

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN AGUA POTABLE DE
ZONAS ALEDAÑAS A MET- MEX PEÑOLES, TORREÓN
COAHUILA**

POR

MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MOTA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN AGUA POTABLE DE ZONAS ALEDAÑAS A
MET - MEX PEÑALES, TORREÓN, COAHUILA.**

**TESIS DEL C. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MOTA QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

Héctor Madinaveitia Ríos

ASESOR PRICIPAL:

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:

Joel Limones Avitia
ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:

Mario García Carrillo
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

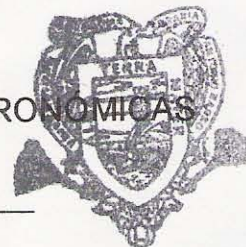
ASESOR:

Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo
Q.F.B. NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

M.C. Víctor Martínez Cueto

M.C VICTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN. COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

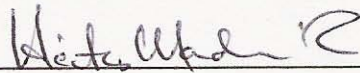
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.

**CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN AGUA POTABLE DE ZONAS
ALEDAÑAS A MET - MEX PEÑALES, TORREÓN, COAHUILA.**

TESIS DEL C. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MOTA QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

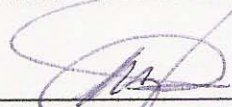
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:



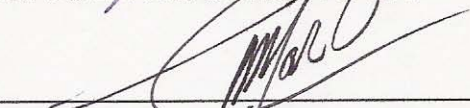
PRESIDENTE:

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS



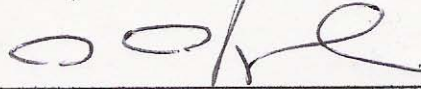
VOCAL:

ING. JOEL LIMONES AVITIA



VOCAL:

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO



VOCAL SUPLENTE:

DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS:



M.C VICTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN. COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2008

Agradecimientos.

A Dios.

Por la vida, por la fortaleza que me ha dado para seguir adelante en mi vida y haberme permitido culminar uno de mis sueños.

A mi Alma Terra Mater

Por cobijarme en su seno y darme las herramientas necesarias para poder prepararme y culminar la carrera.

A mis Padres.

Porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de mis anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mí se depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.

A mis Hermanos

A cada uno de ustedes. Quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo.

A mis Abuelitos

Porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar la más grande de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mis Terceros:

Dr. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

Gracias por haberme dado la oportunidad de realizar la investigación con usted y por todo su apoyo para que la investigación fuese posible.

Ing. JOEL LIMONES AVITIA

Por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Dr. MARIO GRACÍA CARRILLO

Por su permanente disposición y desinteresada ayuda.

Dr. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

Por su generosidad científica y valiosas críticas al realizar este trabajo.

Q.F.B. NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO

Por su incondicionable colaboración y disposición para la realización de este trabajo.

Dedicatorias

A mi Dios.

Por la oportunidad que me dio de vivir y de lograr las metas que me he propuesto en la vida.

A mis Padres. Que a ellos les debo cuanto soy:

A mi padre Sr. Pedro Domingo Hernández López. Cada una de las letras de este trabajo es para ti.

A mi madre Sra. Elia del Carmen Mota Mortera. Faro en la oscuridad que me ha guiado a buen puerto.

A mis Abuelos y Abuelas

Aí que no está por tantas cosas que debería haber visto y que no ha podido ver, al que me acompaña por la fuerza que me da y la confianza que deposita en mí. A ellos por su cariño y entrega.

A mis Hermanos.

Sarahí, Carlos Eduardo, Cristina y Carmen María Estefanía. Los juegos de la infancia, las alegrías y los momentos más dulces de la vida están con ustedes, es un logro más de ustedes.

INDICE

	Página
INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	iv
I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo General.....	4
3.2. Objetivo Específico.....	4
IV. METAS	4
V. HIPÓTESIS	5
5.1. Hipótesis Alternativa.....	5
5.2. Hipótesis Nula.....	5
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	6
6.1. Problemas de salud pública ocasionados por la contaminación del cadmio.....	6
6.2. Panorámica de la problemática en la Comarca Lagunera.....	7
6.3. El cadmio.....	9
6.4. Procedencia, usos y explotación de cadmio.....	10
6.5. Concentración de cadmio en el ambiente.....	11
6.6. Cadmio en el ambiente.....	12
6.7. Movimiento del cadmio en el ambiente.....	16
6.8. Efectos del cadmio en la salud humana.....	18

6.9.	Síndromes de Exposición Crónica a Cadmio.....	20
6.10.	Patología causada por cadmio.....	21
6.11.	Procesos crónicos.....	21
6.12.	Toxicocinética del cadmio.....	24
6.13.	Contaminación de los alimentos por cadmio.....	27
6.14.	Alimentos que almacenan cadmio.....	28
6.15.	Valores máximos de cadmio.....	28
6.16.	Tratamiento.....	29
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
7.1.	Ubicación geográfica del área de estudio.....	30
7.2.	Trabajo de campo.....	30
7.3.	Trabajo de Laboratorio	31
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
8.1.	Cadmio en el agua potable.....	32
8.2.	Familias encuestadas.....	33
IX.	CONCLUSIONES	37
X.	RECOMENDACIONES	38
XI.	LITERATURA CITADA	39

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA POTABLE EN ZONAS ALEDAÑAS A MET – MEX PEÑOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMIANDAS. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO. SEPTIEMBRE – OCTUBRE 2008.	35
2	FAMILIAS ENCUESTADAS EN ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑOLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMINADAS. TORREÓN, COAHUILA MÉXICO, SEPTIEMBRE- OCTUBRE DE 2008.	36

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de cadmio en el agua en zonas aledañas a la industria Met – Mex Peñoles, así como determinar la cantidad de personas que beben agua potable de la tubería.

El trabajo de campo se realizó en zonas aledañas a la industria Met –Mex Peñoles ubicada en Torreón, Coahuila. Se tomaron 36 muestras de agua potable y 36 encuestas a familias establecidas a las distancias de 500, 1000 y 1500 m y en las orientaciones noreste, sureste, noroeste y suroeste.

Los análisis de las muestras obtenidas se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se cuantificó la concentración de cadmio en las muestras de agua potable analizadas, mientras que la encuesta fue analizada y cuantificada.

Los resultados de los análisis indicaron que en promedio en el agua potable hay concentraciones de cadmio promedio de $0.0991 \text{ mg kg}^{-1}$. Todas las determinaciones rebasan el 0.005 mg Kg^{-1} que es el límite máximo permisible en agua potable para México establecido en 2003 por la OMS.

Los resultados de la encuesta indicaron que más del 50 % de las familias encuestadas beben y preparan alimentos con agua potable, así mismo no se han realizado análisis sobre la contaminación que provoca el cadmio en la salud humana.

Palabras Clave: metal pesado, cadmio, agua potable.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son un tema de actualidad en el campo ambiental y en el de salud pública. Los daños que causan a la salud son tan severos, aunque muchas veces asintomáticos, que las autoridades de todo el mundo minimizan la exposición de la población a estos tóxicos, en particular la infantil.

Los metales pesados son componentes naturales del medio ambiente, sin embargo, su acumulación en los suelos y el agua es de gran preocupación ya que están siendo depositados a los suelos y el agua en cantidades crecientes a través de los años. El término “metal pesado” se refiere a los metales con una densidad mayor que un cierto valor, usualmente 5 a 6 g cm⁻³ (Huang, 1999).

Particularmente, la contaminación de un suelo con metales pesados es preocupante ya que presentan un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un desequilibrio dinámico con la hidrosfera, atmósfera y biosfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano.

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y el uso abusivo del agua dulce en el planeta han originado una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humano, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y el ecosistema del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe en el presente decenio de forma sustentable. De una a otra zona

del planeta, se multiplican los trabajos que descubren tasas elevadas de cadmio, tanto en seres vivos, como en aguas y suelos de áreas sometidas a una fuerte contaminación. Los efectos de la contaminación por cadmio del subsuelo y de las aguas subterráneas, permanecen en el tiempo de forma aún no determinada. (Hernández *et al.*, 1999).

Los metales pesados son elementos potencialmente tóxicos cuya presencia en el medioambiente se ha incrementado notablemente, fundamentalmente por la acción del hombre, la contaminación metálica supone una amenaza medioambiental importante para los seres vivos ya que metales que son micronutrientes esenciales como el cobre y el zinc, resultan tóxicos en concentraciones elevadas, mientras que en otros como el cadmio, plomo y mercurio son tóxicos a dosis mínimas, debido a que no son elementos esenciales. (Hugan, 1999).

II. JUSTIFICACIÓN

Existen antecedentes que demuestran que el suelo y aire aledaños a Met - Mex Peñoles ubicada en la zona urbana de la ciudad de Torreón Coahuila, están contaminados con diversos metales pesados destacando entre ellos el cadmio.

Las concentraciones elevadas de cadmio halladas alrededor de Peñoles, y el hecho de que haya reportes de personas intoxicadas por este metal pesado, originan la necesidad de efectuar este trabajo.

Sobre la contaminación del agua potable existe poca información, o es nula o no está disponible para la sociedad, haciendo necesario efectuar esta investigación, ya que el cadmio es un contaminante que es o puede ser un problema de salud pública para la sociedad Lagunera.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar la concentración de cadmio en agua potable en zonas aledañas a la empresa Met-Mex Peñoles de Torreón Coahuila.

3.2 Objetivo Específico

Determinar si el cadmio rebasa los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana para el agua potable de consumo humano.

IV. METAS

Determinar la concentración de 36 muestras de cadmio en agua potable aledaña y lejana a Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila.

Determinar la proporción de 36 familias encuestadas que beben agua potable contaminada por ese metal.

V. HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis Alternativa

La concentración de cadmio en agua potable aledaña a Met- Mex Peñoles rebasa los límites máximos tolerables para consumo humano.

La mayoría de las familias aledañas a Met- Mex Peñoles beben agua potable contaminada con cadmio.

5.2. Hipótesis nula

La concentración de cadmio en agua potable aledaña a Met- Mex Peñoles no rebasa los límites máximos tolerables para consumo humano.

La mayoría de las familias aledañas a Met- Mex Peñoles no beben agua potable contaminada con cadmio.

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Problemas de salud pública ocasionados por la contaminación del cadmio

En la década de 1940, durante la fabricación de baterías alcalinas de níquel-cadmio, varias personas murieron en Suecia por la acción del óxido de cadmio, cuya concentración en el aire era de algunos miligramos por metro cúbico. (Pasquali, 2003).

Los problemas de acumulación y toxicidad de cadmio en humanos a través de la cadena alimenticia, se estableció a finales de los años 70 a raíz de un problema aparecido localmente en Jadun, una ciudad de Japón donde hubo una contaminación elevada de cadmio. Este metal pasó a la cadena alimenticia, sobre todo, se encontró acumulado en arroz (alimento básico de la población), provocando un síndrome o enfermedad que se denominó enfermedad de Itai-itai (¡ay!-¡ay!), caracterizada por problemas renales graves y óseos, que se observó en mujeres de 45-70 años que vivían junto a un río que provenía de una zona con una mina de cadmio, y donde se observó que los alimentos y la bebida estaban contaminados. (Atlas *et al.*, 2002).

En otra ciudad de Japón, llamada Toyama, la ingesta de arroz que fue regado con agua que contenía cadmio, produjo una entrada al cuerpo de unos 300 microgramos diarios de ese metal. El cadmio provenía de una explotación minera de las cercanías. Produciéndose la misma enfermedad descrita, que además los enfermos presentaron dolorosos síntomas de fracturas múltiples producidas por osteomalacia (reblandamiento de los huesos). En Shipham, una población cercana a una mina de zinc en Inglaterra, se observó que los habitantes tenían signos de toxicidad por cadmio, presentando en el

hígado unos niveles de metal cinco veces superior a los encontrados en habitantes de áreas no contaminadas. La contaminación provino de verduras cultivadas en áreas cercanas a la población, las verduras contenían más de 7 mg/kg de peso seco, concentración muy superior al contenido de cadmio encontrado en la intoxicación de Japón. En Suecia, hubo una intoxicación oral aguda en una escuela, donde los niños consumieron un zumo de fruta procedente de una máquina expendedora en la que el depósito estaba enchapado con cadmio. (Pasquali, 2003).

Los efectos toxicológicos del cadmio en solución sobre el ecosistema son de importancia económica y de salud pública; ya que toma en consideración mecanismos moleculares poco estudiados como desplazamientos de iones, bloqueo de grupos funcionales, modificación de sitios activos de enzimas, entre otros. (Reyes *et al.*, 2006).

6.2 Panorámica de la problemática en la Comarca Lagunera

Debido a la gran actividad industrial a lo largo del último siglo, la contaminación por metales pesados en el ambiente es un serio problema, muchos de estos metales tóxicos entran al ambiente por la combustión de fósiles, la minería y en los procesos de fundición. (Fernández, 1991).

Met-Mex peñoles es la fundidora y refinadora de plomo en México, es la procesadora mas grande de América Latina y la cuarta del mundo por su volumen de producción.

Se estableció en 1901, fue en 1917, cuando la adquirió una compañía de minerales y metales entonces subsidiada por la empresa norteamericana American Metal Company y se fusionó con la compañía Minera de Peñoles en 1920. (Valdés y Cabrera, 1999).

El problema de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, cadmio y arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado entorno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- 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. (López, 1999).

La primera queja documentada en contra de Peñoles fue en 1937 desde entonces han sido recurrentes las quejas de la comunidad sobre las molestias que se atribuyen a las actividades de la empresa. En 1962 los trabajadores de Peñoles denunciaron ante las autoridades federales de salud, la contaminación provocada por la empresa, por lo que se realizaron dos estudios en ese año, los cuales estuvieron enfocados a evaluar si en la planta y sus alrededores existía contaminación que pudiera ser atribuida a esta empresa. Los resultados encontrados indicaron, que la contaminación atmosférica debida a las emisiones de arsénico, bióxido de azufre, cadmio y plomo generado por Peñoles era grave, se demostró que estos contaminantes eran dispersados por los vientos dominantes hacia el oeste y sur de la ciudad. Los problemas de salud ocasionados por la empresa impuso la necesidad de establecer un centro de atención a afectados por metales, ubicado en Torreón Coahuila. (Escobar *et al.*, 1964).

6.3 El cadmio

El cadmio es un elemento relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene una relación estrecha con el zinc, con el cual se encuentra asociado con la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y más maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20 °C (68 °F), Su punto de fusión de 320.9 °C (610 °F) y de ebullición de 765 °C (1410 °F) son inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El cadmio es miembro del grupo II b (donde se ubica también zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. El cadmio es muy resistente a la corrosión y se utiliza para su electro deposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. El cadmio puede representar un peligro para el medio ambiente y en muchos países se han adoptado medidas legislativas para su uso y la consiguiente dispersión ambiental. (América, 2004).

6.4 Procedencia, usos y explotación de cadmio

El cadmio procede de tres fuentes principales:

- Fuentes naturales: la mayor fuente natural de liberación del cadmio es la actividad volcánica, la minería de metales ferrosos especialmente el zinc.
- Fuentes industriales: entre las industrias que utilizan el cadmio están la galvanoplastia, baterías, gravados, pigmentos de pinturas y vidrios, semiconductores, plásticos, humo de cigarrillos. Este metal también puede estar presente en materiales de uso odontológico. (Gjerdet y Berge, 1983) y (Brockhurst y Pham, 1989).
- Fuentes agrícolas: algunos pesticidas fosfatados los cuales actualmente están prohibidos, han aportado concentraciones variables de este metal a algunos alimentos. (Arriazu, 2007).

Se puede encontrar en la naturaleza asociado a zinc y plomo. Su mayor concentración está cerca de minas o explotaciones de estos dos metales. Por ello, la contaminación medioambiental por este metal aparece al explotar dichas minas. Hasta 1990 la explotación total de cadmio a lo largo de la historia había sido de unas 320,000 toneladas, pero no de forma constante, ya que si en 1900 se estimaba una explotación de 14 toneladas anuales, en los últimos años ha pasado a ser de unas 1,700 toneladas en los años 80, y se estima que se duplica cada 10 años, lo que podría implicar que los niveles en alimentos puedan duplicarse cada 20 años. Es utilizado básicamente en cromados, lo que representa un 35 % del uso total, como pigmento (sobre todo en

cerámica) y esmaltes, (sobre un 25 %), como estabilizante de plásticos (un 15 %), en baterías (un 15 %) y en aleaciones. Las sales de cadmio son venenosas, y por ello no son utilizadas en medicina. De la cantidad utilizada, menos de un 10 % del cadmio es reciclado por la industria, lo que implica que la mayor parte se acumula en el medio ambiente. (Gjerdet y Berge, 1983) y (Brockhurst y Pham, 1989).

6.5 Concentración de cadmio en el ambiente

Las concentraciones naturales del cadmio están relacionadas con las actividades volcánicas y los procesos de erosión de los suelos.

El cadmio se encuentra en concentraciones relativamente bajas en el ambiente, su comportamiento difiere ampliamente.

Los valores en la atmósfera suelen ser del orden de nanogramos por metro cúbico (< 5ng m³), pero puede llegar a varios miligramos/m³ en ciertos tipos de industrias.

Los niveles de concentración en agua son muy bajos, del orden de 0.01-1 microgramos/litro (µg L), excepto en áreas contaminadas.

Las concentraciones normales del cadmio y plomo en las rocas son de 1 y 5 mg/kg (ppm) respectivamente y ya que estos no son muy solubles sus concentraciones naturales en agua subterránea son de menos de 0.5 g/L (ppb). Debido a que las aguas subterráneas pueden ser fácilmente contaminadas con estos metales de manera natural y antropogénica. (Díaz y Ramírez, 2004).

En cuanto a los valores en el suelo, son los más elevados, pero del orden de 0.35-0.62 mcg/g, lo que da una media, en condiciones normales de 0.1 - 0.2 mcg/g en la corteza terrestre.

Muchos alimentos contienen trazas de este metal, sobre todo cereales y derivados, debido al uso de ciertos abonos y lodos utilizados en su cultivo. También encontramos niveles relativamente elevados en vísceras, sobre todo en hígado y riñón, y en marisco. En cambio, en carne, pescado y aves de corral la cantidad es muy baja. (Rincón del Vago, 2008).

6.6 Cadmio en el ambiente

Se puede hallar cadmio en la atmósfera, en el agua y en el suelo. El cadmio es un metal cuyo uso es bastante nuevo. Antes de la II guerra mundial prácticamente no había demanda, y se asociaba a una impureza de zinc y plomo, con lo que era desechado, produciendo grandes áreas de contaminación alrededor de la industria del zinc y plomo. Actualmente se sigue relacionando la contaminación por cadmio con este tipo de industria, es donde se producen mayores emisiones al ambiente, pero también se producen emisiones de cadmio en la combustión de basuras, combustión de carbón, industria del acero, producción de cementos, aunque en mucha menor cantidad. (Rincón del vago, 2008).

El cadmio al igual que otros metales pesados se transporta preferentemente sobre el material particulado. Cuando éste está depositado, constituye un reservorio que es en

potencia contaminante para la biota a través del contacto directo o por la liberación de contaminantes al cuerpo de agua. (Hernández *et al.*, 1999).

Numerosos métodos convencionales han sido empleados para la eliminación de cadmio y de otros metales pesados de aguas de desecho, entre los que se incluye la precipitación química, deposición electroquímica e intercambio iónico, pero han resultado poco viables para la industria debido a su alto costo y complejidad. (Reyes *et al.*, 2006).

El problema de la polución por cadmio y de otros metales tóxicos surge como resultado de actividades humanas, principalmente de la industria, agricultura y de la eliminación de residuos mineros. Estos contaminantes son descargados al medio ambiente alcanzando concentraciones por encima de los valores permisibles por legislaciones internacionales, siendo los recursos hídricos, los de mayor riesgo por su alta velocidad de propagación. (WHO, 1992).

El último caso es particularmente importante porque corresponde a micro y pequeñas empresas dispersas en la ZMCM, las cuales, en muchos de los casos, derraman agua de proceso o de enjuague al suelo por falta de una adecuada impermeabilización, ocasionando así la contaminación del suelo por metales y posiblemente del acuífero, ya que dichos residuos son clasificados como peligrosos. (Anónimo, 1993). Y que, en caso de contaminación por aguas residuales de los baños cianurados de cadmio, el límite máximo permisible de cadmio y cianuro en agua potable es de 0.005 y 0.07 mg/L, respectivamente. (Anónimo, 1994).

La presencia de materiales como la arena, limo y arcilla en los estratos varía la textura del suelo, así como sus características físicas, químicas y biológicas: (Murck *et al.*, 1996).

La migración involucra procesos fisicoquímicos de precipitación-disolución, adsorción-desorción, advección, dispersión y difusión. De estos, la precipitación, adsorción y difusión son los que controlan el paso del metal a través del suelo, que a su vez depende del tipo de material presente en el estrato. (Knox *et al.*, 1993).

El tamaño de partícula de la arena, limo y arcilla influye en la permeabilidad como otro factor que limita o facilita el paso del metal por el suelo. Debido a que un alto porcentaje del agua de abastecimiento proviene del acuífero, es de importancia el estudio del comportamiento y migración de los metales en el suelo. (Jackson, 1996).

Emisiones atmosféricas. La emisión de metales pesados al medio ambiente puede producir daños a nivel global, regional o local. En el caso del cadmio, se ha visto que la relación de contaminación es de regional a local. (Rincón del vago, 2008).

La mayoría de las emisiones a nivel atmosférico se realizan a través de la industria del metal, seguido por la combustión de residuos o basuras, combustión de carbón, industria cementera y producción de fertilizantes. Si comparamos la emisión de cadmio a partir de fuentes naturales con la realizada por procesos humanos, vemos que, por ejemplo, en 1986 fueron 960 toneladas frente a 7570 toneladas respectivamente, lo que representa que el 90% del flujo anual de cadmio es de origen humano.

La concentración de cadmio es elevada alrededor de minas y zonas industriales, así como en zonas urbanas, concentración que disminuye a medida que uno se aleja de estas zonas, siendo menor, por ejemplo, en área rural. Así y todo, el aire es un medio que permite el transporte de cadmio a la cadena alimenticia de zonas muy alejadas de la civilización. Por ejemplo, se han realizado estudios de niveles ambientales de cadmio en el ártico, que han resultado ser muy similares a los niveles ambientales de ciertas zonas rurales de los Estados Unidos. (Rincón del vago, 2008).

Contaminación del suelo por cadmio. La contaminación del suelo por cadmio es consecuencia de las emisiones naturales como las erupciones volcánicas y antropogénicas como la industria minera, de fertilizantes y de procesos electrolíticos como la galvanoplastia, entre otros. (Labunska *et al.*, 2000).

Valdés y Cabrera (1999), investigadores de la Escuela de Medicina de Dartmouth encontraron en el polvo de los alrededores de Peñoles niveles de cadmio entre 11 y 1,497 mg kg⁻¹ (mediana 112 mg kg⁻¹), cuando el nivel máximo en los Estados Unidos para considerar que un sitio contaminado ya no lo está es de 20 mg kg⁻¹.

Triana (2008) en un trabajo de investigación efectuado en suelos aledañas a Peñoles, en 16 muestras de suelo colectadas, encontró que la concentración de cadmio fue superior al límite máximo permisible establecido por Estados Unidos de América, la concentración máxima hallada fue de 179.2 mg kg⁻¹, la mínima fue de 73.1 mg kg⁻¹, el promedio de cadmio fue de 114 mg kg⁻¹.

Contaminación del agua por cadmio. El cadmio que llega al agua procede principalmente de vertidos industriales, así como vertidos urbanos. La contaminación

depende también de la cercanía de superficies acuáticas cercanas a zonas urbanas, ya que no será igual la cantidad de cadmio que pueda llegar a un río cercano a una zona industrial que en alta montaña. Sin embargo, parte del cadmio atmosférico acaba siendo depositado en la superficie del agua, y representa el 23 % del cadmio contaminante que llega al agua, es decir, es la vía principal de entrada de cadmio en agua. El 3-12-1997, la Comisión Europea establece los valores límite de emisiones mensuales permitidos por la industria, garantizando también la no transferencia de contaminación del aire al agua, los valores permitidos en agua para compuestos de cadmio son 0.02 mg/L (promedio mensual). (Lenntech, 2008).

6.7 Movimiento del cadmio en el ambiente

De forma natural más de 25,000 ton/año de cadmio son liberadas al ambiente. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en los suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son, por ejemplo, la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias de estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones solo una pequeña cantidad de cadmio entra en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias. (Lenntech, 2008).

La presencia de metales pesados en el ambiente puede ser debida a causas naturales o antropogénicas. Naturalmente, los metales en el ambiente se encuentran en constante circulación, en un proceso conocido como ciclo geoquímico. La mayoría de los metales son también incluidos en el metabolismo de plantas y animales. Todos los organismos, incluido el hombre, se encuentran involucrados en este sentido por el ciclo geoquímico. Cuando los minerales de las rocas son expuestos a la erosión, los metales se liberan y, por varias razones, comienzan a circular en el ambiente. Además, metales tóxicos como el cadmio han sido expuestos a cambios en su ciclo geoquímico como resultado de su utilización por el hombre. Una de las más importantes condiciones para la movilidad de los metales en el ciclo geoquímico es la presencia de agua. Esta transporta metales que han sido derivados de la erosión de depósitos de roca cuaternarios. Por otra parte, metales ambientalmente peligrosos son descargados directamente en cuerpos de agua o en la atmósfera, los cuales son subsecuentemente precipitados por la lluvia o actividades del hombre. El transporte de varias sustancias en el agua es también influenciado por la acidificación. La lluvia ácida y el agua superficial incrementan el lixiviado de los metales sensibles a la acidificación, tales como el cadmio. Si el agua subterránea es ácida, entonces en adición, el cadmio permanecerá en solución más rápidamente y pueden dispersarse a áreas más grandes. (Díaz y Ramírez, 2004).

6.8 Efectos del cadmio en la salud humana

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. En animales a los que se les dio cadmio en la comida o en el agua se observaron aumento de la presión sanguínea, déficit de hierro en la sangre, enfermedades al hígado y lesiones en los nervios y el cerebro. No se sabe si estos efectos ocurren en seres humanos expuestos a cadmio a través de los alimentos o del agua. Contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos. (Lenntech, 2008).

El riñón es más sensible al cadmio que pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”. (Ramírez, 2002).

Cadmio en la sangre. Cuando el nivel crítico de cadmio en la corteza del riñón aún no se ha alcanzado, este indicador es un buen reflejo de la carga corporal del metal. Pero cuando se aproxima a nivel crítico, se refleja más una exposición reciente y al saturarse todos los tejidos con cadmio sus niveles de orina varían entre 5 y 10 $\mu\text{g/g}$ de creatinina.

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) fija como BEI para el periodo 1997-1998, 5 μg Cd/g de creatinina. (Ramírez, 2002).

Cadmio en la sangre. Este BEI refleja exposición muy reciente, de 45 a 60 días, por lo que es un buen indicador laboral cuando se valora mejoras higiénicas o tecnológicas del ambiente de trabajo. Pero, en exposiciones ambientales mínimas, es un parámetro menos satisfactorio que el cadmio en orina. El límite biológico que fija ACGIH para el periodo 1997-1998 es de 5 $\mu\text{g/L}$. (Ramírez, 2002).

Cadmio en heces. Solo refleja la entrada diaria de cadmio con la dieta (EDD). Por tanto, el Cd excretado por esta vía no es útil en exposición laboral. (Ramírez, 2002).

Cadmio en la raíz del pelo. Es un parámetro muy variable cuando valora diferentes niveles de exposición, pero refleja más adecuadamente exposiciones ambientales. No se ha establecido su relación con niveles de cadmio en riñón o hígado. Tampoco nos sirve para diferenciar si lo que expresa es cadmio ambiental o simplemente se libera a partir del cadmio atesorado por el organismo. Por esta razón, no se le utiliza como indicador de exposición laboral. (Ramírez, 2002).

6.9 Síndromes de Exposición Crónica a Cadmio

Síndrome renal. En exposiciones ocupacionales se ha encontrado que primero aparece disfunción glomerular y luego de un periodo de latencia, entre 10 y 20 años, recién se manifiesta la clásica microproteinuria. (Ramírez, 2002).

Síndrome de disfunción pulmonar. En la exposición aguda se describe un síndrome de irritación de vías respiratorias y, en exposición crónica, síndromes obstructivos y restrictivos e inclusive fibrosis pulmonar. (Ramírez, 2002).

Síndrome óseo: itaí- itaí. Uno de los primeros cuadros clínicos descritos atribuible exclusivamente a exposición ambiental fue el del cadmio y se le denominó "itaí-itaí", cuya traducción a inglés sería "ouch-ouch" que en español sería "ay-ay", onomatopeyas de las quejas debidas o de los fuertes dolores que producía la osteomalacia entre los pobladores expuestos en la zona Toyama (Japón), luego de la segunda guerra mundial, donde se le describió por primera vez en zonas agrícolas con altos índices de contaminación de Cd y Zn en el agua de los cultivos de arroz. (Ramírez, 2002).

6.10 Patología causada por cadmio

Procesos agudos. En caso de una ingestión masiva, los síntomas derivados se relacionan con procesos irritativos locales:

- Náuseas
- Vómitos
- Dolor abdominal
- Hipersalivación
- Dificultad de tragar

6.11 Procesos Crónicos

Nefrotoxicidad. Teniendo en cuenta la función del riñón como órgano detoxificador, es frecuente que se halle una mayor concentración de sustancias tóxicas, sobretodo a nivel de los túbulos, que son los que tienen mayor actividad de absorción y secreción. Aquí podemos encontrar más cantidad de citocromo P-450 que en otras zonas del cuerpo, con la función de detoxificar, por ello es muy frecuente que el mecanismo de acción de éstos tóxicos sea atacando o inactivando este citocromo P450. (Lindner, 1973).

Ciertos metales pesados, como cadmio, mercurio, plomo y cromo, pueden alterar las funciones renales, y en el caso de los metales citados, la alteración es de tipo tóxica, y

esta agresión se realiza sobre el epitelio tubular al ser el más sensible de la nefrona y el que está más diferenciado funcionalmente. (Lindner, 1973).

La alteración se produce, en el caso del cadmio, a nivel de túbulo proximal, y ello ocurre cuando la concentración de cadmio en el riñón llega a valores de unos 200mcg/g, (200 mcg /g de tejido fresco), lo que se conoce como concentración crítica, dando lugar a Glucosuria, Aminoaciduria y Poliuria, es decir, imposibilidad de reabsorción de ciertas moléculas y proteínas, la mayor de las cuales es la B₂-microglobulina, es decir, aumenta el clearance de la B₂-microglobulina) y de la RBP (Retinol Binding Protein), si sigue aumentando puede llegar a producir finalmente, muerte celular y anuria. (Lindner, 1973).

Hepatotoxicidad. Es un estudio que se está realizando actualmente. Se ha demostrado en estudios *in vitro* que el cadmio puede producir efectos hepáticos tanto en mamíferos, así como pescado, aves y reptiles. Se ha visto que la hepatotoxicidad es dosis dependiente y también depende del tiempo de exposición. Faltan estudios en humanos. (Lindner, 1973).

Osteomalacia. Si la dosis de metal acumulado aumenta, podemos llegar a una intoxicación muy avanzada en que aparece hipercalciuria, la cual, probablemente relacionada con una alteración del metabolismo óseo, puede llegar a producir osteomalacia. Esta patología ósea se describió ya en 1942, en forma de fisuras óseas simétricas que aparecen sobretodo en el cuello del fémur. Se asocia a una alteración del metabolismo del calcio, ya que afecta especialmente a las mujeres, después de la menopausia, provocando dolores violentos en pelvis y miembros inferiores, explicando

así el nombre con el que se conoce esta enfermedad en Japón (Itai-itai disease), y para los americanos como Ouch-ouch disease. (Lindner, 1973).

Hipertensión. Se piensa que, debido al fallo renal, se produce vasoconstricción y retención de iones Sodio, lo cual es el responsable de la hipertensión.

En los últimos años se han realizado estudios con animales de laboratorio, donde se ha demostrado el efecto hipertensor del cadmio en el sistema vascular de ratas, cuando se les ha administrado el metal en el agua de bebida. Podría ser efecto de un aumento de la secreción de renina estimulada por cadmio. Sin embargo, la acción hipertensiva en el hombre no ha sido demostrada, ya que no se ha observado aumento de la prevalencia de hipertensión en trabajadores expuestos ni en habitantes de zonas contaminadas. (Lindner, 1973).

Carcinogénesis. Se están realizando estudios para demostrar la acción carcinogénica en el hombre del cadmio. Se cree que probablemente lo sea, ya que el cadmio es uno de los metales necesarios para ciertas rutas enzimáticas y metabólicas, pudiendo actuar a nivel de loops en proteínas transformadoras, así como producir daños en el citoesqueleto celular, afectando a la acción de la DNA polimerasa a nivel de biosíntesis celular. (Lindner, 1973).

El cadmio actúa como antagonista del zinc, en animales se ha comprobado la inducción de cáncer de testículo (lo que también ha demostrado el efecto protector del zinc), en hombres, y a través de encuestas epidemiológicas, se ha visto un aumento de cáncer de próstata y pulmón, sobre todo en fumadores, ya que el tabaco dobla los valores de ingesta diarios. (Lindner, 1973).

Se desconoce actualmente si puede ocasionar cáncer a partir del contacto con la piel o por el consumo de bebida o alimentos contaminados. (Lindner, 1973).

Fertilidad. Ha aparecido alguna evidencia, no del todo confirmada, de que la toxicidad crónica de cadmio puede producir disminución de la fertilidad, así como fetotoxicidad. (Lindner, 1973).

Neurotoxicidad. En ciertos estudios actuales se han podido hallar marcadores celulares precoces a nivel neuronal, y se ha podido comprobar que, frente a una exposición de cadmio, un tipo de marcador desciende en número, mientras otro tipo de marcador aumenta. Esto nos orienta hacia que el cadmio está implicado de alguna forma en las vías neuronales. (Lindner, 1973).

6.12 Toxicocinética del cadmio

En la intoxicación crónica, el cadmio se acumula en hígado y riñón. (Piscator, 1964).

Existen reportes de acumulación de cadmio en otros órganos, como corazón, pulmones, testículos, páncreas y glándulas salivales. (Nordberg, 1972).

El cadmio es un tóxico que en el ser humano, causa alteraciones a nivel enzimático, renal, respiratorio y digestivo, con el agravante de tener una vida media muy prolongada. Para enfrentar el problema deberíamos hacer un inventario de las principales fuentes de contaminación industrial, en metalúrgica principalmente, para fiscalizarlas. De otro lado, es necesario proteger al trabajador, aplicando los criterios de los valores límites umbrales (TLVs) e indicadores biológicos de exposición (BEIs),

acordes con el actual estado del conocimiento. El cadmio es uno de los mayores agentes asociados a contaminación ambiental e industrial, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
- Bioacumulación.
- Persistencia en el medio ambiente.
- “Viaja” grandes distancias en los cursos del agua.

El tiempo de permanencia del cadmio en suelos es de hasta 300 años y el 90 % permanece sin transformarse); el cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales. Se fija a las plantas más rápidamente que el plomo. Los frutos y semillas contienen menos cadmio que las hojas. El pescado, los crustáceos, el riñón e hígado de los animales acumulan cadmio en grado relativamente elevado. La OMS estima entre 10 y 85 µg. el agua debe contener un máximo de 1 µg de cadmio/L. En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por la orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones pueden eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el cadmio que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió. En exposición no laboral, la alimentación es la fuente más importante de ingesta de cadmio. La absorción por el tracto gastrointestinal es de aproximadamente 50 %. La dieta deficiente de calcio, hierro o proteína incrementa la velocidad de su absorción. En sangre se han encontrado aproximadamente 0.06 % del contenido corporal de cadmio y más del 50 % está en los hematíes unido inestablemente a una pseudoproteína, la metalotioneína es

el “medio de transporte” del cadmio en el plasma sanguíneo. El aclaramiento sanguíneo del cadmio es rápido, se acumula principalmente en el riñón y en los adultos no expuestos llegan a valores entre 7.4 y 8.8 mg, lo que representa entre el 30 % y 50 % de su contenido corporal, el hígado de adultos no expuestos tiene un contenido promedio de 2.7 mg de cadmio. La acumulación de cadmio en hígado y riñón depende de la intensidad, del tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal; en ambos casos se ha encontrado un incremento con la edad, después de sobreexposición alcanza concentraciones elevadas en el hígado; pero con el tiempo el metal se localiza en el riñón. En las células, el cadmio se une a la metalotioneína, proteína cuyo peso molecular es 6 945 u (700 Dalton) y que contiene 26 grupos SH libres por molécula debido a la gran proporción de cisteína. Poblaciones adultas del medio urbano pueden tener hasta 1,77µg de cadmio/día; así, en personas de 50 años hay cantidades acumuladas de hasta 32 mg; de ellos, la corteza renal contiene aproximadamente 50 µg cadmio/g en un rango que varía entre 15 y 85. Se sabe por otro lado, que la concentración de cadmio en el hígado depende del daño de la función renal inducida por el metal, que disminuye la reabsorción del cadmio-metalotioneína e incrementa su excreción urinaria; solo entonces la concentración de cadmio excede la del nivel renal. El cadmio atraviesa la barrera placentaria fácilmente, induciendo allí la síntesis de metalotioneína, con la que forma el complejo cadmio-metalotioneína, que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo, actuando como mecanismo protector frente al transporte de cadmio al feto. Al término del embarazo, la concentración de cadmio en la placenta es 10 veces más que en la sangre materna. Por el contrario la concentración de cadmio en el cordón umbilical es de 2 a 3 veces más baja que en la sangre materna. Por ello, se infiere que el cadmio puede interferir en la

evolución del embarazo por acción directa sobre el metabolismo de la placenta, pero no por acción directa sobre el feto. En el recién nacido el cadmio sanguíneo es de 30 a 50 % menor que el cadmio en la sangre materna. La leche materna solo secreta pequeñas cantidades. La vida media del cadmio en el organismo total es de 30 a 40 años. (Ramírez, 2002).

6.13 Contaminación de los alimentos por cadmio

El acumulo de cadmio presenta, mayoritariamente, un origen alimenticio. Además, de todos los metales tóxicos emitidos al medio ambiente, éste es uno de los que más tienden a acumularse en los alimentos. Una característica del cadmio es su fácil transferencia del suelo a los vegetales, siendo uno de los metales que mejor absorben las plantas, sobre todo cereales como el arroz, el trigo y, en menor cantidad el maíz. A nivel de contaminación por agua, son los moluscos bivalvos, crustáceos y peces los que presentan mayor incidencia de contaminación. La concentración de cadmio en el agua de bebida suele ser del orden de 2 mcg/L, lo que quiere decir que no es una vía importante de exposición. El cadmio contenido en el agua puede pasar a los recursos alimenticios acuáticos, y de aquí llegarán a la cadena de alimentación. La mayoría de la fauna y flora acuáticas pueden acumular cadmio en cantidades superiores a los niveles que pueda haber en el agua. En la cadena trófica, el primer nivel, el de las plantas acuáticas, será el que posea mayor poder de acumulación del metal. Tendríamos después los moluscos y crustáceos, que también tienden a bioacumular cadmio. Por ello ciertos tipos de dietas basadas en el uso de algas marinas pueden acabar

produciendo toxicidad al individuo, así como en el caso de pueblos pescadores, cuya dieta está basada en pescado y otros productos de origen acuático. (Lenntech, 2008).

6.14 Alimentos que almacenan cadmio

Como ya se ha comentado anteriormente, la acumulación se da, mayoritariamente en productos de origen vegetal, sobretodo en semillas y cereales (arroz, trigo). También en verduras como la lechuga y los rábanos, hortalizas, frutas. (Lindner, 1973).

6.15 Valores Máximos de Cadmio.

- En 1972 la FAO/OMS fijan como valor de cadmio que puede ingerirse semanalmente por un adulto 400-500 mcg. Se considera una dosis mortal la de 100 mcg/dl
- La cantidad en agua de bebida debe ser, según la OMS inferior a 5 mcg/l. Este valor se contempla en nuestra legislación en el RD 1138/1990, y se ratifica en una nueva propuesta Directiva en el 2000.
- La FDA limita la concentración en colorantes alimentarios a 15 ppm.
- La OSHA (Occupational Safety and Health Administration) limita a 100 mcg m³ de cadmio en lugares de trabajo y se recomienda que los trabajadores respiren la menor cantidad de cadmio posible.

- La dosis fijada por la OMS de 400 mcg/semanales es muy baja, y esto indica el carácter acumulativo que presenta el Cadmio. (Lindner, 1973).

6.16 Tratamiento

El Cadmio se sabe que produce procesos oxidativos, por tanto, una ingesta adecuada de antioxidantes podría contrarrestar los efectos de los radicales libres formados, es decir, se podría neutralizar el metal cadmio. Ya se ha comentado anteriormente que hay estudios que demuestran que deficiencias en Vitaminas C y D, de las que se conoce perfectamente su importante papel como antioxidantes, hace aumentar la toxicidad del cadmio. (Lindner, 1973).

Versenato. Corresponde al ácido etilén-diamino-tetraacético-cálcico disódico (EDTA Ca Na₂), agente quelante potente para administración endovenosa. Posee un amplio espectro para quelar metales pero se ha utilizado principalmente en el tratamiento de las intoxicaciones por plomo, zinc, manganeso, cobre, mercurio, cadmio y berilio. (Lindner, 1973).

Se administra a la dosis de 20-30 mg/kg./dosis, por infusión endovenosa, a pasar en 2 horas. Repetir cada 24 horas por períodos de cinco días. El empleo de dosis altas puede causar nefrotoxicidad tubular y glomerular. Algunos efectos secundarios, en general raros y transitorios, son malestar general, fatiga, fiebre, lagrimación y congestión nasal, hipotensión y depleción de otros metales. (Lindner, 1973).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Ubicación Geográfica del área de estudio

El presente trabajo se realizó en áreas aledañas a la industria Met-Mex Peñoles ubicada al sur de la ciudad, de Torreón Coahuila, específicamente durante los meses enero-mayo del 2008. El municipio de Torreón se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila, en las coordenadas $103^{\circ} 26' 33''$ longitud oeste y $25^{\circ} 32' 40''$ latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. (INEGI, 1999).

La metodología empleada se dividió en dos: trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

7.2. Trabajo de Campo

Muestreo en Agua: Se tomaron muestras en frascos de plásticos adecuados de 500 ml, se colectaron 3 muestras en orientación sureste a 1000, 2000 y 3000 m de distancia con respecto a la metalúrgica, y en las orientaciones suroeste, noreste y noroeste se repitió el procedimiento, en total se colectaron 36 muestras de agua, y 1 muestra en un área lejana a la industria a una distancia aproximadamente a 7,000 m hacia el noreste tomando como referencia a Met-Mex Peñoles, en la Colonia Valle Verde.

Encuestas a personas: Se hicieron entrevistas al azar con las familias en las cuales las preguntas básicas fueron: si beben agua de la tubería y con qué frecuencia, si se han presentado enfermedades que se tenga la certeza o sospecha de que sea por la contaminación ambiental del área, se colectaron 3 muestras de entrevistas con orientación de 1000, 2000 y 3000 m de distancia respecto a la metalúrgica, y en las orientaciones suroeste, noreste, y noroeste se repitió el procedimiento, en total se colectaron 36 muestras de entrevistas.

7.3. Trabajo de Laboratorio

Las muestras obtenidas en las área analizada se transportaron al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se les determinó la concentración de cadmio, esto mediante la metodología de absorción atómica a través del espectrofotómetro marca PERKIN – ELMER modelo 2380; posteriormente se realizó el reporte en los cuadros correspondientes.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 . Cadmio en el agua potable

Todas las concentraciones halladas de este contaminante en el agua potable rebasa los límites máximos permisibles, ya que las concentraciones fueron mayores a 0.005 mg kg^{-1} , que es la establece la OMS (2003).

En el Cuadro 1, se puede observar que la mayor concentración de cadmio encontrada fue en la dirección noroeste a una distancia de 500 m, con una concentración de 0.116 mg kg^{-1} . Mientras que la concentración más baja se localizó en la dirección sureste a 500 m de distancia con una concentración de 0.051 mg kg^{-1} .

La concentración promedio total varió poco, con respecto a las diferentes distancias ya fue desde 0.094 a 0.090.

También se puede observar que las concentraciones encontradas en la colonia Valle Verde es muy alta y similar a las obtenidas en el área previamente analizada; según Díaz y Ramírez (2004), esto probablemente se debe a que las partículas de cadmio pueden viajar grandes distancias antes de depositarse en el agua, esto es ocasionado principalmente por la dirección y velocidad del viento. Además, según Gjerdet y Berge, (1983) y Brockhurst y Pham, (1989), el cadmio está bastante distribuido, debido a que entre las industrias que utilizan el cadmio están la galvanoplastia, baterías, gravados, pigmentos de pinturas y vidrios,

semiconductores, plásticos, humo de cigarrillos y además puede estar presente en materiales de uso odontológico.

Estas concentraciones pueden perjudicar la salud de los habitantes que viven cercanas a Peñoles e incluso de los que viven en la colonia Valle Verde. Ramírez (2002), menciona que el cadmio atraviesa fácilmente la barrera placentaria, se acumula progresivamente durante el embarazo y al término del embarazo la concentración de cadmio en el recién nacido es 10 veces más alta que en la sangre materna; también cita que daña principalmente el hígado y el riñón ocasionando daños severos.

8.2. Familias encuestadas

En el Cuadro 2 se observa que de un 100 % de las familias encuestadas el 72 % beben agua de la llave y preparan alimentos con la misma agua. El 25 % sabe que se han presentado casos certeros de contaminación por cadmio por beber agua de la llave, así mismo el 22 % se han realizado análisis clínicos sobre metales pesados, dichos análisis han sido únicamente en plomo, de los resultados obtenidos de los análisis, el 13 % resultó con niveles bajos, el 50 % con niveles normales y el 37 % con niveles altos. En las familias encuestadas no existen datos sobre análisis que se hayan realizado para detectar cadmio.

Lenntech (2008), cita que altos niveles de cadmio producen graves lesiones en los pulmones y pueden provocar la muerte. También describe que puede acumularse en los riñones y producir enfermedades renales.

Piscator (1994), menciona que la ingestión crónica de cadmio provoca daños severos a órganos vitales como el hígado y el riñón.

Nordberg (1972), describe que la ingestión de cadmio provoca daño a órganos como corazón, testículos, pulmones y glándulas salivales provocando daños severos a la salud humana.

CUADRO 1 CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA POTABLE EN ZONAS ALEDAÑAS A MET – MEX PEÑÓLES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMIANDAS. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO. SEPTIEMBRE – OCTUBRE 2008.

ORIENTACIÓN	DISTANCIA			Límites máximos permisibles en agua en México, según la OMS (2003). (mg Kg ⁻¹)
	500 m (mg Kg ⁻¹)	1000 m (mg Kg ⁻¹)	1500 m (mg Kg ⁻¹)	
CONCENTRACIÓN DE CADMIO				
Noreste				
Muestra 1	0,086	0,096	0,091	
Muestra 2	0,077	0,087	0,079	
Muestra 3	0,092	0,08	0,056	
Promedio	0,085	0,088	0,075	
Sureste				
Muestra 1	0,051	0,074	0,089	
Muestra 2	0,096	0,13	0,116	
Muestra 3	0,097	0,092	0,093	0,005
Promedio	0,081	0,099	0,099	
Noroeste				
Muestra 1	0,116	0,083	0,107	
Muestra 2	0,098	0,078	0,087	
Muestra 3	0,106	0,079	0,073	
Promedio	0,107	0,080	0,089	
Suroeste				
Muestra 1	0,092	0,08	0,079	
Muestra 2	0,096	0,13	0,116	
Muestra 3	0,106	0,079	0,087	
Promedio	0,098	0,096	0,094	
Valle Verde				
Muestra 1	0,096	0,105	0,097	
Muestra 2	0,106	0,079	0,087	
Promedio	0,101	0,092	0,092	
Promedio Total	0,094	0,091	0,090	

CUADRO 2. FAMILIAS ENCUESTADAS EN ZONAS ALEDAÑAS A MET-MEX PEÑALES, SEGÚN LAS ORIENTACIONES Y LAS DISTANCIAS DETERMINADAS. TORREÓN, COAHUILA MÉXICO, SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2008.

	SI (%)	NO (%)	
1. BEBEN AGUA DE LA LLAVE	72	28	
2. PREPARAN ALIMENTOS CON AGUA DE LA LLAVE	72	28	
3. SE HAN PRESENTADO CASOS DE ENFERMEDADES POR BEBER AGUA DE LA LLAVE	25	75	
4. SE HAN REALIZADO ANÁLISIS CLÍNICOS SOBRE METALES	22	78	
	Plomo (%)	Cadmio (%)	
4.1 DE QUE TIPO DE METALES	100%	0%	
	BAJO (%)	NORMAL (%)	ALTO (%)
5. VALORES DETECTADO DE METALES	13	50	37

IX. CONCLUSIONES

Todas las concentraciones encontradas de cadmio en el agua rebasan el límite máximo permisible.

No existen variaciones significativas en los valores encontrados con respecto a la distancia.

Por las concentraciones de cadmio halladas en sitios lejanos a Peñoles, es muy probable que además de la contaminación que provoca la metalúrgica, existan otras fuentes de contaminación, que se tendrían que investigar.

La mayor concentración de cadmio hallada fue de 0.116 mg kg^{-1} .

X. RECOMENDACIONES

Realizar una campaña de información acerca de los daños que provoca el cadmio en la salud humana para evitar que las personas eviten beber y preparar alimentos con agua de la llave.

Que se reduzca la emisión de cadmio.

Que las personas que beben agua de la red municipal se realicen exámenes de detección de cadmio.

XI. LITERATURA CITADA

América, A. L. 2004. Met-Mex Peñoles y los niños de Torreón. Consultora en Toxicología Ambiental y Evaluación de Riesgos. Xalapa, México.
<http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>.

Anónimo. 1993. NOM. NOM-ECOL-052-1993. Instituto Nacional de Ecología.

Anónimo. 1994. NOM-127-SSA-1994. Secretaría de Salud.

Arriazu, N. R. 2007. El cadmio, ¿carcinógeno prostático o no?, Congreso Virtual Hispanoamericano de Anatomía Patológica. Pág. 1-9

Atlas, M. R. y R. Bartha. 2002. Ecología Microbiana y Microbiología. 4ª. Edición. Addison –Wesley. Impreso en España. P. 545.

Brockhurst, P. J. & Pham, H. L. 1989. Orthodontic silver brazing alloys. *Austr. Orthod. J.*, 11:96-9..

Cushnie, C. Jr. G. 1994. Pollution prevention and control technology for plating operations. National Center for manufacturing sciences and National Association of metal finishers. Vol. 3. Edición N° 1. Pág. 15 – 20.

Díaz S. y E. Ramírez. 2004. Contaminación, Ambiente y Salud N° 6. P. 49-54.

Fernández J. C. 1991. Biochemical, physiological, and structural affects of excess copper in plants. Vol. 57. Pág. 246-273.

Gjerdet, N.R. & Berge, M.1983. Liberation of copper, zinc, and cadmium from different amalgams. *Acta Odontol. Scand.*, 41:217-20.

Hernández M., García M., Cañas R., Sardiñas O. 1999. Fracciones disponibles de arsénico, plomo, cadmio y mercurio en sedimentos de corrientes superficiales seleccionadas. *Hig. Epidemiol.* Vº 37. N° 3. Pag 10-15.

Huang, C.P. 1999. Enviromental soil chemistry and human welfare. 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Temuco. Chile. Pág. 321-326.

INEGI 1999. (En línea). Ubicación geografica de Torreón Coahuila. <http://mapserver.inegi.gob.mx>. (Consulta el día 6 de Mayo del 2008).

Jackson, R. W. A and Jackson, M. J. 1996. Environmental science.- The natural environment and human impact. Longman.

Knox, C. R. Sabatini, A. D. and Carter, W. L. 1993. Subsurface transport and fate processes. Lewis Publishers.

Labunska, I. Santillo, D. Johnston, P. Stringer, R. P.O & Stepheson, A. 2000. Heavy metals and organic contaminants in the vicinity of the Teshima Island illegal dumpsite, Kagawa Prefecture, Japan. Greenpeace Research Laboratories, Technical Note 02/00.

Lenntech 2008 (En Línea). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1999. Reseña Toxicológica del Cadmio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.

<http://www.lenntech.com/espanol/Desalacion/Composicion-agua-mar.htm>. (Consulta el día 11 de Abril del 2008).

<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cd.htm>

<http://www.lenntech.com/español/tabla-periodica/Cd.htm>.

(Consulta el día 15 de febrero de 2008).

Lindner, E. 1973. Toxicología de los Alimentos 3^o Edición. Editorial Acribia. S/P.

López, P. F. 1999. "Ordenan a Peñoles reducir sus operaciones a la mitad". La jornada 22/05/99.

Murck, W. B. Skinner, J. B. and Porter, C. S. (1996). Environmental geology. John Wiley y Sons, Inc.

Nordberg, M. Cadmium metabolism and toxicity. *Environm. Physiol. Biochem.*, 2:7-36, 1972.

Organización Mundial de la Salud 2003. Metales Pesados en agua. Vol 53. Edición 1, s/p.

Pasquali, Ricardo. 2003. Química Ambiental. Primera edición, Akadia Editorial, Buenos Aires
Manaham, S. 1998 Environmental Chemistry. Stanley. Edf, (22 de marzo del 2008).

Ramírez, A. 2002. Toxicología del Cadmio, conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Vol. 63. Edición N° 1. Pag. 51-64.

Reyes T., Cerino F. y Suarez M. 2006. Remoción de Metales Pesados con Carbono Activado como soporte de Biomasa. Ingenierías. Edición N° 9. Pag. 59-64.

Rincón del Vago 2008. (En Línea). <http://pdf.rincondelvago.com/cadmio.html>. (Consulta el día 07 de Mayo del 2008).

Triana, Z. G. 2008. Contaminación por cadmio en suelos aledaños a Met.-Mex. Peñoles y retención de este metal por la *Bougainvillea* spp. Tesis profesional. UAAAN UL. Torreón Coahuila. 41 págs.

Valdés F., V. M, Cabrera. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. 1ª Ed. Texas Center for Polyci Studies, CILADAHAC, Torreón Coah.

Vieira, R. y B. Volesky. 2000. Biosorption a Solution to Pollution?. International Microbiology. Edición N° 3. Pag. 17-24.

WHO (World Health Organization). 1992. Cadmium. Environmental Aspects. Environmental Health Criteria Series N° 135.