

126
2010

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



DETERMINACION DE METALES PESADOS EN AGUA,
SUELO, FORRAJE Y ALIMENTO CONCENTRADO
EN APAXCO, ESTADO DE MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A :
ERIC MEMBRILLO TAPIA

ASESORES: MVZ. SERGIO ANGELES CAMPOS
MVZ HUBERTO TRONCOSO ALTAMIRANO
Q. MA. ANTONIETA AGUIRRE GARCIA

México, D.F.

1994



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres L. Lucio y Melita por todo su cariño apoyo y confianza durante toda mi vida, gracias.

A mis hermanas Ma. Teresa, Ma. de Lourdes y Concepción por quererme y apoyarme, gracias.

A toda mi familia gracias por su apoyo y por creeren mí.

A todos mis amigos que me apoyaron y alentaron, gracias.

A todos los animales que dieron lo mejor de ellos para que aprendiera como ayudarlos y sanarlos, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo y en especial al Dpto. de Nutrición Animal, gracias.

A mis amigos por estimularme a seguir adelante gracias por su amistad.

A mis asesores Sergio, Ma. Antonieta y Humberto.

Al Dpto. de Toxicología y en especial a MVZ René Rosiles M. por su valiosa colaboración en la determinación de Arsénico.

A M. C. Sergio Ayvar S. por su ayuda en la redacción de este trabajo, gracias.

A los miembros de mi jurado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
Resumen.....	1
Introducción.....	3
Fuentes de Contaminación.....	6
Aguas Residuales.....	12
Metales Pesados en Suelo.....	13
Metales Pesados en Cultivos.....	15
Hipótesis.....	19
Objetivo.....	19
Material y Métodos.....	19
Resultados.....	22
Discusión.....	25
Literatura Citada.....	47

Figuras

Figura 1. Areas de muestreo de Agua, Suelo y Forraje.....	30
Figura 2. Concentración promedio de Plomo.....	31
Figura 3. Concentración promedio de Cadmio.....	32
Figura 4. Concentración promedio de Cromo.....	33
Figura 5. Concentración de Arsénico.....	34

Cuadros

Cuadro 1. Determinación de la concentración de Plomo en agua.....	41
Cuadro 2. Determinación de la concentración de Plomo en suelo.....	41
Cuadro 3. Determinación de la concentración de Plomo en forraje.....	42
Cuadro 4. Determinación de la concentración de Cadmio en agua.....	42
Cuadro 5. Determinación de la concentración de Cadmio en suelo.....	43
Cuadro 6. Determinación de la concentración de Cadmio en forraje.....	43
Cuadro 7. Determinación de la concentración de Cromo en agua.....	44
Cuadro 8. Determinación de la concentración de Cromo en suelo.....	44
Cuadro 9. Determinación de la concentración de Cromo en forraje.....	45
Cuadro 10. Determinación de la concentración de Arsénico en agua.....	45
Cuadro 11. Determinación de la concentración de Arsénico en suelo.....	46
Cuadro 12. Determinación de la concentración de Arsénico en forraje.....	46

ANEXOS

	Página
Anexo 1. Producción de algunos metales en Latinoamérica.....	41
Anexo 2. Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para el riego agrícola.....	42
Anexo 3. Efectos de los metales traza en concentraciones tóxicas.....	43
Anexo 4. Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico en aguas utilizadas para riego en el Valle del Mezquital, Tula, Hgo.....	44
Anexo 5. Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico en suelos del Valle del Mezquital, Tula, Hgo.....	45
Anexo 6. Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico en forrajes regados con aguas negras en el Valle del Mezquital, Tula, Hgo.....	46

RESUMEN

MEMBRILLO TAPIA ERIC. Determinación de Metales Pesados en Agua, Suelo, Forraje y Alimento en Apaxco Estado de México (bajo la dirección de los MVZ Sergio Angeles Campos, Humberto Troncoso Altamirano y la Química Ma. Antonieta Aguirre García). En el presente trabajo, se determinaron los niveles de los metales: Arsénico, Cadmio, Cromo y Plomo, en Agua, Suelo, Forraje y Alimento concentrado por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Se analizaron 20 muestras de agua, 35 muestras tanto de forraje como de suelo y 2 de alimento concentrado. Encontrándose los siguientes resultados: En las muestras de agua se determinaron concentraciones de 0.355 ppb ($\mu\text{g}/\text{l}$), 22.533 ppm, 0.0623 ppm y 0.417 ppb de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico respectivamente. A excepción del Cadmio estos metales presentaron índices aceptables dentro del rango recomendado por La Organización Mundial de la Salud (OMS).

En el suelo se observaron los siguientes valores promedio: Plomo 0.554 ppb, valor inferior a lo reportado por la OMS; Cadmio 28.114 ppm valor superior a lo encontrado en forma natural en suelos; Cromo 125 ppm, concentración habitualmente encontrada en suelos. El Arsénico manifiesta una concentración promedio de 1.295 ppb, la cual es reportada con frecuencia en suelos no contaminados. En las muestras de forraje, el Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico se presentaron concentraciones de 0.655 ppb, 25.914 ppm, 8.025 ppm y 0.129 ppb, respectivamente; las cuales se encontraron en rangos aceptables; a excepción del Cadmio, que excede los índices recomendados por la OMS.

En el Alimento concentrado se encontraron valores promedio de Plomo de 0.045 ppb, que es un valor habitualmente encontrado; en cuanto al Cadmio se encontraron concentraciones de 27.5 ppb, que caen en el rango de tóxicas. El Cromo se mantuvo en un promedio de 0.062 ppm, considerada como no tóxica por la OMS. El agua, suelo, forraje y el alimento concentrado mostraron una contaminación por Cadmio; por su parte, el Cromo se encontró en un rango muy cercano a lo no permisible, lo que traerá como consecuencia alteraciones de la productividad agrícola, de la salud de los animales y, por consecuencia, la calidad de los productos pecuarios, que a su vez, repercutirá en la salud del hombre.

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA,SUELO,FORRAJE Y ALIMENTO EN APAXCO ESTADO DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más grandes de los próximos años será la forma de producir la cantidad necesaria de alimentos para satisfacer las necesidades de una población en constante aumento. Si la población humana aumenta, es obvio que se necesitará más alimento disponible para los consumidores (18).

Este incremento poblacional ha provocado la formación de asentamientos humanos irregulares y desorganizados, que no previenen la forma o procedimiento de eliminar contaminantes sin dañar el ambiente. Durante los últimos años, el problema de la contaminación ambiental ha sido motivo de gran preocupación en todo el mundo y diversos países han desarrollado un complejo sistema de control para conservar el equilibrio ecológico y la salud de los habitantes (18).

En el Valle de México la población ha tenido un rápido crecimiento, lo que ha propiciado un acelerado desarrollo urbano e industrial en las últimas décadas, por lo que ha aumentado cada vez más su importancia económica y social.

La contaminación del suelo, agua, aire y alimento con metales pesados es consecuencia del avance tecnológico y de la realización de diversos procesos industriales que provocan acumulación de estos metales en niveles que pueden resultar tóxicos (13,18).

Se considera que un contaminante puede ser toda sustancia sola o combinada, que puede alterar las características naturales del aire, agua o suelo cuando es incorporado a estos; así como también toda forma de energía (calor, radioactividad y ruido) que opera sobre el medio ambiente, alterando su estado normal (18).

Los metales que contribuyen a la contaminación son, entre otros: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y plomo (Pb). Se han identificado cuatro fuentes esenciales de metales pesados que contaminan el ambiente que son:

a. Agropecuaria: Mediante la aplicación de agroquímicos como insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes, que pueden contener estos metales, por ejemplo el Ácido dimetil arsínico (ácido cocodílico), Ansar138 etc. o bien impurezas como el cadmio en fertilizantes fosfatados (30).

b. Contaminación industrial: Los metales tienen su principal fuente de emisión en las actividades de extracción y refinamiento y en su utilización industrial; estas industrias liberan sus desechos contaminantes al ambiente que producen efectos nocivos en la población que entra en contacto con ellos (28).

c. Procesamiento y preservación de alimentos: Los contaminantes metálicos pueden adquirirse por contacto físico o químico con equipo y envases. Por ello los alimentos ácidos podrán absorber plomo y cadmio en los objetos de alfarería brillantados o pulidos (18).

d. Fuentes geológicas: El ambiente puede provocar en forma natural algunos metales como el cromo, por lo que estos metales pueden encontrarse en la cadena alimenticia (10).

A medida que la población aumenta, la velocidad de utilización del medio se incrementa, la cual se hace más evidente en la actividad industrial y doméstica. Una consecuencia es la contaminación por metales pesados, que en las grandes ciudades se eliminan o desechan por medio del agua residual y es la que se utiliza en la actividad agrícola o para otros fines, en regiones donde este elemento es escaso, y que causa contaminación en los suelos, y en consecuencia provoca una disminución en la calidad y productividad de los cultivos, así como daños a la salud animal y humana que los consume.

FUENTES DE CONTAMINACION

Plomo

El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de forma relativamente abundante, en un promedio de 16 mg/Kg. Fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre. Se produce principalmente por fundición del mineral. Los principales yacimientos se encuentran en Australia, Canada, Estados Unidos de América y Unión Soviética. La producción mundial minera es de aproximadamente 3,300,000 ton/año; de la cual, el 14% se produce en América Latina. Los países productores más importantes son Perú (212,600 ton/año) y México (184,261 ton/año) (Anexo 1). La tendencia del incremento en la producción y consumo de plomo en América Latina, ha aumentado el riesgo de exposición y de daños a la salud de la población (11).

La actividad humana a través del tiempo ha producido crecientes descargas de este metal en el ambiente, aumentando y diversificando paralela y progresivamente las condiciones de exposición a niveles cada vez más altos en el ambiente (11,28).

El plomo está presente en muy diversas actividades industriales, ya sea como materia prima para la fabricación de baterías, pigmentos y cables o como constituyente de los subproductos del proceso: en la imprenta y la utilización de soldaduras. En caso de que esté presente como materia prima, el plomo suele generar concentraciones ambientales muy elevadas (11,13).

Otras industrias que presentan riesgo por la utilización de plomo son: alfarería y vidriado, construcción, cañerías, municiones, productos de acero, elementos para protección contra radiaciones y tuberías de plomo (11,21).

En general, el ambiente es contaminado fundamentalmente por las actividades del hombre. Las principales fuentes que contaminan al ambiente son: En primer lugar, la combustión de gasolina que contiene aditivos del plomo, y en segundo lugar la fundición primaria del plomo (28). El plomo llega a los suelos y los cultivos o cubierta vegetal, como depósito aéreo y durante la precipitación, irrigación, drenaje de minas, o como polvo que viaja de un lugar a otro (13).

Cadmio

No existe en su estado puro sino asociado a otros minerales como plomo, cobre y zinc. De éstos, el más importante es el zinc que por cada dos partes puede contener hasta 0.3 partes de cadmio (9,27).

A nivel mundial se produce alrededor de 17,244 ton/año. De este total, 3,576 ton (21%) son producidas en América Latina, principalmente por México (1,983 ton) y Perú (1,081 ton) (Anexo 1).

Puede estar presente en varias combinaciones, incluyendo aquellas orgánicas que representan riesgo para la salud (9).

La presencia natural del cadmio en el medio, aparentemente no causa problemas significativos para la salud, porque se encuentra en concentraciones mínimas. La amplia utilización del cadmio en la industria, favorece una mayor frecuencia de contaminación ambiental (9).

El cadmio se utiliza ampliamente como un material de impermeabilización, así como en las industrias de los plásticos y de los pigmentos para pinturas; los compuestos del cadmio se utilizan en baterías y acumuladores, fotografías, cables eléctricos y equipos nucleares. Otras fuentes importantes de contaminación ambiental son la incineración de residuos, la combustión de carburantes fósiles y el uso de fertilizantes fosfatados (6,9,28,). Las actividades industriales y mineras son fuentes de contaminación del ambiente exterior no ocupacional, especialmente en las ciudades.

Las actividades mineras, tanto para el cadmio como para otros metales, son la fuente más evidente y las que causan las concentraciones más altas del cadmio, ya que este metal se encuentra frecuentemente incorporado en diversos minerales. La exposición no sólo es importante para los mineros, sino también para otros individuos que trabajen en instalaciones cercanas a ellas (9).

El cadmio está presente en diferentes actividades industriales, es materia prima, de las industrias de baterías y colorantes, y forma parte de los subproductos del proceso para la obtención de zinc. Cuando se utiliza como materia prima en procesos industriales, el cadmio suele generar concentraciones ambientales muy elevadas (9.13).

Las industrias que han presentado mayor riesgo, por la presencia de cadmio son: fabricación de baterías y acumuladores, cables eléctricos, celdas fotoeléctricas, cloruro de polivinilo, clorantes de cadmio, equipos para llantas, equipos nucleares, fusibles, joyería, laminados a vapor, soldadura, tapones de extinguidores y extracción del zinc (9).

Cromo

El cromo se encuentra en la naturaleza en varias combinaciones con otras sustancias. Está distribuido por toda la corteza terrestre, pero presenta una concentración mayor en las rocas básicas, de donde es extraído para su utilización en diversas actividades industriales, principalmente en metalurgia, química y producción de pigmentos. Puede presentarse en la forma iónica con valencia +2, +3 ó +6; éstas dos últimas son las más importantes por sus efectos adversos sobre la salud humana (10,13).

La producción mundial del cromo es de 8,085,000 ton/año. El 11% de esta cantidad es producida en América Latina, principalmente por Brasil (829,000 ton/año), que participa activamente en la extracción y producción de cromo, especialmente para la industria del acero, de materiales refractarios y de producción de vidrio y cemento (Anexo 1) (10).

La utilización industrial del cromo se hace principalmente con el objetivo de obtener protección por revestimiento de los metales, de fines estéticos y de decoración, de cambios de color en varios tipos de materiales; además, es un importante agente en los procesos de curtido de pieles (10,27).

Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia del cromo, según su rama son: cemento, colorantes, construcción, curtidurías, galvanoplastia, material fotográfico, material refractario, metalurgia (producción de acero y otras aleaciones metálicas), pinturas; principalmente las anticorrosivas (10).

La contaminación de origen industrial por plantas procesadoras de cemento, y asbesto y la que se origina por los gases que producen la combustión de vehículos motorizados, puede provocar concentraciones del cromo en aire hasta valores peligrosas para la salud(10).

Arsénico

El arsénico está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, en un promedio de 2 ppm, bajo la forma de mineral y principalmente como impureza de otros minerales. Además, puede estar presente en el agua, el aire y los organismos vivos, especialmente los marinos (8).

Según sea su valencia (trivalente o pentavalente) o sus combinaciones, presentará mayor o menor riesgo para la salud humana. El arsénico que se encuentra en la naturaleza, es, en gran parte, pentavalente, el cual es relativamente tóxico. El arsénico de origen industrial es trivalente, que es una forma mucho más tóxica. La combinación de arsénico con otros compuestos químicos, altera su toxicidad según la solubilidad del compuesto y la valencia con la que actúa este metal en él. Al combinarse con el hidrógeno forma la arsina, que es un gas extremadamente tóxico (8). El arsénico se utiliza en la agricultura como componente de plaguicidas, en la industria (acero, cerámica, etc.) y en la extracción o en la purificación de otros minerales. Su importancia, además de su empleo industrial, se debe a su presencia natural en altas concentraciones en el agua de determinadas regiones geográficas (14) y que se utiliza como medicamento para diferentes enfermedades de los seres humanos y animales (8,21).

En América Latina se obtiene el 23% de la producción mundial de arsénico que se estima en 25,276 ton/año. Los principales productores en la región son México (4,557 ton/año) y Perú (1,110 ton/año) (Anexo 1).

En general las fuentes de contaminación ambiental son los desechos industriales y mineros líquidos, sólidos y gaseosos.

El arsénico y sus compuestos, principalmente sales y óxidos, están presentes en múltiples actividades industriales, para diversos fines y usos, ya sea en bajas cantidades como reactivos o como componente básico de productos. Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia del arsénico son: cerámica, colorantes, curtiduría, joyería, medicamentos, pinturas, pirotecnia, plaguicidas, preservación de madera e industria química: fabricación de ácido sulfúrico, obtención de sales de arsénico, obtención y purificación de ácidos de arsénico, purificación de arsénico y vidrio (8).

AGUAS RESIDUALES

Se utilizan principalmente para la irrigación de cultivos agrícolas en zonas áridas y semiáridas; sin embargo, estas aguas deben tener una calidad aceptable que no perjudique las plantas ni la calidad de producto cosechado (19). Asimismo, no deben ocasionar daños a la salud del hombre y los animales que consuman estos productos; no deben ser fuentes de infecciones por la formación y el transporte de aerosoles que acarrean organismos patógenos, ni afectar las características naturales del suelo (13).

Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas aguas contiene altos niveles de desechos tóxicos, los cuales son depositados gradualmente en el suelo, éste posee una capacidad de reaccionar con estos compuestos, lo cual puede a la postre saturarse o alcanzar un equilibrio. En muchos casos los suelos tiene gran capacidad para reaccionar con los elementos traza. Por lo tanto, el agua de riego que contiene niveles tóxicos de estos elementos, se puede aplicar por años antes de que en el suelo se alcance el equilibrio; este estado se puede alcanzar en un tiempo variable, el cual depende de las condiciones climáticas, las características del suelo y de la especie vegetal y las concentraciones de los elementos traza (13).

Los parámetros nacionales que se consideran como criterios para la reutilización del agua de riego en la agricultura, se basan en estudios realizados a nivel mundial; donde se han observado efectos adversos sobre los cultivos que presentan niveles altos de este elemento. En el Anexo 2, se presenta la lista de los niveles máximos de compuestos en Aguas Residuales, según la Comisión Nacional del Agua 1990 (5).

METALES PESADOS EN EL SUELO

El suelo es considerado como un componente importante del medio ambiente al igual que el aire y el agua, ya que provee un sustrato para las actividades de las plantas, los animales terrestres y el hombre; es el soporte para el desarrollo y crecimiento de las plantas que capturan la energía solar (fotosíntesis). La mayoría de elementos involucrados en el mantenimiento de la vida, se encuentran cercanos a la tierra proporcionando el medio ideal para la rápida degradación (acción microbiana) del material muerto y su transformación en compuestos elementales, que son rápidamente reintegrados al ciclo por medio de la vegetación (28).

Los metales pesados son incorporados al suelo y degradados, mediante el uso de materiales y desechos domésticos e industriales (28). La mayor parte de los suelos contienen cantidades relativamente pequeñas de metales pesados, que generalmente se encuentran en formas muy estables y no están disponibles para ser asimilados por las plantas. Las áreas de alta densidad de población con su actividad industrial y uso intensivo de automóviles, son los contribuyentes principales de estos materiales al medio ambiente (23).

Plomo

En áreas contaminadas, se pueden encontrar en el suelo concentraciones de hasta 8 g/Kg (11).

El suelo se contamina principalmente por depósitos de partículas del aire y

agua. En ciertas regiones agrícolas la utilización de plaguicidas que tiene plomo (por ejemplo arseniato de plomo), es una forma adicional de contaminación de suelos (11,30).

La acumulación de plomo en la superficie del suelo es de gran importancia ecológica, porque influye en la actividad biológica del suelo y limita la actividad enzimática microbiótica y, como consecuencia provoca un incremento de materia orgánica con descomposición incompleta en el suelo, por ejemplo, los materiales como la celulosa que no se fraccionan fácilmente (13).

La contaminación con plomo de la superficie del suelo se considera un proceso acumulativo irreversible, aunque la entrada de este elemento sea mínima (13).

Cadmio

En suelos no contaminados el cadmio se encuentra alrededor de 0.15 a 0.2 mg/Kg. Sin embargo la deposición de partículas de aire o agua contaminadas por actividades industriales o por uso de fertilizantes fosfatados, pueden determinar concentraciones de 16 mg/Kg (4,9).

Cromo

El cromo se puede encontrar en concentraciones de 250 mg/Kg (10). Los valores más altos de cromo se han encontrado en suelos llamados de serpentina, que también contienen otros metales pesados como son Niquel (Ni) y Cobalto (Co) (22).

Arsénico

La exposición ocupacional se produce, tanto en los individuos que realizan la aplicación de estos productos, como en aquéllos que posteriormente manipulan los productos contaminados, principalmente en los cultivos de algodón, café, cacao, verduras y vid. Las concentraciones normales que se encuentran en el suelo son de 1 a 2 ppm, en promedio, pero lugares en contaminados es de 40 ppm (8,27).

METALES PESADOS EN CULTIVOS

La concentración de minerales en cosechas y forrajes dependen de cuatro factores básicos independientes: 1) género, especie y variedad de la planta. 2) tipo de suelo cultivado. 3) las condiciones climáticas o de estación durante el desarrollo de los cultivos y 4) el estado de madurez de la planta (29).

Plomo

Las frutas y verduras acumulan plomo ya sea absorbiéndolo a partir del suelo, o bien, recibéndolo como depósito en las superficies, a partir del aire contaminado (11,27).

En algunos países se han encontrado concentraciones de 1.3 mg/Kg en cereales y legumbres (11).

En cultivos hidropónicos experimentales de avena, donde se han utilizando diferentes niveles de plomo, se ha demostrado que ocurre una

importante incorporación de este metal a la planta, lo que ocasiona una significativa reducción de la producción (13,15).

Existen diversos efectos de elementos traza en concentraciones tóxicas en los vegetales (Anexo 3).

Cadmio

El conocimiento de sus efectos sobre la salud del hombre, los animales y las plantas ha ganado terreno con el reconocimiento de la enfermedad itai-itai (ay-ay), la cual recibió este nombre por los dolores óseos y musculares en las personas afectadas, que consumieron alimentos contaminados por el cadmio originado en una mina cerca a la ciudad de Toyama, Japón. En donde se encontró una concentración de 2 mgCd/kg (2ppm) en el arroz que era consumido por la población (9).

La cantidad de cadmio ingerida habitualmente a través de la alimentación es de 10 a 60 $\mu\text{g}/\text{día}/\text{persona}$ (9).

El cadmio no es un elemento esencial para las plantas y los animales. Sin embargo, un incremento en la cantidad de cadmio en el suelo conduce a un incremento en la absorción (4).

Las concentraciones normales de cadmio en plantas son de 0.01-1 mg/Kg (1). Los niveles altos de cadmio afectan la producción forrajera; en los cultivos de frijol, lechuga y maíz y se ha observado que con concentraciones de 0.2 a 9 ppm la producción puede presentar un decremento (13).

Cromo

Los alimentos constituyen para el hombre y los animales la fuente de cromo natural más importante. Aportes superiores proporcionados por otros medios como aire y agua, habitualmente se debe a contaminación artificial.

La presencia de cromo en los alimentos es muy variable, varía de 20 y 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en las verduras, 20 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ en las frutas, 40 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ en los cereales y 20-200 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ en algunos alimentos marinos. Se estima que la ingestión diaria de cromo en condiciones normales puede variar de 5 a 500 μg , con un valor promedio diario de 100-300 μg . Cantidades adicionales pueden ser causadas por la contaminación antropogénica del ambiente en general (10).



El cromo puede favorecer el crecimiento de los cultivos, sin embargo cantidades excesivas de cromo en ciertos suelos suelen causar enfermedades a las plantas. En tejidos vegetales normales se han encontrado de 0.01 a 1.0 mg/Kg (13).

Arsénico

Su importancia para la salud ha sido analizada y discutida desde hace mucho tiempo. Los más antiguos se refieren a la contaminación accidental o intencional de alimentos y a los efectos del arsénico en la salud de trabajadores expuestos (8).

Los alimentos, en general, contiene bajas concentraciones de arsénico, de 1 mg/Kg o menos. Los organismos marinos en cambio logran concentraciones más elevadas de 1 a 10 mg/Kg , y en ocasiones de hasta 100 mg/Kg (8,27).

En general, la concentración de arsénico en plantas es menor de 0.5 ppm, sin embargo, en plantas cultivadas en suelos ricos de arsénico se han encontrado concentraciones de 2080 a 3470 ppm en muestras de hojas de *Agrostis tenuis*(27).

El uso de pesticidas aumenta los niveles de arsénico en el suelo, estos se transfieren a las plantas, y que pueden actuar como transportadores de grandes concentraciones de arsénico a diferentes animales (20).

Por lo anterior, se considera importante la realización de este trabajo, ya que en el área agrícola donde se realizó el presente estudio, se utilizan para riego aguas residuales sin ningún tratamiento, y también porque en esta región se encuentran minas de cantera y cementeras que son fuentes potenciales de contaminación.

HIPOTESIS

Debido a la ubicación del Centro de Capacitación Agropecuaria y Forestal (CECAF) localizada en Apaxco Estado de México, encontrado en una zona de alto riesgo por la presencia de fuentes contaminantes del medio se hallarán metales pesados.

OBJETIVO

Determinar las concentraciones de metales pesados (Plomo Pb, Cadmio Cd, Cromo Cr y Arsénico As) en suelo, agua, forraje y alimento concentrado del CECAF Apaxco, Estado de México.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

El presente estudio se realizó en el Centro de Capacitación Agropecuaria y Forestal (CECAF), ubicado en Apaxco, Estado de México; su localización geográfica es 90°45' latitud norte y 22°45' latitud oeste; presenta un clima templado con verano fresco largo, semi frío con poca oscilación (Cb (w2) (i)), con una precipitación anual promedio de 200-400 mm. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 2200 m (12).

Material

La superficie cultivada del CECAF se distribuye de la siguiente manera: 11.3 ha de alfalfa (*Medicago sativa*) con una producción de 7 ton de forraje fresco por corte, se realizan ocho cortes por año; 15.42 ha de pradera mixta, integrada por gramíneas como Rye Grass (*Lolium multiflorum*) Zacate Azul Kentucky (*Poa pratensis*) Zacate Orchard (*Dactylis glomerata*) leguminosas como Trébol (*Trifolium repens latum*) y alfalfa, esta área cuenta con riego por gravedad y presenta una producción de 18 ton de forraje fresco por corte, se hacen 12 cortes por año; este forraje se utiliza para alimentar 130 caprinos y 243 ovinos.

Métodos

La toma de muestras tanto del suelo como del forraje se hizo por medio del método de zig-zag o escalonado; se dividió en 7 grupos el área total, que cuenta con riego por gravedad, se tomó como base la distribución que tenían los cultivos en relación con el canal abastecedor del agua de riego (16, 26).

En cada grupo y en el mismo sitio se tomaron tanto cinco muestras de suelo como de forraje.

La muestra de agua se tomó de la siguiente forma:

Se dividió el canal de distribución en cuatro puntos de muestreo, en cada uno de éstos se tomaron dos muestras; por lo tanto se recolectaron ocho muestras; este procedimiento se realizó durante cuatro semanas (16,24,25).

Del alimento concentrado se tomaron al azar dos muestras del producto elaborado y estibado.

Todas las muestras fueron procesadas y analizadas por duplicado (2,3).

La concentración de los metales pesados se determinaron por el método de espectrofotometría de absorción atómica; para ello se utilizó un aparato Perkin-Elmer modelo 2380. El cromo y el cadmio se determinaron con flama, mientras que el plomo se determinó en horno de grafito modelo HGA-400. El arsénico se determinó por la técnica de generación de hidruros (2,3).

Los análisis se realizaron en el laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, excepto la determinación del arsénico que se realizó en el Laboratorio de Toxicología, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En la figura 1 se muestra el área de estudio y lo sitios donde se llevaron a cabo las muestreos de agua, suelo y forraje.

Una vez realizada la fase de colección y procesamiento de muestras se procedió a evaluar los resultados, mediante la utilización de estadística no paramétrica (17).

RESULTADOS

Determinación de Plomo

Agua

En la Figura 2 se presenta la concentración promedio del plomo en el agua, donde se puede observar que fué superior numéricamente a la encontrada en alimento concentrado, pero inferior a la que presentaron el suelo y forraje. De la misma forma, en el Cuadro 1 se muestran las concentraciones, donde se nota que fluctuaron en un rango de 0.92 a 2.07 ppb, con un promedio de 0.33ppb ($\mu\text{g/l}$).

Suelo

En el Cuadro 2 se presentan las concentraciones de plomo en el suelo, las cuales oscilaron de 0.11 ppb a 1.37 ppb, con un promedio de 0.55 ppb.

Forraje

En el Cuadro 3 se ilustran las concentraciones de plomo en el forraje que se obtuvieron, éstos oscilaron de 0.27 a 1.24 ppb, con un promedio de 0.65 ppb.

Alimento concentrado

Las concentraciones promedio de este metal fueron de 0.045ppb.

Determinación de Cadmio

Agua

Las concentraciones de este metal en agua se presentan en el Cuadro 4, como se puede apreciar, este metal presentó de 11 a 34 ppm, con una media de 22.53 ppm(22.53 mg), que fue inferior numéricamente a los valores que se presentaron en suelo, forraje y alimento concentrado (Figura 3).

Suelo

En el Cuadro 5 se presentan los valores encontrados de cadmio, que fluctuarón de 17 a 39 ppm, con una media de 28.114 ppm.

Forraje

Como se puede observar en el Cuadro 6 la cantidad de cadmio varió de 10 a 38 ppm con un promedio de 25.91 ppm.

Alimento concentrado

La concentración de cadmio en el alimento concentrado fluctuó de 27 a 28 ppm, con una media de 29.75 ppm.

Determinación de Cromo

Agua

En la Figura 4 se puede apreciar, que la concentración promedio del cromo en el agua, fue superior numéricamente a la encontrada en alimento concentrado, pero ínfima a las encontradas en suelo y forraje; fluctuó en un rango de 0 a 1.25 ppm, con una media de 0.62 ppm (Cuadro 7).

Suelo

Las concentraciones de cromo se muestran en el Cuadro 8 donde se observa que la concentración máxima fue de 131.5 ppm, la mínima fue de 21 ppm y el promedio de 54.11 ppm.

Forraje

En el Cuadro 9 se presentan las concentraciones del cromo en forraje que variaron de 2 a 19.25 ppm con un promedio de 8.02 ppm.

Alimento concentrado

Los valores encontrados de cromo en alimento concentrado variaron de 0.056 a 0.068 ppm, con una media de 0.062 ppm.

Determinación de Arsénico

Agua

En el cuadro 10 se observa que las concentraciones del arsénico en el agua, oscilaron entre 0.31 y 0.52 ppb, con una media de 0.41 ppb; esta concentración promedio fue superior numéricamente a las encontradas en forraje y alimento concentrado (Figura 5).

Suelo

En el cuadro 11 se presentan las concentraciones de Arsénico en suelo, que fueron de 0.86 a 1.69 ppb, con una media de 1.29 ppb.

Forraje

Las concentraciones del Arsénico en forraje, que se mantuvieron en un rango de 0.02 ppb a 0.45 ppb, con un promedio de 0.21 ppb (cuadro 12).

Alimento concentrado

No se encontró concentraciones del metal pesado Arsénico en alimento concentrado.

DISCUSION

Determinación de Plomo

Agua

Aunque las concentraciones de este metal en las muestras analizadas se encuentran dentro de los niveles permisibles, que han sido reportados por otros autores en años anteriores (Anexo 4) se considera que la cantidad de este metal puede incrementarse en forma gradual a medida que transcurra el tiempo(13), de tal forma que, si este aumento continúa, muy pronto las concentraciones llegarán a los límites no permisibles, y si estas aguas residuales se aplican a los cultivos pueden provocar problemas de fitotoxicidad en las plantas y afectar la salud del hombre y los animales que consumen estos productos agrícolas.

Suelo

En áreas contaminadas el contenido de plomo puede llegar hasta 8 g/kg (11); que es un valor superior al que indican las concentraciones encontradas, en las muestras que se recolectaron, y a lo reportado por otros autores en diferentes años (Anexo 5).

Forraje

El forraje que se produce en las condiciones agroclimáticas y de manejo del cultivo no presenta problemas de contaminación por este metal por que las concentraciones encontradas son inferiores a las reportadas en forrajes que, es de 1.3 ppm (11); de igual forma, son inferiores a las concentraciones reportadas por Mascareño Castro (1974), Acosta Lara (1980), Méndez García (1980) y García Zuñiga (1987) (Anexo 6).

Alimento concentrado

Los niveles encontrados son reportados habitualmente en cereales y forrajes.

Determinación de Cadmio

Agua

Estas concentraciones son extremadamente superiores a las permisibles en México (Anexo 2) y también a las reportadas por Mascareño Castro (1974), Acosta Lara (1980), Méndez García (1980) y García Zuñiga (1987) (Anexo 4).

De donde se infiere, que cuando esta agua residual se utiliza para regar cultivos o praderas, se está sometiendo al suelo a un proceso de acumulación de Cadmio, que a mediano o largo plazo, puede afectar tanto al desarrollo de las plantas como la salud de los consumidores de productos agrícolas; pues se debe tomar en cuenta que este metal se acumula a través del tiempo en la superficie del suelo, dependiendo de las condiciones o naturaleza del mismo; genera problemas tóxicos y provoca la inutilización de los suelos (13).

Suelo

Los valores encontrados son más altos que los habitualmente hallados, en áreas no contaminadas, de alrededor de 1 mg/kg (9); también son superiores a las reportadas por Mascareño Castro (1974), Acosta Lara (1980), Méndez García (1980) y García Zuñiga (1987) (Anexo 5). La contaminación del suelo por depósito de partículas del aire o por agua contaminados por actividades industriales, han determinado concentraciones de hasta 16 mg/kg(9).

Forraje

Las concentraciones son muy superiores a los encontrados en plantas que es de 0.01-1 ppm (9), de acuerdo con el Anexo 6 es evidente que estos valores son también superiores a los hallados por otros autores en años anteriores.

Alimento concentrado

Los valores encontrados pueden catalogarse como tóxicos de acuerdo a las concentraciones normalmente encontradas (9).

Determinación de Cromo

Agua

Es importante tener en cuenta que los niveles de este metal rebasan los límites permisibles en México, como se puede constatar en el Anexo 2 ; aunque en esta investigación se encontraron concentraciones de cromo muy similares a las reportadas por García Zuñiga en 1987, y mayores a los reportados por otros autores en años anteriores (Anexo 4).

Suelo

Los valores encontrados están en el rango de lo hallado normalmente (10), sin embargo son mayores a los reportados por otros autores en años anteriores (Anexo 5).

Forraje

Las concentraciones encontradas son superiores a las encontradas por Mascareño Castro (1974), Acosta Lara (1980), Méndez García (1980) y García Zuñiga (1987) (Anexo 6).

Alimento concentrado

Los valores encontrados entran en el rango de lo reportado que es 1 ppm (10).

Determinación de Arsénico

Agua

Los valores encontrados son menores a los límites permisibles en México. Sin embargo, estas concentraciones son suficientes para que a largo plazo contaminen los suelos hasta niveles no permisibles (8).

Suelo

Las concentraciones encontradas son normales, ya que el arsénico está presente en el suelo en una concentración promedio de 2 mg/kg.

En situaciones donde hay contaminación se han identificado concentraciones hasta de 40 mg/kg (8).

Forraje

Las concentraciones encontradas son menores que la reportada en forma habitual, que es de 1 ppm (8).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

-El agua residual que se utiliza para la irrigación de los cultivos del CECAF, no reúne las características establecidas por la Comisión Nacional del Agua para su reutilización en la agricultura. Como se ha descrito anteriormente, los metales pesados Pb, Cd, Cr y As tienen un efecto acumulativo en el suelo, lo cual traerá como consecuencia, que los cultivos concentren dichos metales

pesados en niveles no permisibles para quien los consuma ya sea animales o directamente los humanos.

-Las cantidades encontradas tanto de plomo como de arsénico en el suelo son mínimas; sin embargo, son muy importantes en procesos de absorción por parte de las plantas, dependiendo de factores como la salinidad, el pH, la materia orgánica, los iones, la textura y otros que no fueron considerados en

este estudio pero son reportados por diferentes autores.

-Los suelos de la región investigada están contaminados, por cadmio, cuyas concentraciones son mayores a las que existen en forma natural.

-Los niveles de cromo en el suelo son cercanos a los niveles tóxicos, por lo que deberán tomarse medidas apropiadas para evitar que estos suelos pierdan su potencial agrícola.

-El forraje y el alimento concentrado se encuentran contaminados por cadmio: lo cual tendrá como consecuencia variabilidad en la producción, además de ejercer un efecto directo en la cadena alimenticia, ya sea disminuyendo los parámetros productivos (leche, carne, etc) o bien alterando la salud de los animales, y por consecuencia sobre la calidad de los productos pecuarios que a su vez repercutirá en la salud del hombre.

-La concentración de cromo en forraje fue inferior a la tóxica, pero superior a lo reportado por otros autores.

-El plomo y arsénico se encontraron en concentraciones mínimas tanto en forraje como en alimento concentrado.

Se considera importante tener una conciencia ecológica, de tal forma que se fomente la realización de más investigaciones al respecto, y se genere mayor información sobre la concentración y efectos desfavorables de los metales pesados en la Producción Animal y Salud Pública.

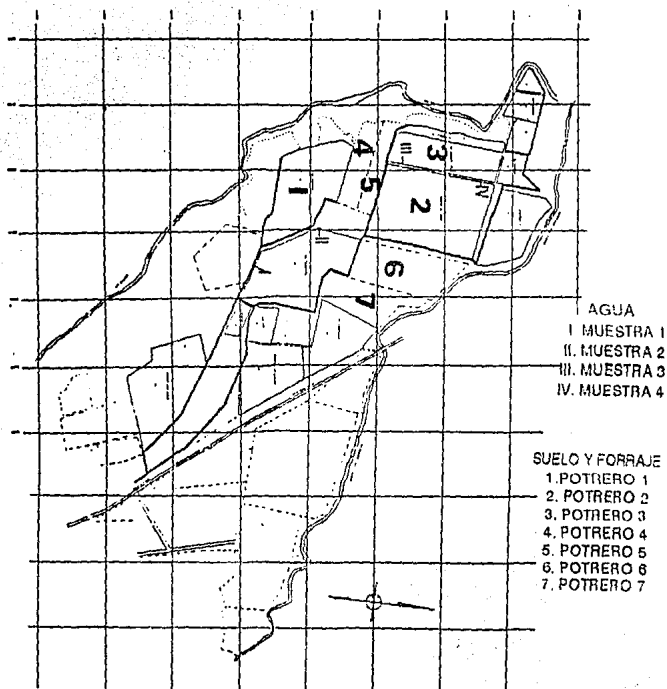


FIGURA 1 AREAS DE MUESTREO DE AGUA, SUELO Y FORRAJE
EN EL CECAF APAXCO ESTADO DE MEXICO

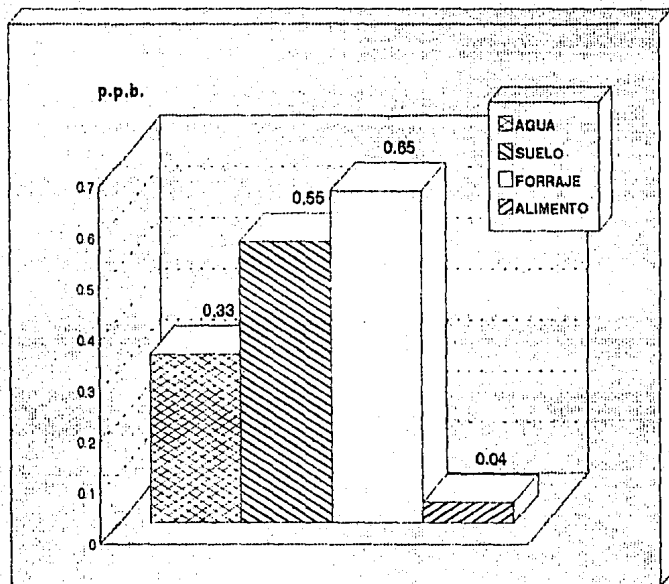


FIGURA 2. CONCENTRACION PROMEDIO DE PLOMO EN AGUA, SUELO, FORRAJE Y ALIMENTO CONCENTRADO DEL CECAF APAXCO ESTADO DE MEXICO.

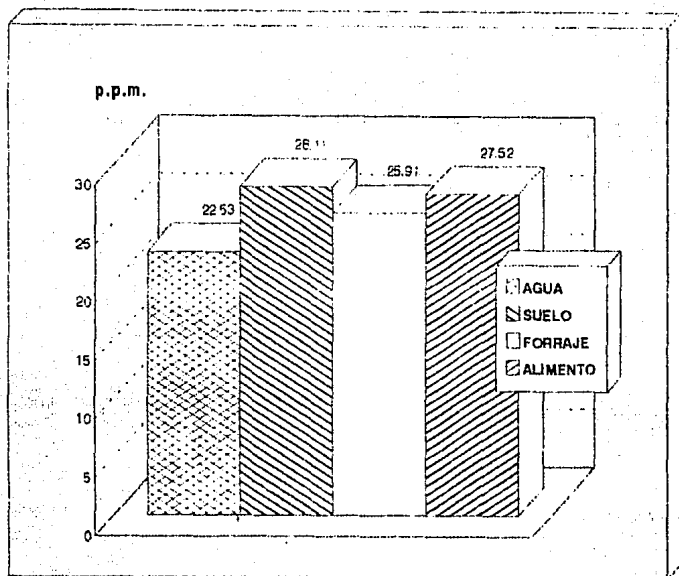


FIGURA 3. CONCENTRACION PROMEDIO DE CADMIO EN AGUA, SUELO, FORRAJE Y ALIMENTO CONCENTRADO DEL CECAF APAXCO ESTADO DE MEXICO.

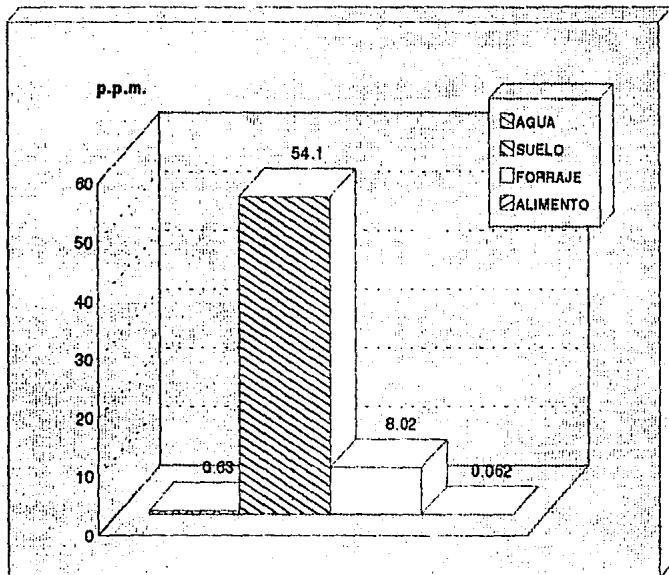


FIGURA 4 CONCENTRACION PROMEDIO DE CROMO EN AGUA, SUELO, FORRAJE Y ALIMENTO CONCENTRADO DEL CECAF APAXCO ESTADO DE MEXICO.

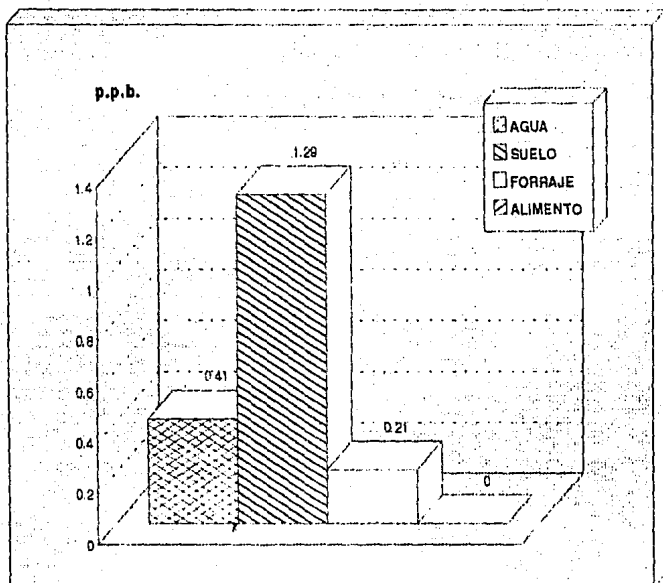


FIGURA 5. CONCENTRACION PROMEDIO DE ARSENICO EN AGUA, SUELO, FORRAJE Y ALIMENTO CONCENTRADO DEL CECAF APAXCO ESTADO DE MEXICO.

Cuadro 1. Determinación de la concentración de Plomo (ppb) en agua utilizada para riego en el CECAF Apaxco Estado de México

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Muestra 1	0.15	2.07	0.62
Muestra 2	0.15	0.33	0.32
Muestra 3	0.14	0.3	0.26
Muestra 4	0.09	0.3	0.12
Promedio 0.33 ppb		Desviación Estandar 0.24	

Cuadro 2. Determinación de la concentración de Plomo (ppb) en suelo del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	0.45	0.9	0.72
Potrero 2	0.29	0.88	0.66
Potrero 3	0.65	0.81	0.74
Potrero 4	0.11	0.76	0.37
Potrero 5	0.58	1.37	0.72
Potrero 6	0.26	0.38	0.34
Potrero 7	0.25	0.4	0.31
Promedio 0.55 ppb		Desviación Estandar 0.182	

Cuadro 3. Determinación de la concentración de Plomo (ppb) en forraje del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	0.59	0.90	0.74
Potrero 2	0.84	1.17	0.95
Potrero 3	0.73	1.08	0.87
Potrero 4	0.42	1.24	0.87
Potrero 5	0.32	0.54	0.4
Potrero 6	0.34	0.47	0.42
Potrero 7	0.27	0.46	0.31
<hr/> Promedio 0.65 ppb Desviación Estandard 0.24 <hr/>			

Cuadro 4. Determinación de la concentración de Cadmio (ppm) en agua utilizada para riego en el CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Muestra 1	17	25	21.3
Muestra 2	11	27	20.83
Muestra 3	15	34	24
Muestra 4	19	28	24
<hr/> Promedio 22.53 ppm Desviación Estandard 1.47 <hr/>			

Cuadro 5. Determinación de la concentración de Cadmio (ppm) en suelo del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	23	35	28.6
Potrero 2	19	36	28.4
Potrero 3	22	32	27.1
Potrero 4	24	29	25.6
Potrero 5	17	37	26.8
Potrero 6	22	36	27.5
Potrero 7	25	39	32.8
Promedio 28.114 ppm			Desviación Estandar 1.475

Cuadro 6. Determinación de la concentración de Cadmio (ppm) en forraje del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	22	36	27.8
Potrero 2	18	38	29.4
Potrero 3	21	34	26.5
Potrero 4	19	35	26.4
Potrero 5	17	32	24.2
Potrero 6	17	35	28.7
Potrero 7	10	31	18.4
Promedio 25.914 ppm			Desviación Estandar 3.452

Cuadro 7. Determinación de la concentración de Cromo (ppm) en agua utilizada para riego en el CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Muestra 1	0.25	3	1.025
Muestra 2	0	2	0.505
Muestra 3	0.25	1.25	0.384
Muestra 4	0	0.75	0.468
<hr/> Promedio 0.623 ppm Desviación Estandard 18.19 <hr/>			

Cuadro 8. Determinación de la concentración de Cromo (ppm) en suelo del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	40.5	131.5	63.42
Potrero 2	44.5	119.75	74.17
Potrero 3	25.5	91	50.72
Potrero 4	27.75	45.75	38.7
Potrero 5	21	34	25.5
Potrero 6	57.75	109.75	80.22
Potrero 7	24.5	96.25	46.92
<hr/> Promedio 54.11 Desviación Estandard 18.19 <hr/>			

Cuadro 9. Determinación de la concentración de Cromo (ppm) en forraje del CECAF Apaxco Estado de México.

Concentración	Mínima	Máxima	Promedio
Potrero 1	3.25	5	3.75
Potrero 2	3	11.5	6.06
Potrero 3	4	7	4.87
Potrero 4	2	16.5	7.12
Potrero 5	6	10.75	8.72
Potrero 6	6.25	14.75	10.4
Potrero 7	9	19.25	15.22
<hr/> Promedio 8.02 ppm Desviación Estandar 3.6 <hr/>			

Cuadro 10. Determinación de la concentración de Arsénico (ppb) en agua que se utiliza para riego en el CECAF Apaxco Estado de México

No. Muestra	Concentración
Muestra 1	0.52 ppb
Muestra 2	0.31 ppb
<hr/> Promedio 0.41 Desviación Estandar 0.1 <hr/>	

Cuadro 11. Determinación de la concentración de Arsénico (ppb) en suelo del CECAF Apaxco Estado de México.

No. Muestra	Concentración
Potrero 1	1.20
Potrero 2	0.86
Potrero 3	1.64
Potrero 4	1.15
Potrero 5	1.69
Potrero 6	1.28
Potrero 7	1.24
Promedio	1.295 ppb
Desviación Estandard	0.145

Cuadro 12. Determinación de la concentración de Arsénico (ppb) en forraje del CECAF Apaxco Estado de México.

No. Muestra	Concentración
Potrero 1	0.17
Potrero 2	0.42
Potrero 3	0.02
Potrero 4	0.45
Potrero 5	0.15
Potrero 6	0.19
Potrero 7	0.06
Promedio	0.219 ppb
Desviación Estandard	0.145

Anexo 1 Producción de algunos metales en Latinoamérica (1983)
(ton métricas por año)

Pais	Arsénico	Cadmio	Cromo	Manganeso	Mercurio	Plomo(*)
Argentina		19	169	30,000		32,000
Bolivia	107	143		88		11,838
Brasil		189	829,000	2'100,000		18,000
Chile				26,050		1,679
Colombia				30,000		390
Cuba			32,000			
Ecuador			0.4			
Guatemala						100
Honduras		161				
México	4,557	1,983		483,000	221	184,261
Perú	1,110	1,081				212,600
Rep.Dom					1.6	
Total Mundial	25,276	17,224	8'085,000	22'433,000	6,498	3'324,000
Total Latino- América y Caribe	5,774	3,579	861,161	2'659,142	222.6	480,158
% Latinoamérica y Caribe sobre Total Mundial	23	21	11	12	3	14

* Plomo de minería
(8,9,10,11)

Anexo 2 Límites máximos de la calidad de las aguas residuales para el riego agrícola.

Niveles máximos en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad

Elemento	Niveles máximos
Acroclina	0
Aldrin	0.02
Aluminio	5.0
Antimonio	0.1
Arsénico	0.1
Bicarbonatos	100.0
Berilio	0.1
Boro	0.7
Cadmio	0.01
Carbonato de sodio residual(meq/l)	2.5
Cianuro	0.02
Clordano	0.003
Cloruros	147.5
Cobre	0.2
Conductividad eléctrica (umhos/cm)	1000.0
Cromo hexavalente	1
D D E	0.04
Dieldrin	0.02
Hierro	5.0
Fluoruros (como F)	1
Fosfato total	5
Heptacloro	0.02
Niquel	0.2
Nitratos	30.0
Nitrogeno total kjhendal	30.0
Plomo	5.0
Potasio	250.0
Potencial de hidrógeno	4.5-9
Relación de adsorción de sodio (meq/l)	18.0
Salinidad efectiva	15.0
Salinidad potencial	15.0
Selenio (como selenato)	0.02
Sodio (meq/l)	250.0
Sólidos disueltos	500.0
Sólidos suspendidos	50.0
Sulfatos	130.0
Toxafeno	0.005
Zinc	2.0
Radioactividad:	
Alfa total (Bq/l)	0.1
Beta total (Bq/l)	1.0

(5)

Anexo 3 Efectos de los metales traza en concentraciones tóxicas, según U.S. Environmental Protection Agency (1972).

Elemento	Efectos
Aluminio	Tóxico en suelos ácidos. Reduce la productividad del suelo y el crecimiento de algunos frutales.
Arsénico	Reduce el crecimiento de las raíces y tallos. Además reduce la productividad de algunas legumbres.
Berilio	Reduce el crecimiento de legumbres y forrajes. Su toxicidad es mucho mayor en suelos ácidos que en suelos calcáreos.
Cadmio	Reducción en productividad de algunas legumbres. Elemento acumulativo en la cadena alimenticia, por lo que su presencia constituye un riesgo para la alimentación humana.
Cromo	Produce reducción de la productividad, así como clorosis y deficiencia de Hierro en algunos cultivos.
Cobalto	Signos de toxicidad diversas.
Cobre	Signos de toxicidad y clorosis.
Fluor	Aumenta el nivel de fluoruros en los huesos ganado alimentados con forrajes sometidos a contaminación con fluoruros.
Hierro	Signos de toxicidad y disminución de productividad. Su precipitación en el suelo podría incrementar la fijación de elementos esenciales tales como fósforo y molibdeno y además de que las sales solubles contribuyen a la sodificación del suelo.
Plomo	Reduce el crecimiento de raíces en concentraciones extremas e inhibe la proliferación celular. Es un elemento acumulativo en la cadena alimenticia, por lo que puede presentar un riesgo en la alimentación humana.
Litio	Signos de toxicidad en cítricos.
Manganeso	Toxicidad asociada con suelos ácidos.
Mercurio	Signos de toxicidad, presenta riesgos a la alimentación humana por ser acumulativo en la cadena alimenticia.
Molibdeno	Toxicidad en ganado alimentado con forrajes crecidos en suelos con concentraciones relativamente altas de este elemento.
Niquel	Efectos tóxicos en cultivos localizados en suelos con poco contenido de materia orgánica.
Selenio	Es tóxico a bajas concentraciones y pequeñas cantidades agregadas al suelo incrementan el contenido de selenio en forrajes a niveles tóxicos para el ganado. Además reduce la productividad de forrajes.
Estaño Tungsteno y Titanio	Producen efectos tóxicos.
Vanadio	Provoca efectos tóxicos en raíces y tallos.
Zinc	Produce deficiencia de hierro en algunos cultivos. Su toxicidad depende del pH del suelo, ya que en suelos ácidos disminuye su toxicidad.

(7).

Anexo 4 Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico (ppm) en aguas utilizadas para riego en el Valle del Mezquital, Tula, Hgo. Realizados por diferentes autores.

Autor y Año	Pb	Cd	Cr	As
Mascareño Castro 1974	Trazas	0.005	0.04	-
Acosta Lara 1980	Trazas	0.03	0.14	-
Méndez García 1980	0.04	-	0.005	-
García Zuñiga 1987	2.7	0.02	1.85	-
Límites en Mex Comisión Nal. del Agua. 1990	5	0.01	1	0.1

(13)

Anexo 5 Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico (ppm) en suelos del Valle del Mezquital, Tula, Hgo. Realizados por diferentes autores.

Autor y año	Plomo	Cadmio	Cromo	Arsénico
Mascareño Castro 1974	3.63	0.02	Trazas	-
Acosta Lara 1980	3.08	3.35	0.6	-
Méndez García 1980	204.4	-	-	-
García Zuñiga 1987	0.36	0.16	0.04	-

(13)

Anexo 6 Niveles de Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico(ppm) en forrajes regados con aguas negras en el Valle del Mezquital, Tula, Hgo. Realizados por diferentes autores.

Autor y año	Cultivo	Pb	Cd	Cr	As
Mascareño Castro 1974	Alfalfa	525.0	0.04	0.18	-
Acosta Lara 1980	Alfalfa	19.0	1.53	2.4	-
Méndez García 1980	Alfalfa	11.21	-	9.2	-
García Zuñiga 1987	Alfalfa Tallo	31.3	11.91	8.53	-

(13)

Literatura Citada

- 1.- Antonio, V. and Zantopoulos, N.: Cadmium in Plants and Goats Tissues from Various areas of Chalkidiki, Greece. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 48: 515-519 (1992).
- 2.- Association of Analytical Chemist.: Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 2nd ed. Washington D.C. USA. 1975.
- 3.- Beaty, D.R.: Conceptos, Instrumentación y Técnicas de Espectrofotometría por Absorción Atómica. Perkin-Elmer. Alemania. 1980.
- 4.- Bramley, R.G.V.: Cadmium in New Zeland Agriculture. N. Z. Agri. Res. 33: 505-519 (1990).
- 5.- Comisión Nacional del Agua.: Manual Técnico para el Uso, Aprovechamiento y Manejo de Aguas Residuales en Riego Agrícola. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 1990.
- 6.- Crisanto, H.I. and Lorenzo, M.L.F.: Evaluation of Cadmium Levels in Fertilized Soils. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 50:61-68 (1993)
- 7.- Environmental Protection Agency.: Environmental Pollution Control Alternatives, Municipal Wastewaters. Center for Environmental Research Information. USA. 1979.
- 8.- Galvao, L.A.C. y Corey, G.: Arsénico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México. 1987.
- 9.- Galvao, L.A.C. y Corey, G.: Cadmio. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México. 1987.
- 10.- Galvao, L.A.C. y Corey, G.: Cromo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México. 1987.

- 11.- Galvao, L.A.C. y Corey ,G.: Plomo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México. 1989.
- 12.- García, M.E.: Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köpen. Larios. 4ªed. México, 1988.
- 13.- García, Z.M.A.: "Estudio del grado de contaminación por Plomo, Cadmio y Cromo en Suelos y Tejidos Vegetales por el uso de aguas residuales en los municipios de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitlaquia: Hidalgo (Distrito de Desarrollo Rural 063)". Tesis licenciatura. F. E. S. Cuautitlan. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlan Izcalli, Edo. de México. 1989.
- 14.- Gutierrez-Avila, M.C.: Remoción de Arsénico del agua para consumo humano en domicilios de comunidades rurales de la Comarca Lagunera, México. Sal. Pub. Mex., 31:305-313 (1988).
- 15.- Gutierrez, H.J.L.: Efecto de altas concentraciones de Plomo, Cadmio, Cromo y Fosforo en plantas de avena en hidroponia. Segunda Reunión de Investigadores Universitarios en Contaminación Ambiental, Memorias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 1987.
- 16.- Homer, D.C y Parker, F.P.: Métodos de Análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México, D.F, 1986.
- 17.- Martínez, G.A.: Diseños Experimentales. Trillas. México, D.F. 1988.
- 18.- Martínez, G.J.M.: Contaminación de Alimentos por Metales Pesados. Tesis licenciatura. Fac. Quim. Universidad Nacional Autónoma de México, México, México, D.F. 1979.
- 19.- Medina, R.D.: Determinación de algunos Metales Tóxicos en Aguas que se utilizan para riego en la zona húmeda del Valle del Mezquital. Tesis licenciatura. Esc. Nal Cien. Biol. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 1990.

- 20.- Navarro, M., Sánchez, M., López, H. and López, M.C.: Arsenic Contamination Levels in Waters, Soils and Sludges in southeast Spain. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 50:356-362(1993).
- 21.- Oswelver, D.G., Carlson, L.T, et al.: Clinical and Diagnostica Veterinary Toxicology. Kendall Hunt Publishing Company, 3rd ed. USA. 1986.
- 22.- Rosas, P.I., Baéz, P.A., Belmont, D.R., Villalobos, P.R.: Cuantificación del Cromo en Suelo y Vegetales en una Zona contaminada por cromo residual de origen industrial. Centro de Ciencias de la Atmosfera. Instituto de Biología. Contaminación Ambiental México II. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1977.
- 23.- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrología: La degradación de la Tierra. SARH. Mexico. D.F. 1978.
- 24.- Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. "Aguas Residuales- Muestreo". Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-3-1980. México, D.F. 1980.
- 25.- Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. "Análisis de Agua- Determinación de Metales- Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica". Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-51-1981. México, D.F. 1981.
- 26.- Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. "Plaguicidas- Determinación de Residuos en Suelo- Método de toma de muestras". Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-105 1988. México, D.F. 1988.
- 27.- Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Renewable Resources, Commission on Natural Resources, National Research Council. Mineral Tolerance of Domestic

Animals. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1980.

28.- Tena, T.J.G.:Ortega, R.G.:Contaminación de Suelos. Tesis licenciatura. Fac. Quim. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 1991.

29.- Underwood, E.J.:The Mineral Nutrition of Livestok. Commonwealth Agricultural Burdeaux. 2nd ed.England, 1981.

30.- Velez, L.E.:FITOFILO. SARH. Dirección General de Sanidad Vegetal.Num 79. Mayo-Agosto 1979. Año XXXII.