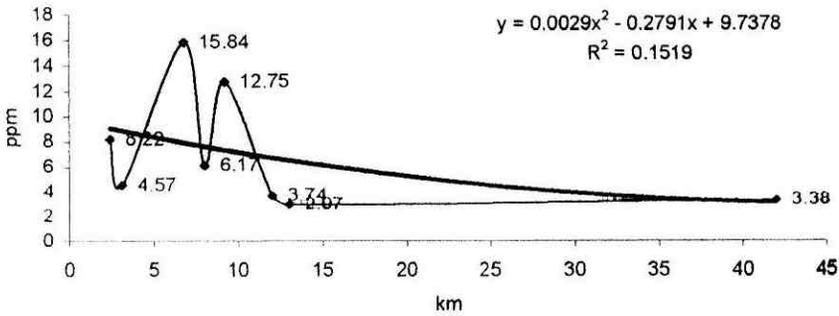
Metales pesados	Torreón Ej. Anna 9.2 km	Gómez P. Ejido California 12 km	Gómez P Ej. La Luz 13 km	Fco. I. M. Ej. La Concordia. 42 km	Guerrero B. vista de Allende 1100 km
Pb	12.75	3.74	2.97	3.38	6.819
Zn	297.55	167.76	83.1	102.9	165.761
Mn	225.82	79.04	36.74	7.94	134.187
Fe	632.3	677.5	146.6	149.37	505.17
Cu	32.3	15.93	28.37	12.97	15.218
Cd	2.01	7.61	0.95	0.47	1.199
Ubicación	Noreste	Norte	Noroeste	Noreste	Suroeste

En la Gráfica 10, se observa claramente el sitio con mayor concentración de Hierro que es la muestra 6, del Ejido California de Gómez palacio, Durango, La muestra 1 de la colonia Los Ángeles de Torreón, Coahuila, con mayor concentración de Zinc, en la muestra 3 se registro la mas alta concentración de Manganeso, la cual pertenece a la UAAAN, nuevamente la colonia Los Ángeles registro la mas alta concentración de Cobre, La mayor concentración de plomo se hallo en la Muestra 3 de la UAAAN, y por ultimo la mayor concentración de cadmio que se presento, se hallo en la muestra 4 del Ejido Carlos Real de Cd. Lerdo, Durango, aunque el cadmio y el plomo se hallaron en bajas concentraciones estos son mas tóxicos en mas bajas concentraciones.



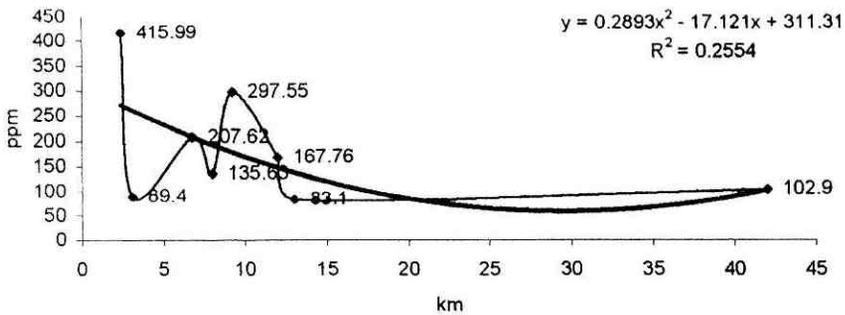
Gráfica 10. Datos generales de las concentraciones de metales pesados, encontrados en los diferentes puntos de muestreo

En la Gráfica 11, se nota la variación que presenta el plomo con respecto a las diferentes distancias de los puntos de muestreo, las cuales fueron de las concentraciones mas bajas encontradas las cuales tienden a bajar cuanto mayor es la distancia, en un rango de 2.97 – 15.84 ppm.



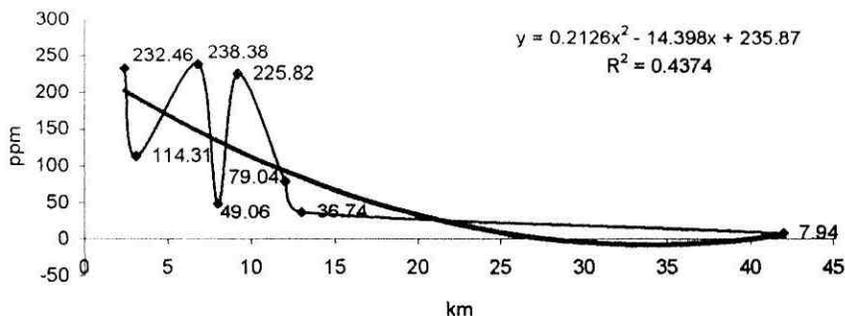
Gráfica 11. Concentraciones generales de Plomo en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.

En la Gráfica 12, se aprecia la variación de concentraciones de Zinc que se presentan en los primeros puntos muestreados relacionado con el ultimo que presenta una tendencia a la baja en cuanto a su concentración y a mayor distancia, con un rango de 83.1 – 415.99 ppm.



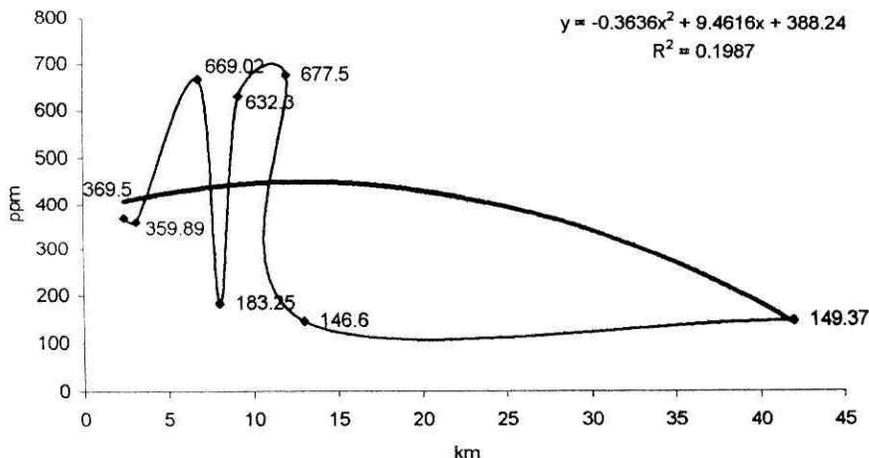
Gráfica 12. Concentraciones generales de Zinc en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.

En la Gráfica 13, se puede apreciar lo que se ha venido viendo en las demás graficas, ahora en el Manganeso, en cuanto mayor sea la distancia del punto de muestreo menor será la concentración de metales pesados, en este caso con un rango de 7.94 – 238.38 ppm.



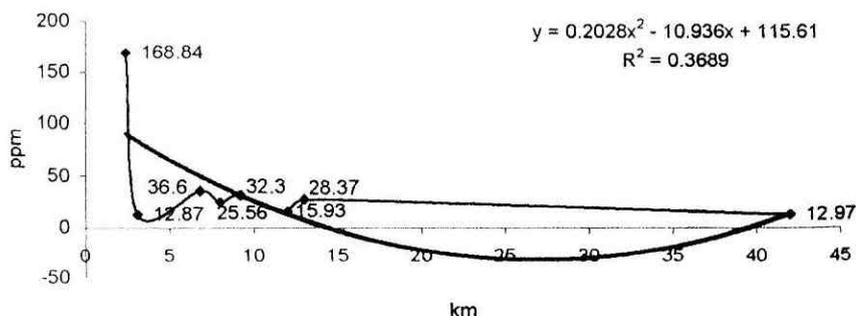
Gráfica 13. Concentraciones generales de Manganeso en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños

En la Gráfica 14, se presentan las mayores concentraciones encontradas de Hierro entre todos los metales monitoreados, en las cuales en un solo caso se presento por debajo del zinc, en un rango de 146.6 – 677.5 ppm.



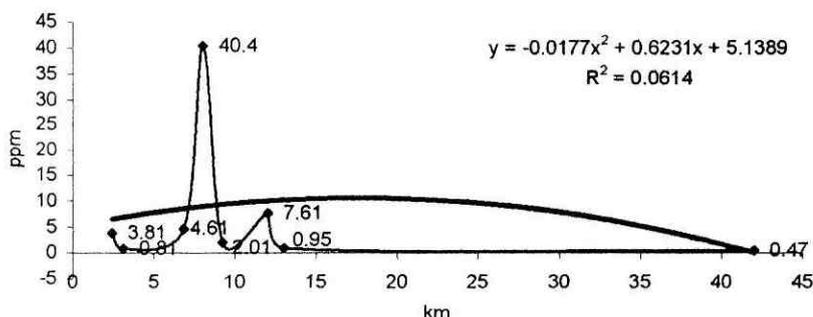
Gráfica 14. Concentraciones generales de Hierro en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.

En la Gráfica 15, se aprecia la tendencia a bajar de las concentraciones de Cobre el cual presenta un rango de 12.87 – 168 ppm. Que fue su máximo valor encontrado el cual vario mucho con respecto a los demás y que fue la distancia mínima.



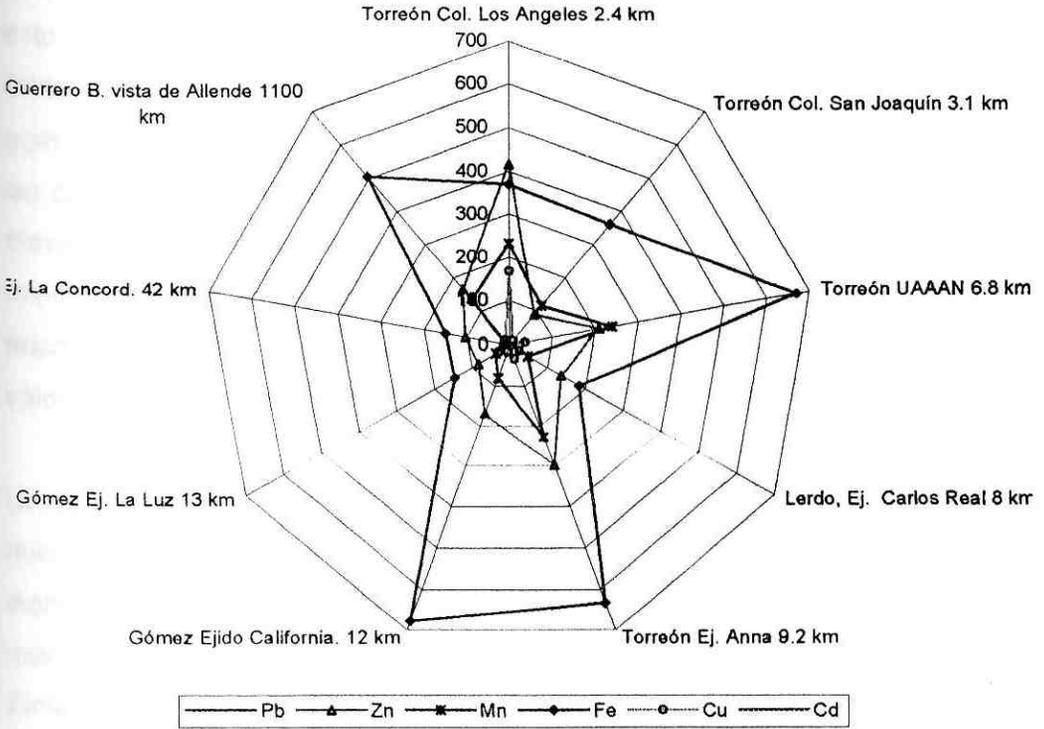
Gráfica 15. Concentraciones generales de Cobre en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.

En la Gráfica 16, es muy notoria una elevación de concentración del Cadmio en la muestra del Ejido Carlos Real de Cd. Lerdo, Durango, con respecto a las demás concentraciones, con un rango de 0.47 – 40.4 ppm, este elemento fue junto con el plomo uno en los que se hallaron los valores mas bajos, esto quiere decir que sean menos peligrosos, ya que el Cd y el Pb son los metales mas tóxicos.



Gráfica 16. Concentraciones generales de Cadmio en los puntos muestreados de la ciudad de Torreón y sitios aledaños.

En la gráfica 11, se puede apreciar como fueron variando los resultados con respecto a las distancias entre los puntos de muestreo, en el cual la mayor concentración que se registro de hierro fue en el Ejido California a 12 km de la metalúrgica Peñoles.



Gráfica 17. Resultados (ppm, 0-700) y distancias de los sitios muestreados, Tomando como referencia la compañía Peñoles.

VIII. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la realización de este “biomonitoreo”, muestran las altas concentraciones de los seis metales pesados que han sido monitoreados y que son arrojadas a la atmósfera, las cuales representan una gran problemática para los humanos y el medio ambiente en general, esto tomando como referencia la NOM-026-SSA1-1993 la cual establece un límite máximo permisible de plomo en la atmósfera en espacio abierto de $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (INE, 2006), el cual equivale a 3.2^{-06} ppm. Por tanto da a entender que las concentraciones halladas en el aire de los sitios muestreados son muy elevadas, como ejemplo tenemos el ya mencionado Plomo (Pb) con concentraciones que van desde 2.97 hasta 16.91 ppm y el metal que se encontró con mayores concentraciones en el aire fue el Hierro (Fe) con valores que van desde 146.6 hasta 756.38 ppm.

Un estudio de metales pesados se llevo acabo en Finlandia, utilizando la miel, el polen y las abejas, estas ultimas como biomonitores del aire. En dicho estudio se obtuvieron niveles bajos de concentración de metales en miel y polen con lo que respecta a los límites máximos permitidos en Finlandia. En abejas fue un poco diferente ya que se encontraron concentraciones mas elevadas como ejemplo el Plomo que fue de 0.42 a 18 ppm y Cadmio de 0.85 a 1.8 ppm, los cuales solo se encontraron en un sitio de los 12 que se muestrearon en Finlandia donde se tiene una fabrica de fundición (Fakhimzadeh *et al.*, 2000).

En México no existen otros estudios sobre contaminación de metales pesados en el aire de tal manera que se carece de un parámetro de comparación (Aguilar *et al.*, 1999). Así, los puntos de contraste son estudios realizados a suelos y aguas en los cuales, sí han sido hallados algunos metales pesados. Tal es el caso de un estudio de suelo realizado aquí mismo en la comarca lagunera, el que determinó, que las muestras de suelo tienen una concentración de plomo en un rango de 286.5 mg/L -128.7 mg/L (González, 2007). El valor promedio es tolerable a los 400 $\mu\text{g}/\text{g}$ considerado

como límite máximo para que el suelo pueda ser utilizado para uso residencial (EPA, 1994).

Se han hecho estudios en cuerpos de agua tal es el caso de la empresa Primex, ubicada en Altamira, México, el cual es similar al monitoreo del aire, ya que se tomaron muestras de los canales de descargas de agua de dicha empresa. Las muestras de agua de las descargas sólo tuvieron zinc en concentraciones detectables. La mayoría de las muestras de sedimento tuvieron concentraciones de metales dentro del intervalo normal para lugares no contaminados. Sin embargo, las dos muestras de sedimentos más cercanas al camino contuvieron concentraciones elevadas: plomo de 125 a 225 ppm y zinc de 800 a 1717 ppm y la otra parte del camino tuvo elevadas concentraciones de cobre que fueron de 47 a 184 ppm y manganeso de 74 a 207 ppm (Stringer *et al.*, 2001)

Entre las concentraciones encontradas en el aire no se debe dejar de lado las emisiones vehiculares ya que constituyen un porcentaje muy alto de la contaminación urbana. Los metales pesados más relacionados con el tráfico vehicular son el Pb, Cu y Zn. En México, cambios legislativos estrictos dispusieron varias alternativas para el mejoramiento de la calidad ambiental producida por motores vehiculares: la introducción al mercado de una gasolina libre de Pb en 1988 fue reconocida mundialmente como una contribución significativa para reducir los gases tóxicos en la atmósfera (Cabral *et al.*, 2001)

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

1. Las abejas, por su anatomía, pueden ser utilizadas como biomonitores del aire.
2. El metal pesado predominante en el aire es el Hierro del cual se encontraron concentraciones superiores a la de los demás metales
3. El Zinc, Manganeso y Cobre se encontraron en concentraciones elevadas
4. El Cadmio y Plomo presentaron los valores comparativamente mas bajos
5. El contenido de Plomo en la atmósfera excede el límite máximo permitido por la Norma
6. Los metales pesados disminuyen sus concentraciones a medida que la distancia es mayor a la empresa emisora.

X. RECOMENDACIONES

- Seguir haciendo este tipo de investigaciones para seguir recalcando la gran importancia negativa que tiene esta problemática.
- Se recomienda en un próximo estudio de determinación de metales pesados utilizando a las abejas, establecer cada uno de los parámetros a seguir, como, muestrear los sitios considerados por el alumno.
- Así como también se recomienda estudiar un cierto número o peso de abejas en cada muestra, para así obtener un resultado mas claro y preciso.
- Se recomienda buscar aparatos más sofisticados y precisos para leer muestras, como pudiera ser, la utilización de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Homo de Grafito.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR), 1999 (en línea).
Reseña Toxicológica del cadmio, Atlanta, GA, USA.
(http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html) (Consulta 20 de noviembre del 2006)
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2001 (en línea).
Reseña Toxicológica del Manganeso. Atlanta, GA, USA
(http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts151.pdf)(Consulta 27 agosto del 2006)
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2005a (en línea).
Reseña Toxicológica del Plomo, Atlanta GA, EUA.
(http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html) (Consulta 25 de abril del 2006)
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). 2005b (en línea).
Reseña Toxicológica del Zinc, Atlanta GA, EUA
(http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.html) (Consulta 27 de agosto del 2006)
- Aguilar M. G., Piacitelli G. M., Juárez C. A., Vázquez J. H., Howard H. y Hernández A. M. 1999. Exposición ocupacional a plomo inorgánico en una imprenta de la Ciudad de México. Salud pública. Vol. 41, N° 1, Cuernavaca, Morelos, México.
- Albert L. y F. Badillo. 1991. "Environmental lead in Mexico", Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Vol. 117, pp. 1-49.
- Al Benin, J. D. Sargent, M. Dalton y S. Roda. 1999. High Concentrations of Heavy metals in Neighborhoods Near Ore Smelters in Northern Mexico, Environmental Health Perspectives, Vol. 4, pp. 278 – 294.

Apiservices -, 2004 (en línea) Tecnología Nuclear en Apicultura, Galería Apícola Virtual. (http://caebis.cnea.gov.ar/IdEN/CONOC_LA_ENERGI_A_NUC/CAPITULO_5_Difusion/LA_TECNOLOGIA_NUCLEAR/Tecnol_Nucl_en_apicult.htm) (Consulta 23 de abril del 2006).

Barrera, B. E. 2004 (en línea) Toxicidad del Cadmio, México D.F. (http://enciclopedia.us.es/index.php/Toxicidad_del_cadmio) (Consulta 23 de septiembre del 2006)

Cabral C. E., Graffé S. F. y Godoy O. F. 2001 (en línea). Geofísica, Edición técnica, N° 10, UNAM, México, D. F. (<http://www.geofisica.unam.mx/divulgación/geofisicosas/geofisicosas10.pdf>) (Consulta 27 de noviembre del 2006)

Centers for Disease Control. 1991. "Preventing Lead Poisoning in Young Children" Atlanta, Georgia, u.s. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Colombo, L., D. Mangione, S. Bellicioni y A. Figlioglia. 1998. Soil profile Distribution of heavy metals in a soil amended with sewage sludge for eight years. Agr. Med. Intern. J. of Agric. Sci. Vol. 128 N° 4, pp. 273-283.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2001 (en línea). Norma de calidad primaria para plomo en el aire, Chile. (<http://www.conama.cl/portal/1255/article-27150.html>) (Consulta 18 de enero del 2007)

Corey, G. y L. Galvao, 1989. Centro Panamericano de ecología Humana y Salud. O.P.S./O.M. Plomo. Serie Vigilancia 8. Metepec, México.

Diario Oficial de la Federación, 1982. "Acuerdo que establece los lineamientos para determinar el criterio que servirá de base para

evaluar la calidad del aire en un determinado momento”, Secretaria de Salubridad y Asistencia, México, 29 de noviembre.

Dieter, M. 1998 (en línea). Transport, and Interactions of Heavy Metals, Environmental Health Perspectives, Tucson, Arizona, USA. (<http://www.ehponline.org/members/1993/101-4/dieter-full.html>) (Consulta 27 de Julio del 2006)

EPA.1994. standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules. Environmental Protection Agency, Federal Register, Part II, 40 CFR Part 257.

Eroski, 2001 (en línea). Medio ambiente, Metales pesados, Toda una Amenaza, Revista Consumer. es, N° 42, Marzo, (<http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/>) (Consulta 22 de marzo del 2006).

Eroski, 2006 (en línea). Abejas: Algo más que miel. Revista Consumer. es, (http://www.consumer.es/accesible/es/medio_ambiente/naturaleza/2006/09/25/155645.php) (Consulta 30 de septiembre del 2006).

Estrucplan, 2006. (en línea). Toxicología - Sustancias, Cadmio, Argentina (<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=42>) (Consulta 25 de septiembre del 2006)

Fakhimzadeh, K. y M. Lodenius, 2000 (en línea). Heavy Metals in Finnish Honey, Pollen and Honey Bees, Apiacta, Vol. 35 N° 2, pp. 85 – 95. (<http://www.tiedekirjasto.helsinki.fi:70/bitstream/1975/249/1/2000rApiacta.pdf>)(Consulta 24 de marzo del 2006).

FAO, 2006 (en línea). Concentración de residuos y su interpretación intuitiva, (<http://www.fao.org/docrep/007/y5468s/y5468s0a.htm>) (Consulta 27 de noviembre del 2006)

- Fernández, B. A. 2001. La contaminación del aire, como abatir este Problema de salud, Dirección general de Gestión e Información Ambiental del Instituto Nacional de Ecología, México.
- Fernández M. 2003 (en línea). Metales pesados, los límites de consumo para el cadmio, Revista Consumer. es, Eroski. (<http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigación/2003/09/10/8097.php>) (Consulta 23 de septiembre del 2006)
- Fernández, M. R. y J. A. Fidalgo, 1995. *Química general* Editorial Everest, México. (<http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/conmarcos/elementos/cu.html>) (Consulta 05 de enero del 2007)
- Galán, P; S. Hercberg, 1989. El déficit del hierro en los países industrializados. Una carencia en el contexto de la abundancia (II). Rev. Rol de Enfermería. Vol. 135, pp. 69-73.
- García R. M. 1991. Alimentación humana. Errores y sus consecuencias. Madrid, España.
- Gillari C. P. 2004 (en línea). Abejas para el Monitoreo Ambiental, Revista "ArgentinaNuclear" (http://www.ambienteecologico.com/ediciones/2004/088_01.2004/088_Publicaciones_ArgentinaNuclear.php3) (Consulta 29 de mayo del 2006)
- González C. P. 2007. Fitorremediación de suelos con metales pesados (plomo y cadmio) por medio de Gobernadora *Larrea tridentata* cav. Tesis (No publicada), Torreón, Coahuila, México.
- González, G y C. Díaz; A. Hardisson, L. Galindo, y F. García Montelongo, 1987. Niveles de Co, Cr, Fe, Zn y Pb en frutas y hortalizas enlatadas. Toxicología; Vol. 4: pp. 147-156

- Greco L., Maté, C., 2005 (en línea). Cadmio, un tóxico encubierto, Argentina, (<http://www.ecogenesis.com.ar/index.php?sec=articulo.php&Codigo=30>) (Consulta 23 de septiembre del 2006)
- Healthnotes, 2004 (en línea). Manganeso, Washington, DC, USA. (http://nutrajoint.com/vf/healthnotes/HN_Live/Spanish/EsSupp/Manganeso.htm) (Consulta 20 de noviembre del 2006)
- INE, 2006 (en línea). Contaminantes criterio, México, D. F. (http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/cont_criterio.html#4) (Consulta 18 de enero del 2007)
- Jiménez - Cisneros B. 2001. (en línea). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada, Editorial Limusa. México, D. F. (<http://books.google.com/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA56&lpq=PA56dq=cobre+cu&source=web&ots=IQBIUMEyGH&sig=oq7EB4fyRPjksKZrX27ZNdsqRrg#PPA5,M1>) (Consulta 05 de enero del 2007)
- Lawther, P. J. 1978 (en línea). Un caso de contaminación humana, aspectos en la salud. Simposio sobre calidad de vida y medio ambiente, pp. 69-81; México D. F.
- Lenntech. 2005. Cobre - Cu, Propiedades, Efectos a la salud y al ambiente del cobre. (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cu.htm>) (Consulta 05 de enero del 2007)
- López, A. D. 1984. Química Bioinorgánica. Tercera Edición. Madrid, España. Laef.
- Lozano, A., R. Barbera y R. Farre, 1987. Manganeso. Funciones en el organismo e importancia en la alimentación. Alimentaria, Vol. 186, N° 24: pp. 55-59.

- Martinez, Ma. del C. y G. Sosa, G. 1994. Intoxicación por Plomo. Revista Salud de los Trabajadores, Maracay, Venezuela. 2(2): 159-162
- Martirena J. I. A. y A. Garcia M., 2001. Contenido de metales pesados en suelos forestales de Navarra, España. Tesis doctoral. Gorosti, pp. 20.
- Medline Plus. 2004 (en línea). Zinc en la dieta, Boston, Texas, E. U. (<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002416.htm>) (Consulta 25 mayo del 2006).
- National Academy of Sciences. 1980. Drinking Water and Health. Washington, DC, USA.
- Ramos, B. 2001. Heavy metals, salts and sodium in chinampa soils in México, Facultad de Ciencias, UNAM. Departamento de biología, Laboratorio de edafología. Agrociencia, Vol. 35, N° 4, pp. 387.
- Roberts A. & Associates, Inc. 2001. Manual de control de la calidad del aire., primera edición, Mc Graw – Hill Interamericana editores, s.a. de c.v., México d.f., pp. 1.1 – 1.4, 2.3 – 2.5, 11.3 – 11.11.
- Romieu, I. y M. Lacasaña. 1995. Contaminación por plomo en América Latina y el Caribe. Ecología humana y salud, Vol. XIV, pp. 4-5.
- Rotterdamseweg, B.V. 2006 (en línea). Metales Pesados, Lenntech. 402 M 2629 HH Delft, los Países Bajos. (<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>) (Consulta 25 de julio del 2006).
- Salamanca G., G., F. Londoño M., F. Rivera P. y M. Zapata O. 2001 (en línea) Análisis morfométrico de la abeja *apis mellifera* (L) en algunas zonas apícolas. (<http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/anatomia/analisis%20morfometrico%20aphis.PDF>) (Consulta 18 de abril del 2006).

Stringer, R., Labunska, I. y Brigden, K. 2001 (en línea). Contaminantes organoclorados y metales pesados en los alrededores de Primex, Altamira, México. (http://host22.hrwebservices.net/~greenpe/php/gp.php?target=%2F%7Egpenpe%2Fphp%2Fdoc.php%3Fc%3Dtox%26f%3Dtx_altamira.xml) (Consulta 12 de enero del 2007)

Tripp, S. 2005 (en línea). El plomo encabeza la lista de los tóxicos del desarrollo emitidos por la industria al medio ambiente. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, EUA. (<http://www.cec.org/news/details/index.ctm?varlan=espanol&ID=2668>) (Consulta 27 marzo del 2006)

Universidad de California. 2004 (en línea). Programa de Seguridad y Salud Ocupacional, Los Ángeles, CA, EUA. (http://www.losh.ucla.edu/catalog/factsheets/lead_spanish.pdf) (Consulta 27 de agosto del 2006)

University of Virginia Health System. 2006. (en línea). La intoxicación por plomo., Charlottesville, VA, EUA, (http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/adult_nontrauma_sp/lead.cfm) (Consulta 27 de agosto del 2006)

Valdés P., F. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila. En defensa del ambiente, A.C. Ciudadanía lagunera por los derechos humanos, A.C. septiembre. Primera edición, Torreón, Coahuila, México.

Wark, W. 2004. Contaminación del aire, origen y Control, Sexta reimpresión, Editorial Limusa, S.A. de C.V., México D.F. pp. 17 – 58.

Wikipedia, 2006a (en línea) Hierro. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Hierro>) (Consulta 20 de noviembre del 2006)

Wikipedia, 2006b (en línea) Cobre. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>)
(Consulta 05 de enero del 2007)

Wikipedia, 2006c (en línea). Partes por millón
(http://es.wikipedia.org/wiki/Partes_por_mill%C3%B3n) (Consulta 27
de noviembre del 2006)

Yassi A, T. Kjellstrom T, de Kok T. y T. L.Guidotti. 2001. Basic environmental
Health., Nueva York: Oxford University Press. pp. 256-257.