

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y
METALES PESADOS EN EL AGUA DEL RÍO NAZAS.**

POR:

CLAUDIA CASTILLO HERRERA.

T E S I S:

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES
PESADOS EN EL AGUA DEL RÍO NAZAS**

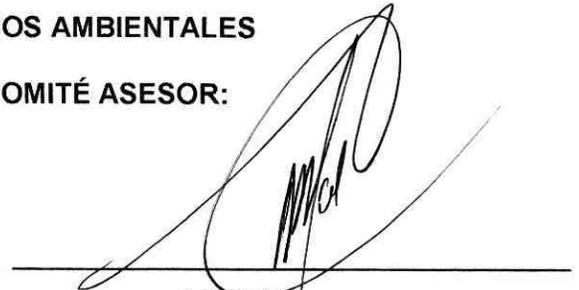
TESIS:

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORIA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO.



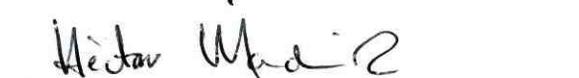
ASESOR
PRINCIPAL

DR. CELSO MANUEL VALENCIA CASTRO.



ASESOR

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.



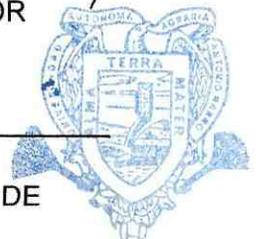
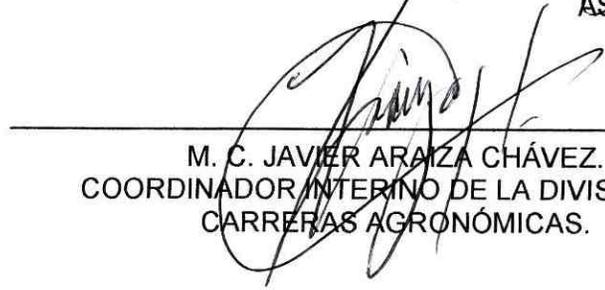
ASESOR

ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.



ASESOR

M. C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ.
COORDINADOR INTERINO DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS.



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
MARZO DEL 2007.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES
PESADOS EN EL AGUA DEL RÍO NAZAS

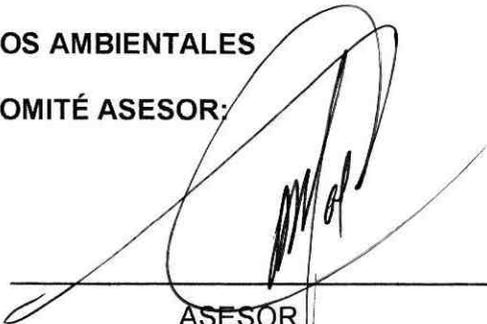
TESIS:

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

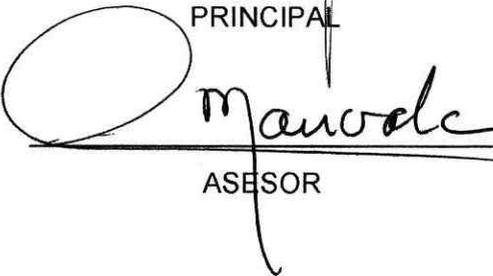
APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO.



ASESOR
PRINCIPAL

DR. CELSO MANUEL VALENCIA CASTRO.



ASESOR

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.

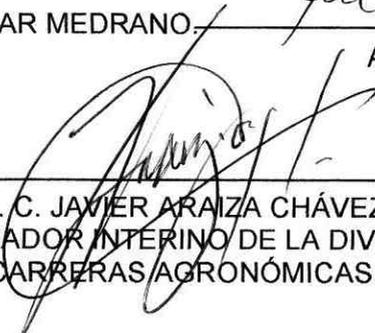


ASESOR

ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO.



ASESOR



M. C. JAVIER ARAIZA CHÁVEZ.
COORDINADOR INTERINO DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS.


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2007.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por darme la vida, el tiempo y poner a mí alcance todos los recursos para lograr una de las metas más grandes de mi vida.

A mi Mama:

Francisca Herrera Rodríguez por cuidarme, apoyarme, brindarme su confianza y estar junto a mí en los momentos más importantes de mi vida, todo lo que logrado no lo hubiera hecho sin usted dios la bendiga TE AMO MAMA.

A mi Papa:

Isaías Castillo Aldama muchas gracias por todo el apoyo, los consejos y toda la confianza que ha depositado en mi dios lo bendiga TE AMO PAPA.

A mis Hermanos:

Sergio y Ricardo por todo el apoyo y cariño que me han brindado siempre, los quiero mucho.

A mis Abuelos:

Con mucho amor para ustedes M^a Luisa Aldama, Elvira Rodríguez Hernández y Enrique Herrera Domínguez ya que para mi son un gran ejemplo de lucha, esfuerzo, respeto y perseverancia.

A mis Tías:

A todas y todos mis tíos les dedico con mucho cariño este logro ya que en algún momento de mi carrera contribuyeron con su motivación y apoyo para lograr mi meta.

Especialmente para ti Gabriel de la Cruz Rodríguez por el amor, confianza, paciencia y apoyo incondicional que siempre me has brindado a lo largo de todo este tiempo te amo.

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme conocer la vida, mi familia y darme todas las oportunidades que se me han presentado para concluir mi carrera.

A mi "Alma Mater" por la estancia y la oportunidad de realizar mi carrera gracias.

Al Dr. Mario García Carrillo, por dedicarme su tiempo, paciencia, conocimientos impartidos y su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Celso Manuel Valencia Castro, por su gran apoyo, orientación, dedicación y asesoramiento en la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, por su apoyo en la revisión y culminación de este trabajo.

A la Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano, por su ayuda, tiempo dedicado y paciencia así como su enseñanza a lo largo de mi carrera.

Al Dr. Agustín Cabral Martel por su apoyo en la revisión del presente trabajo.

Al Dr. José Luís Reyes Carrillo, por la orientación y los conocimientos impartidos.

A todos mis maestros los cuales contribuyeron en mi formación profesional gracias por todos los conocimientos impartidos a lo largo de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL.

	Páginas
ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	III
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	IV
RESUMEN.....	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Específicos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Importancia del estudio de los metales pesados disueltos en agua....	5
2.2 Contaminación del agua.....	5
2.2.1 Contaminación del agua a nivel mundial.....	6
2.2.2 Contaminación del agua a nivel Nacional.....	8
2.2.3 Contaminación del agua a nivel Regional.....	10
2.3 Metales pesados.....	11
2.4 Problemática ambiental.....	12
2.5 Riesgos a la salud por metales pesados.....	13
2.5.1 Arsénico.....	13
2.5.1.1 Propiedades.....	13
2.5.1.2 Efectos en el ser humano.....	14
2.5.1.3 Usos.....	14
2.5.2 Cadmio.....	14
2.5.2.1 Propiedades.....	14
2.5.2.2 Efectos en el ser humano.....	15
2.5.3.3 Usos.....	15
2.5.3 Plomo.....	15
2.5.3.1 Propiedades.....	15
2.5.3.2 Efectos en el ser humano.....	16
2.5.3.3 Usos.....	17

2.5.4 Cobre.....	17
2.5.4.1 Propiedades.....	17
2.5.4.2 Efectos en los seres humanos.....	17
2.5.4.3 Usos.....	18
2.5.5 Zinc.....	18
2.5.5.1 Propiedades.....	18
2.5.5.2 Efectos en los seres humanos.....	19
2.5.5.3 Usos.....	19
2.6 Normatividad Mexicana.....	20
2.6.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	20
2.6.2 Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.....	20
2.6.3 Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y reglamento respectivo.....	22
2.6.4 Ley Federal de Derechos.....	25
2.6.5 Normas Oficiales Mexicanas.....	26
2.6.6 Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua.....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Localización Geográfica de los puntos de muestreo.....	29
3.2 Determinación de los Sitios de Muestreo.....	31
3.3 Toma de Muestras.....	31
3.4 Preparación de la Muestra.....	31
3.5 Análisis Químico del agua.....	31
3.6 Análisis para metales pesados y Arsénico.....	32
3.7 Análisis Estadístico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1 Primera etapa.....	33
4.2 Segunda etapa.....	48
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RECOMENDACIONES.....	69
VII. LITERATURA CITADA.....	70

INDICE DE CUADROS.

Páginas

Cuadro 1.- Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.....	27
Cuadro 2.- Localización geográfica de los puntos de muestreo.....	29
Cuadro 3.- Promedios generales de los análisis químicos realizados para cada uno de los puntos en la primera etapa abril 2006.....	45
Cuadro 4.- Análisis de varianza de metales pesados y Arsénico para cada uno de los puntos de la primera etapa.....	47
Cuadro 5.- Promedios generales de los análisis químicos realizados para cada uno de los puntos en la segunda etapa agosto 2006.....	60
Cuadro 6.- Análisis de varianza de metales pesados y Arsénico para cada uno de los puntos de la segunda etapa.....	63
Cuadro 7.- Principales correlaciones de las características químicas con los metales pesados y el Arsénico de cada punto de muestreo.....	66

INDICE DE GRAFICAS

	Páginas
Grafica 1.- Ubicación geográfica del área de estudio.....	30
Grafica 2.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa Cañón de Fernández en abril del 2006.....	34
Grafica 3.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio Campamento en abril del 2006.....	36
Grafica 4.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio la Posta en abril del 2006.....	38
Grafica 5.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio la Loma en abril del 2006.....	40
Grafica 6.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa León Guzmán en abril del 2006.....	42
Grafica 7.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio León Guzmán en abril del 2006.....	43
Grafica 8.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa Villa Juárez en abril del 2006.....	44
Grafica 9.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa Cañón de Fernández en agosto del 2006.....	49
Grafica 10.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio Campamento en agosto del 2006.....	50
Grafica 11.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio la Posta en agosto del 2006.....	52

Grafica 12.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio la Loma en agosto del 2006.....	54
Grafica 13.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa León Guzmán en agosto del 2006.....	55
Grafica 14.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en el sitio León Guzmán en agosto del 2006.....	57
Grafica 15.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa Villa Juárez en agosto del 2006.....	59
Grafica 16.- Promedios anuales de lluvias 2005-2006.....	64

RESUMEN

La agricultura, industria minera, usos domésticos son algunas de las actividades antropogénicas que han terminado por modificar los flujos de agua cambiando la calidad de ella por el incremento de los desechos tóxicos como los metales pesados. El presente estudio se realizó con los objetivos de determinar la concentración de metales pesados y de arsénico (As) en el agua del Río Nazas y realizar una comparación de las concentraciones con los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas. Se realizaron dos muestreos el primero en abril 2006 y el segundo en agosto del mismo año. En ambas etapas se colectaron muestras de agua de siete puntos de muestreo con tres repeticiones cada una. Para determinar la concentración de metales pesados se utilizó el Espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo Perkin Elmer 2380, el cuál es un aparato muy utilizado para el estudio cuantitativo de casi todos los metales de la tabla periódica. Con base en los resultados obtenidos, se observó la presencia de valores elevados de algunos metales pesados como el plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), arsénico (As) y nitratos (NO_3). Se determinó que el metal encontrado en mayor concentración es el plomo, la más alta se presentó en la segunda etapa en el sitio León Guzmán con un promedio de 0.29 mg/L y en la primera etapa se obtuvo una concentración promedio de 0.22 mg/L. Dichos valores fueron superiores a los límites máximos permisibles para la vida acuática, establecidos en la Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996. Respecto a los nitratos en la primera etapa en la represa Villa Juárez se mostró un promedio de 9.64 mg/L y en la segunda etapa en el mismo punto se observó un promedio de 13.36 mg/L rebasando con esto la NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Lo anterior es posible que se deba a las fertilizaciones excesivas que se aplican a los cultivos que se desarrollan en las comunidades aledañas al río.

I. INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Río Nazas tiene una superficie, de 2,705.76 Km². La mayor parte de esta cuenca está ubicada en el estado de Durango y su porción coahuilense abarca parte de los municipios de Torreón, Matamoros, San Pedro y Parras. Las láminas de escurrimiento calculadas para la cuenca son de unos 20 a 50 mm anuales.

En la actualidad los diferentes tipos de proyectos o programas como: las industrias, la construcción de presas, la construcción de hidroeléctricas y el desarrollo agrícola entre otros, producen impactos en las aguas superficiales de los ríos, lagos, mares u océanos, los efectos que causan estos pueden ser cambios en la cantidad y calidad del agua produciendo alteraciones en el ecosistema acuático del lugar.

La incorporación de metales pesados en sistemas acuáticos tiene lugar mediante las actividades antropogénicas principalmente la minería y la agricultura, que generan desechos o residuos que a través de los procesos como el escurrimiento superficial son transportados hacia los cuerpos de agua, posteriormente estos compuestos son incorporados a la cadena alimenticia a través de la fauna acuática o a través de los cultivos agrícolas (Licata *et al.*, 2004).

Por ello, las concentraciones de los metales pesados en las aguas están directamente relacionadas con las actividades humanas y descargas de efluentes, como también son función de las variaciones del caudal de ciertos vertidos puntuales que el río recibe.

La presencia de estos elementos en el agua constituye, en la actualidad, uno de los problemas medioambientales más importantes, ya que algunos de ellos muestran un alto grado de toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo.

Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y estos a sus depredadores en los que se acaba manifestando. La toxicidad de los metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Rodríguez, 2001).

1.1 OBJETIVOS

1.1. 1 Objetivo general

- ✓ Determinar la concentración de metales pesados y arsénico en el agua del río Nazas.

1.1. 2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las concentraciones de metales pesados (Zn, Cd, Cu, Pb) y arsénico en el agua superficial de siete diferentes puntos del río Nazas, en dos estaciones del año.
- ✓ Comparar las concentraciones encontradas de metales pesados y arsénico con los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.
- ✓ Correlacionar las concentraciones de metales pesados con las propiedades físicas y químicas del agua.

1. 2 HIPÓTESIS

- El agua del Río Nazas se encuentra contaminada por metales pesados y arsénico.
- Las concentraciones encontradas de metales pesados y arsénico rebasan los límites máximos permisibles establecidos por las normas.
- Existe diferencia entre los sitios de muestro respecto a la concentración de los metales pesados y el arsénico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del estudio de los metales pesados disueltos en agua.

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riveras, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en agua y sedimento es por su alta toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Rodríguez, 2001).

En la actualidad se estima en más de un millón de sustancias diferentes las que son introducidas en aguas naturales a través de los vertidos antropogénicos. Muchas de ellas no son consideradas tóxicas, si bien pueden alterar las características organolépticas del agua, o son directamente nocivas para el hombre (Márquez *et al*, 2000).

Los flujos de agua han sido desde tiempo inmemorial los receptores, directos o indirectos de los desechos líquidos que el hombre ha generado debido a su propia actividad. En un principio, eran capaces de soportar las cargas contaminantes que a los ríos se vertían merced a su carácter depurador, posteriormente, al crearse grandes asentamientos urbanos, se incremento notablemente la cuantía de los vertidos. En consecuencia, los cursos fluviales perdieron su capacidad auto depuradora y se produjeron graves alteraciones en

la calidad de sus aguas, con los subsiguientes peligros para la salud de las poblaciones situadas agua abajo. Estos riesgos se debían principalmente a que la carga orgánica transportada podría servir de vehículo para la aparición de enfermedades infecciosas y por tanto, para la propagación de epidemias (Gómez *et al.*, 2004).

2.2 Contaminación del agua.

La contaminación del agua, es la incorporación a ella de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o de aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos (Coss, 2001).

La agricultura y las actividades antropogénicas han sido un proceso productivo extensivo, con un bajo impacto ambiental. Sin embargo, en las últimas décadas ha surgido la necesidad de aumentar la productividad para satisfacer las mayores necesidades derivadas del crecimiento poblacional. Esta situación ha traído consigo un aumento en el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes y plaguicidas, lo que sin duda ha afectado el medioambiente y aumentado los costos de producción. De hecho, actualmente es posible identificar una serie de problemas asociados a dichos sistemas de producción, entre los cuales se encuentran la presencia de diversos agroquímicos y residuos de plaguicidas por sobre lo normal, en aguas superficiales y subterráneas (Cancino *et al.*, 2001).

El procesamiento de minerales produce una cantidad de residuos y productos que pueden causar la contaminación del agua. Además, la infraestructura que debe ser construida para llevar a cabo una operación minera genera residuos de alcantarillados, de tratamiento de aguas, aceites, petróleo, combustibles y otros. La minería rompe y comprime la roca, creando nuevos túneles para que el oxígeno, aire y microbios, reaccionen con los minerales. En consecuencia, las rocas pueden generar ácido, movilizándolo a otros muchos constituyentes químicos, los que podrían contaminar cuerpos de agua por

décadas o incluso cientos de años después del cierre de la mina. Incluso el uso de explosivos aumenta las concentraciones de nitrato y amoníaco, provocando el incremento de la eutrofización y la contaminación de cuerpos de agua. La roca residual a menudo contiene concentraciones elevadas de sulfatos, metales tóxicos, no metales, y componentes radioactivos. Dicha roca generalmente se desecha en montones en la superficie del suelo, al borde de los tajos o fuera de las obras. Muchos contaminantes se pueden filtrar de estos montones de desecho, contaminando las aguas superficiales y subterráneas (Morán, 2001).

(Rodríguez, 2001) menciona que en los sistemas acuáticos se disuelven numerosas sales y sustancias de acuerdo a su solubilidad. La presencia en el terreno de diferentes materiales y estructuras geológicas son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales, los que permitirían saber, de no haber existido la actividad humana, que tipo de suelo atraviesa un cauce de agua. Algunos de estos iones se encuentran en forma mayoritaria respecto a los demás elementos en todas las aguas continentales: sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), cloro (Cl^-), mientras que otros se hallan a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados, siendo algunos de ellos necesarios para el correcto desarrollo de los microorganismos, plantas y animales.

2.2.1 Contaminación del agua a nivel mundial.

La contaminación en los ríos se produce, por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Los metales pesados son los componentes químicos más tóxicos y entre ellos el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn). El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogenico o geoquimico a partir de los minerales que por causas de la erosión, lluvias, etc., son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico o debida a la actividad

humana. La minería, los procesos industriales, los residuos domésticos son fuente importante de contaminación, que aportan metales al aire, agua y suelo especialmente (Rodríguez, 2001; Campos, 2004).

Al respecto (Martínez *et al.*, 2001) realizaron un estudio en el Río Manzanares de Venezuela para monitorear los metales pesados Cd, Zn, Cu y Cr y el material en suspensión en agua superficial, se colectaron muestras de manera bimensual entre los meses de Julio de 1996 y junio de 1997. Encontraron que el flujo de los metales pesados desde el río Manzanares hacia la región costera bajo su influencia se incrementa durante el periodo de lluvia lo que indica que dichos elementos están principalmente asociados al material en suspensión y en consecuencia con el gasto del río.

(Rodríguez, 2001) reportó un estudio donde se determinaron metales pesados como el antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el agua y sedimentos a lo largo de la cuenca del Llobregat ubicada al Noreste de la Península Ibérica, se tomaron muestras en diecisiete puntos, ocho de ellos situados en el río Llobregat, cuatro en su afluente principal el río Cardener y cinco en el río Anoia. En lo que respecta a la concentración de los metales pesados en las aguas, en la cuenca del Llobregat sólo tres puntos de muestreo están sensiblemente contaminados, en el río Llobregat en Sant Joan Despí y en el Anoia en Vilanova del Camí y en Capellades por el cromo.

(Juárez, 2006) recopiló datos sobre un estudio que realizó el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) en 28 estaciones de la cuenca del río Rímac en Lima, monitoreando Cadmio, Arsénico y Plomo en el agua desde 1996 hasta 2004. Los resultados indicaron que del año 2000 al 2002 se rebasaron los límites máximos permisibles de arsénico y en promedio se encontró que las concentraciones de plomo son muy elevadas en todos los años debido a la actividad de la minera.

(Pacheco *et al.*, 1998) dieron a conocer los resultados de una investigación que realizaron en el acuífero del Río Moa, Holguín Cuba en Octubre y

Noviembre de 1996, tomaron 46 muestras de las cuales 10 fueron del agua superficial. Se analizaron Ni, Mn, Fe y Cr. Los resultados de los elementos presentan una gran variación, siendo para el Ni entre 0,01 y 0,086 mg/L; el Mn entre 2,1 y 8,3 mg/L; el Fe^{2+} entre 0.44 y 0.035 mg/L y el cromo entre 0,01-1,62 mg/L. La alta concentración de los metales pesados se debe a las descargas de residuos mineros que recibe el Río.

(Cedeño *et al.*, 1999) Llevaron a cabo un estudio en Tarqui sector que forma parte del Valle superior de Magdalena en Bogota, tomaron dos muestreos de agua y de sedimentos, el primero en Abril de 1995 y el segundo en Septiembre de 1996 con el fin de determinar las concentraciones de cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo y Zinc. Los resultados arrojaron que las concentraciones de los metales pesados en el agua son muy pequeñas en comparación con las concentraciones del sedimento.

(Altamirano, 2005) realizó un estudio en el agua subterránea de la subcuenca del suroeste del Valle de Sebaco-Matagalpa ubicada en Nicaragua, para monitorear los niveles de arsénico, se tomaron 57 muestras de agua de las cuales 21 presentan concentraciones de 10 a 122 $\mu\text{g/L}$ las cuales sobrepasan los límites máximos permisibles para agua de consumo humano.

2.2.2 Contaminación del agua a nivel Nacional.

(Gersberg, 2001) determinó la carga de metales pesados (Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel y Zinc) en la cuenca del río de Tijuana, donde se recopilaron muestras de sedimento en seis sitios de estero, los resultados obtenidos sugieren que las concentraciones de metales en el estero no son de gran significancia a pesar de las descargas de aguas negras que ha tenido, esto se debe a las actividades orientadas a la prevención de contaminación de la cuenca, que puede haber contrarrestado el desarrollo industrial.

(Manson, 2004) el manejo de los recursos hídricos es uno de los retos ambientales más importantes que los seres humanos tendrán que enfrentar en

este nuevo siglo. En México, existe una crisis severa como resultado de los esfuerzos directos del hombre por manejarla, por ejemplo: (Gómez *et al.*, 2004) realizaron una investigación de la calidad del agua superficial del Río San Pedro, que se encuentra al norte del estado de Sonora. Se analizó Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. Un primer estudio lo llevaron a cabo durante el periodo febrero-noviembre de 1997 y el segundo en abril-agosto de 1999, en cada estudio las muestras que se colectaron fueron de 8 estaciones. En la primera estación de la etapa uno fue donde se mostraron los niveles más altos de los nueve metales pesados contemplados, en las estaciones 2, 3 y 4 de la segunda etapa se encontraron cobre, hierro, manganeso y zinc pero en menores concentraciones que en la primera etapa. La presencia de estos metales se atribuye principalmente a la actividad minera que se desarrolla en las áreas aledañas a la corriente de este río.

Para determinar el nivel de contaminación del Río Balsas subcuenca del Río Nexapa ubicado en Atlixco, Puebla. Se colectaron 3 muestras de agua en 16 sitios del río, manantial, escurrimiento y pozos. La colecta se realizó en dos épocas del año: la de lluvias en 1998 (verano) y la de secas en 1999 (primavera). Se encontró que los metales Cd, Cr y Pb excedieron las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-127 SSA1-1994. Debido sobre todo al uso de agua residual para el riego de cultivos de flores que en muchos casos transfieren elementos tóxicos a los consumidores. (Silva *et al.*, 2002).

(Holguín *et al.*, 2006) recopilaron seis muestreos de agua que se tomaron en las inmediaciones del puente Las Vegas del Río Conchos cerca de la ciudad de Ojinaga, Chihuahua en 2004 (febrero 20, marzo 19, abril 23, mayo 21, junio 18 y julio 23). Con el objetivo de determinar la calidad del agua, se determinaron parámetros físicos-químicos y 30 elementos: Ag, As, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, Va, Yb y Zn. Los resultados se compararon con estándares establecidos por la Normatividad Mexicana, por la Secretaría de Desarrollo y Ecología, y por la Agencia de Protección al Ambiente de los EUA. Los elementos que rebasaron uno o más estándares para agua potable fueron Al, Fe, Mn, Tl, Ba, Ni, Be, Zn y

Na. Los elementos que más estándares rebasaron fueron Al, Mn, Fe, Tl, Ba, Be, Na, Ni y Zn. La concentración de algunos elementos se encuentra en niveles que pueden provocar daños al ser humano a mediano y/o largo plazo en la medida que se esté en contacto en forma cotidiana con estos elementos.

2.2.3 Contaminación del agua a nivel Regional.

Se realizó un estudio del agua subterránea proveniente de ocho acuíferos de la región Cuencas Centrales del Norte, a fin de obtener información sobre el estado actual de la calidad del agua por efecto de la contaminación por arsénico, flúor, manganeso y plomo. También se evaluó la presencia de arsénico y otros contaminantes en agua de noventa pozos de los estados de Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí. Los resultados dieron a conocer que:

En Torreón los ocho pozos a los que se les analizaron arsénico muestran que todos cumplen con los límites establecidos en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994, sin embargo para el año 2005, el 50 % de los pozos rebasará el límite permisible, lo que deberá tomarse en cuenta para las inversiones en los sistemas de agua potable.

En Gómez Palacio, de los 24 pozos analizados, 12 correspondieron a la zona rural y 12 a la zona urbana. De ellos, 25 % rebasaron el límite máximo permisible de arsénico. Resaltan el pozo 13 del sistema rural San Felipe, el cual tuvo la concentración de arsénico más alta del municipio que fue de 0.062 mg/L.

En Lerdo, dentro de la misma Comarca Lagunera, se analizaron 12 pozos en la zona rural, de los cuales 17 % no cumplen con la normatividad actual y rebasan el límite permisible en 286 % en promedio. Para el año 2005, con el límite máximo permisible en 0.025 mg/L de arsénico, 66 % de ellos no cumplirán con la normatividad (Leal y Gelover 2002).

2.3 METALES PESADOS.

Los metales pesados son elementos con elevados pesos atómicos, superiores a 44.95 y una densidad superior a 5 gr/cm³. Aunque algunos son imprescindibles para el desarrollo de las funciones vitales de los organismos, como cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, vanadio y estroncio, en cantidades excesivas son perjudiciales e incluso letales para los seres vivos. Los metales pesados no esenciales comúnmente implicados en problemas de contaminación del agua son: cromo, cadmio, mercurio, plomo, arsénico y antimonio (López *et al.*, 1992).

En las aguas superficiales, los metales pesados existen en forma de coloides, partículas, y como fases disueltas, aunque debido a su baja solubilidad estas últimas suelen presentar concentraciones muy bajas en forma iónica o complejos organometálicos. En las formas coloidales y partículas aparecen como hidróxidos, óxidos, silicatos, sulfuros, o adsorbidos en minerales del grupo de las arcillas, sílice y materia orgánica. La solubilidad de los metales pesados en las aguas superficiales está controlada por el pH, el tipo de ligantes en los que se encuentran adsorbidos, el estado de oxidación de las fases minerales y el ambiente del sistema (Connell y Miller, 1984).

Los metales pesados se han usado por los humanos desde hace miles de años. Aunque los efectos a la salud que estos provocan han sido conocidos durante mucho tiempo, la exposición a ellos continúa, e incluso está aumentando en algunas partes del mundo, en particular, en los países desarrollados (Lars, 2003).

Los metales han sido identificados como contaminantes altamente peligrosos en ecosistemas acuáticos, debido a su persistencia y elevada toxicidad los de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica son: Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn ya que para la mayoría de los organismos la exposición por encima de una concentración umbral puede ser perniciosa (Martínez- Tabche *et al.*, 2001).

La captación y toxicidad de los metales para los organismos acuáticos están influidos no solo por su concentración, también son relevantes el tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del ambiente (Castañé, *et al* 2003). Los compuestos geoquímicos más importantes que controlan la biodisponibilidad de los metales presentes en la materia en suspensión (MS) y el sedimento son: 1) materia orgánica, 2) óxidos de Fe y 3) óxidos de Mn (Bendell- Young *et al.*, 2002).

Los metales condicionan su toxicidad a través de varios factores como:

- ☠ La toxicidad propia de cada metal.
- ☠ La concentración en la que se encuentra en el medio u organismo que se trate.
- ☠ El tiempo de acción y biodisponibilidad.
- ☠ Tipo de compuesto en el que se presenta (orgánico o inorgánico).
- ☠ Forma de dispersión (Pagnanelli, 2004).

2.4 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.

Los problemas de contaminación de las aguas tienen su origen en la Revolución Industrial, hace aproximadamente unos 200 años y con un rápido aumento de la población mundial (Dekov *et al.*, 1998).

La industrialización condujo a una urbanización muy localizada creando problemas en la calidad y en la cantidad del agua. El hombre abandonó el campo para trabajar en las nuevas fábricas alrededor de las cuales se crearon grandes ciudades densamente pobladas. El primer suceso para los problemas de la calidad de agua, se presentó con motivo de la contaminación orgánica por la falta de tratamiento de las aguas residuales en zonas de alta densidad poblacional (Vink *et al.*, 1999).

Las amenazas principales a la salud humana de los metales pesados son asociadas con la exposición al cadmio, mercurio y arsénico. Aunque varios

efectos de salud adversos de metales han sido durante mucho tiempo conocidos, la exposición a éstos continúa, e incluso está aumentando en algunas partes del mundo (Juárez, 2006).

2.5 RIESGOS A LA SALUD POR METALES PESADOS.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido estándares de seguridad para más de 80 contaminantes que pueden encontrarse en el agua y presentan un riesgo a la salud humana. Estos contaminantes se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a los efectos que pudiesen causar. Los efectos agudos ocurren dentro de unas horas o días posteriores al momento en que la persona consume un contaminante. Casi todos los contaminantes pueden tener un efecto agudo si se consume en niveles extraordinariamente altos en el agua potable, en esos casos los contaminantes más probables que causen efectos agudos son las bacterias y virus. La mayoría de los cuerpos de las personas pueden combatir estos contaminantes microbianos de la misma forma que combaten los gérmenes, y típicamente, estos contaminantes agudos no tienen efectos permanentes. Los efectos crónicos ocurren después que las personas consumen un contaminante con niveles sobre los estándares de seguridad de EPA durante muchos años. Entre los ejemplos de efectos crónicos de los contaminantes del agua potable, están el cáncer, problemas del hígado o riñones o dificultades en la reproducción (Juárez, 2006).

2.5.1 Arsénico.

2.5.1.1 Propiedades.

El arsénico es un elemento ubicuo extremadamente venenoso. Cuando se calienta, se sublima, pasando directamente de sólido a gas a 613 °C. Tiene una densidad relativa de 5,7. La masa atómica del arsénico es 74,92. El elemento puro se encuentra en la naturaleza ocasionalmente. En agua, el arsénico se encuentra generalmente en la forma de arseniato o de arsenito (WHO, 1992b).

2.5.1.2 Efectos en el ser humano.

El arsénico inorgánico bio-disponible produce toxicidad aguda y la ingestión de dosis altas provoca síntomas gastrointestinales, trastornos de las funciones de los sistemas cardiovascular y nervioso y en último término la muerte. En los supervivientes se ha observado depresión de la médula ósea, hemólisis, hepatomegalia, melanosis, polineuropatía y encefalopatía. La exposición prolongada al arsénico en el agua de bebida tiene una relación causal con un aumento de los riesgos de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón, así como con otros cambios cutáneos, por ejemplo hiperqueratosis y cambios de pigmentación. Estos efectos se han puesto de manifiesto en numerosos estudios utilizando diferentes diseños. Se han observado relación exposición-respuesta y riesgo alto para cada uno de estos efectos finales. Los efectos se han estudiado más detalladamente en Taiwán, pero también hay un gran número de pruebas de estudios sobre poblaciones en otros países. Se ha notificado un riesgo mayor de cáncer de pulmón, vejiga y de lesiones cutáneas asociadas con el arsénico en relación con la ingestión de agua de bebida con concentraciones menores a 50 µg/L (WHO, 1992b).

2.5.1.3 Usos.

Los compuestos arsenicales se utilizan principalmente en agricultura y silvicultura como plaguicidas y herbicidas; cantidades más pequeñas se utilizan en las industrias del cristal y de la cerámica y como añadidos de la alimentación (WHO, 1992b).

2.5.2 Cadmio.

2.5.2.1 Propiedades.

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; es un metal dúctil. 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). El cadmio es miembro del grupo II B (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla

periódica, el cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro (WHO, 1992a).

2.5.2.2 Efectos en el ser humano.

Se considera que el riñón es el órgano más dañado en las poblaciones expuestas. Las enfermedades crónicas obstructivas de las vías respiratorias están asociadas a la exposición prolongada e intensa por inhalación. Hay pruebas de que esa exposición al cadmio puede contribuir al desarrollo de cáncer del pulmón. El cadmio presente en los alimentos es la principal fuente de exposición para la mayoría de las personas. En la mayoría de las zonas no contaminadas con cadmio la ingesta diaria media con los alimentos se encuentran entre 10 y 40 μg . En zonas contaminadas se ha observado que alcanza varios cientos de μg al día. En zonas no contaminadas, la absorción debida al consumo de tabaco puede igualar la ingestión de cadmio a partir de los alimentos (WHO, 1992a).

2.5.2.3 Usos.

Los usos principales del cadmio son protector del acero, estabilizadores para cloruro de polivinilo (PVC), pigmentos de plásticos y de cristales, material del electrodo en baterías de níquel-cadmio, y como componente de varias aleaciones. El uso del cadmio en baterías es particularmente importante en Japón (WHO, 1992a).

2.5.3 Plomo.

2.5.3.1 Propiedades.

El plomo es un metal pesado, azulado, suave y maleable, usado en varios procesos industriales. El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos (Rosen, 1992).

El plomo es un elemento metálico, aproximadamente 11 veces más denso que el agua y se obtiene del sulfuro de plomo (PbS), que es la forma más abundante de este elemento en la naturaleza (Valdés y Cabrera 1999).

2.5.3.2 Efectos en el ser humano.

En el ser humano, el plomo puede tener una amplia variedad de efectos biológicos según el nivel y la duración de la exposición. Se han observado efectos en el plano subcelular y efectos en el funcionamiento general del organismo que van desde la inhibición de las enzimas hasta la producción de acusados cambios morfológicos y la muerte. Dichos cambios se producen a dosis muy diferentes; en general, el ser humano que se está desarrollando es más sensible que el adulto (WHO, 1995).

El plomo es tóxico para los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, aire, agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. La exposición al plomo, aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte (Rosen, 1992).

El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana promulgada en junio de 2006, es de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$, sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal (Valdés y Cabrera 1999).

Los efectos del plomo en la función reproductora masculina se limitan a la morfología y el número de los espermatozoides. En cuanto a la femenina, se han atribuido al plomo algunos efectos adversos en el embarazo. El plomo no

parece tener efectos nocivos en la piel, en los músculos ni en el sistema inmunitario (WHO, 1995).

2.5.3.3 Usos.

El plomo es muy importante en la industria moderna, esta importancia se debe a propiedades como: bajo punto de fusión, alta densidad, baja dureza y resistencia a ácidos (FQ- UNAM, 2003).

Los principales usos de este metal y sus compuestos son: en baterías, gasolina, pigmentos, cerámica, plásticos, circuitos electrónicos, cubierta de cables. Además su uso para atenuar ondas de sonidos, radiación atómica y vibraciones mecánicas (Axtel *et al.*, 2003).

2.5.4 Cobre.

2.5.4.1 Propiedades.

El Cobre es de un color rojizo-castaño, dúctil y maleable, se encuentra naturalmente en una variedad de sales minerales y los compuestos orgánicos. El metal es soluble en el agua, sal o las soluciones ligeramente ácidas, este metal posee conductividad eléctrica y térmica alta y resiste la corrosión (WHO, 1998).

2.5.4.2 Efectos en los seres humanos.

El cobre es un elemento esencial para los seres vivos ya que contacta las reacciones metabólicas y los efectos de salud adversos se relacionan con la deficiencia así como el exceso. La deficiencia de cobre se asocia a anomalías por anemia y de los huesos pero la deficiencia evidente es poco frecuente en seres humanos. A excepción de incidentes agudos ocasionales del envenenamiento de cobre, pocos efectos se observan en poblaciones normales. Los efectos de la exposición a este metal se han divulgado como gusto metálico, dolor de cabeza, náusea, vértigos, vomito y diarrea, taquicardia,

dificultad respiratoria, anemia hemolítica, sangría gastrointestinal masiva, problemas en el hígado, riñón y la muerte. Los efectos gastrointestinales también han resultado de la ingestión sola y repetida del agua potable que contenía altas concentraciones de cobre, y la falla del hígado se ha divulgado después de la ingestión crónica del cobre. La exposición cutánea no se ha asociado a la toxicidad, pero el cobre puede inducir respuestas alérgicas en individuos sensibles, fiebre del humo del metal por la inhalación de altas concentraciones en el aire, otros efectos respiratorios se han atribuido a la exposición a las mezclas de cobre. Algunos desórdenes tienen una base genética bien definida. Éstos incluyen la enfermedad de Menkes, una manifestación generalmente fatal de la deficiencia de cobre; Enfermedad de Wilson, una condición que conduce a la acumulación progresiva del cobre. Los grupos de riesgo de la deficiencia de cobre incluyen a los infantes particularmente bebés, niños que se recuperan de la desnutrición, y bebés recién nacido alimentados exclusivamente con la leche de vaca (WHO, 1998).

2.5.4.3 Usos.

El mundo utiliza aproximadamente 15, 106 toneladas de cobre al año. De esto cerca de una mitad se deriva del metal reciclado y el resto se provee de la explotación minera. Por todo el mundo, el uso más grande del cobre está en el alambre y el cable eléctrico. Otros compuestos de cobre se encuentran en aplicaciones como los pigmentos, las pinturas, los tintes, los cristales, los catalizadores y los fungicidas. El cobre está encontrando uso en aumento como el ingrediente activo de pinturas anti-incrustantes (WHO, 1998).

2.5.5 Zinc.

2.5.5.1 Propiedades.

El Zinc posee un punto bajo de dureza. Debido a su densidad de 7.13 g/cm^3 , se llama un metal pesado. Tiene una conductividad eléctrica de 28.3, en las temperaturas ordinarias el metal es demasiado frágil, pero llega a ser

maleable y dúctil cuando alcanza la temperatura ente 100-150 °C (WHO, 1992c).

2.5.5.2 Efectos en los seres humanos.

Los síntomas de náusea y diarrea gastrointestinales se han encontrado después de una exposición sola o a corto plazo a las concentraciones del zinc en agua o bebidas con 1000 a 2500 mg/L. Los síntomas similares, que conducen a veces a la muerte, se han encontrado después de la administración intravenosa inadvertida de dosis grandes del zinc. Los pacientes de diálisis del riñón expuestos al zinc con el uso del agua almacenado en unidades galvanizadas con baño de zinc han desarrollado los síntomas de la toxicidad del zinc que eran reversibles cuando el agua fue sujeta a la filtración activada del carbón. Los efectos a la salud asociados a deficiencia del zinc son numerosos, como el retraso del crecimiento, desórdenes inmunes y dermatitis. Estas condiciones son generalmente reversibles cuando son corregidas por la suplementación del zinc. La exposición a la inhalación de cloruro del zinc a las "bombas del humo" ha dado lugar a los efectos que incluyen el edema intersticial, la fibrosis intersticial, la ulceración e incluso la muerte bajo condiciones extremas de la exposición en espacios confinados (WHO, 1992c).

2.5.5.3 Usos.

El zinc se utiliza principalmente como capa protectora de otros metales, tales como hierro y acero. Porque el metal carece de fuerza, se alea a menudo con otros metales, aluminio, cobre, titanio y magnesio, para impartir una variedad de características. La aleación del zinc-cobre-titanio se ha convertido en la aleación dominante del labrado-zinc debido a que presenta mayor resistencia que otros metales del mismo grueso. Otros usos importantes están en la industria de construcción, y otras aleaciones (latón, bronce). Los compuestos inorgánicos del zinc tienen varios usos, las baterías, para equipos. El cloruro, el sulfuro y el sulfato del zinc tienen usos dentales, médicos y de la casa. El óxido del zinc se utiliza con frecuencia en ungüentos, polvos y otras formulaciones médicas (WHO, 1992c).

2.6 NORMATIVIDAD MEXICANA.

2.6.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En la Constitución federal de 1857 se menciona que se otorgan facultades al congreso para que determine la jurisdicción federal de las aguas y se promulguen leyes relacionadas con su uso. En 1910 sale vigente la ley sobre el aprovechamiento de aguas de jurisdicción Federal, siendo el más importante ordenamiento específico de esa época (Guzmán, 1997).

2.6.2 Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.

En 1992, se promulga la ley de Aguas Nacionales que tiene como objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su calidad y cantidad para lograr un desarrollo sustentable y contempla aspectos relacionados con: Administración del agua, disposiciones generales, Comisión Nacional del Agua, Consejo de Cuenca, organización y participación de los usuarios, programación hidráulica, derechos de uso o aprovechamiento de aguas nacionales, concesiones y asignaciones, derechos y obligaciones de concesionarios o asignatarios, Registro Público de Derechos de Agua, transmisión de títulos, zonas reglamentadas de veda o de reserva (Ramírez, 2002).

La época actual obliga a los mexicanos a establecer una nueva cultura del agua en la que el recurso sea motor de desarrollo y no limitante. La preservación del agua, dentro del contexto del desarrollo sustentable, es la dirección por la que transita México en estos días. Para garantizar este proceso, se cuenta con un marco jurídico moderno y ágil, que es la Ley de Aguas Nacionales de 1992 y su Reglamento y la Ley Federal de Derechos de 1994.

La nueva ley combate la contaminación del agua con normas más estrictas, impulsa su uso eficiente y da certidumbre jurídica a los usuarios que usen, exploten o aprovechen las aguas, propiedad de la nación. El espíritu de la

ley de derechos en materia de agua es darle al recurso hidráulico su valor real. Esta ley establece en sus artículos:

ARTICULO 2o. – Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la ley señala.

Artículo 13. - La Ley de Aguas Nacionales establece la creación de Consejos de Cuenca como instancias de coordinación y concertación entre la Comisión Nacional del Agua, los tres niveles de gobierno, el federal, el estatal y el municipal y los representantes de usuarios.

ARTICULO 17. – Es libre de explotación, uso, aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales por medios manuales para fines domésticos y de abrevadero, siempre que no se desvíen de su cauce ni se produzca una alteración en su calidad o una disminución significativa en su caudal, en los términos del reglamento. No se requerirá concesión para la extracción de aguas marinas tanto interiores como del mar territorial, sin perjuicio de lo dispuesto en la Ley Minera y demás disposiciones legales.

TITULO SEPTIMO. Prevención y control de la contaminación de las aguas.

ARTICULO 85. – Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley.

ARTICULO 86. – "La Comisión" tendrá a su cargo:

I. Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga, en los términos de ley;

II. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua;

III. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (SEMARNAT, 2004).

2.6.3 Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y reglamento respectivo.

En el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Su última reforma publicada DOF fue el 23 de mayo del 2006. En el título cuarto de esta Ley, se refiere a la protección del ambiente, y destaca en especial el capítulo dedicado a la preservación y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. Consta de 17 artículos, donde sobresalen los siguientes:

Título tercero. Aprovechamiento Racional de los Elementos Naturales.

Capítulo I. Del Aprovechamiento Racional del Agua y los Ecosistemas Acuáticos.

Artículo 88. Para el aprovechamiento racional del agua y los Ecosistemas acuáticos, en el ámbito de competencia estatal, se considerarán los siguientes criterios:

I. Corresponde al Estado y a la sociedad, la protección de los Ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico.

II. El aprovechamiento de los recursos naturales que comprenden los Ecosistemas acuáticos, debe realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico.

III. Para el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas, y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de aguas, así como la capacidad de recarga de los acuíferos.

IV. La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.

Artículo 90. La Secretaria, en coordinación con la Secretaria de Salud, expedirán las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y, en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones e industrias, y participarán en el establecimiento de reservas de agua para consumo humano.

Artículo 92. Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades Estatal y Municipales, en su caso, promoverán el tratamiento de aguas residuales y su rehúso.

Título cuarto. Protección al ambiente

Capítulo III. Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos.

Artículo 117. Para la prevención y control de la contaminación del agua, se considerarán los siguientes criterios:

I. La prevención y control de la contaminación del agua es fundamental, para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los Ecosistemas del país.

II. Corresponde al Estado, sus municipios, y a la sociedad, prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades, y para mantener el equilibrio de los Ecosistemas.

IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

Artículo 119. Expedición de Normas Oficiales Mexicanas que se requieran para prevenir y controlar la contaminación de las aguas Nacionales.

Artículo 120. Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

I. Las descargas de origen industrial.

II. Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas.

III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias.

IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables;

V. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

V. Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos.

VI. El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua

ARTICULO 123. Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, acuíferos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

ARTICULO 133. La Secretaría, con la participación que en su caso corresponda a la Secretaría de Salud conforme a otros ordenamientos legales, realizará un sistemático y permanente monitoreo de la calidad de las aguas, para detectar la presencia de contaminantes o exceso de desechos orgánicos y aplicar las medidas que procedan. En los casos de aguas de jurisdicción local se coordinará con las autoridades de los Estados, el Distrito Federal y los Municipios (LGEEPA, 2006).

2.6.4 Ley Federal de Derechos.

En diciembre de 1990, se publicó en el Diario Oficial la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, elaborada por la Comisión Nacional del Agua. En la cual se establecen los lineamientos y tarifas para el derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación, como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales. El objetivo de la ley es que los contribuyentes realicen obras para el control de la calidad de sus descargas de aguas residuales, conforme a lo establecido por la legislación ecológica y con el fin de preservar la calidad de los cuerpos de agua del país. Pagarán este derecho las personas físicas o morales que descarguen aguas residuales con concentraciones de contaminantes por arriba de las Normas Técnicas Ecológicas o de las condiciones particulares de descarga de aguas residuales

en corrientes de agua, depósitos o terrenos que sean bienes nacionales (Guzmán, 1997).

2.6.5 Normas Oficiales Mexicanas.

En México existe la Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales que se muestra en el Cuadro 1 (NOM-001-ECOL-1996).

Cuadro 1.- Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.

PARAMETROS (miligramos por litro)	RIOS						ENVASES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida (C) acuática		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera y otros (A)		Recreación.		Estuarios		Uso en riego agrícola (A)	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

P.D= Promedio Diario P.M= Promedio Mensual (A) (B) (C) = Tipo de cuerpo receptor.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Esta norma establece para los nitratos 10 mg/L (Garza, 2005).

2.6.6 Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua.

En diciembre de 1989 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua. Estos criterios permiten a las autoridades identificar la necesidad de establecer programas de prevención y control de la contaminación del agua, orientados a restaurar la calidad de aquellos cuerpos de agua que muestran signos de deterioro; o bien, a proteger a aquellos que actualmente presentan mejores condiciones que las establecidas en los propios criterios, determinan la necesidad de diseñar o en su caso ampliar la red nacional de monitoreo de la calidad del agua, así como permiten identificar los casos en que deberán fijarse condiciones particulares a las descargas de aguas residuales (INE, 1989).

ARTICULO 1o.- El presente Acuerdo tiene como propósito establecer los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, con base en los cuales la autoridad competente podrá calificar a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, en la acuacultura, o para la protección de la vida acuática (INE, 1989).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

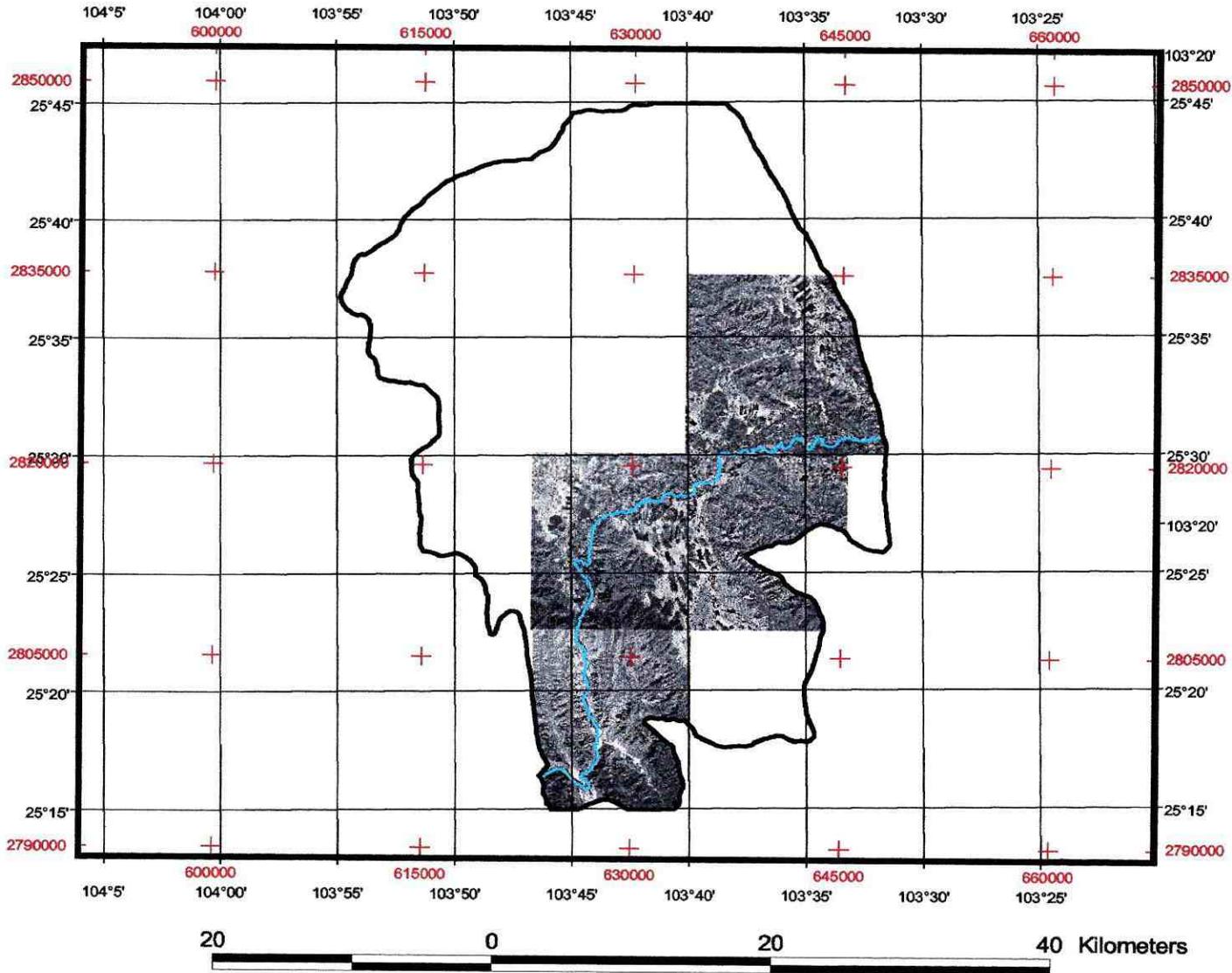
El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México.

3.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo.

Los puntos de muestreo y su localización geográfica se presentan en el cuadro 2 y la ubicación geográfica se muestra en la Grafica 1.

Cuadro 2.- Localización geográfica de los puntos de muestreo.

Sitio	Localización geográfica	Altura sobre el nivel del mar
Cañón de Fernández.	N: 25° 21' 01" W: 103° 44' 254"	1180 m.
Campamento.	N: 25° 24' W: 103° 44'	1172 m.
La Posta.	N: 25° 26' 43" W: 103° 44' 033"	1158 m.
La Loma.	N: 25° 28' 22" W: 103° 40' 049"	1152 m.
Represa León Guzmán.	N: 25° 28' 27.7" W: 103° 38' 39.11"	1158 m.
Sitio León Guzmán.	N: 25° 29' 14.6" W: 103° 38' 38"	1150 m.
Villa Juárez.	N: 25° 30' 20.4" W: 103° 35' 40"	1141 m.



 Área de estudio
 Rio Nazas



Grafica 1.- Ubicación geográfica del área del estudio.

3.2 Determinación de los Sitios de Muestreo.

Las muestras obtenidas se tomaron en las siete represas mismas que se localizan a lo largo del cauce del Río Nazas, entre los puntos de la represa Villa Juárez a una altura de 1141 m. 25° 30' 20.4" Latitud Norte, 103° 35' 40" Longitud Oeste y el Cañón de Fernández a una altura de 1180 metros sobre el nivel del mar 25° 21' 01" N, 103° 44' 254" W.

3.3 Toma de Muestras.

El muestreo se realizó utilizando la técnica al azar con tres repeticiones en cada uno de los siete puntos, la primer toma de muestras se obtuvieron en el mes de abril del 2006 y la segunda en el mes de agosto del mismo año.

Para la localización geográfica se utilizo un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) extrem, marca garmin, 12 canales.

3.4 Preparación de la Muestra.

Se tomaron las muestras en recipientes de plástico del 1 litro de capacidad y se trasportaron en hieleras para después almacenarlas en el laboratorio de suelos a una temperatura de 4 °C.

3.5 Análisis Químico del agua.

En las muestras de agua se determinaron las siguientes características:

Determinación	Método utilizado
Cloruros (Cl)	Volumétrico titulado con Ag NO ₃ a 0.01N.
Calcio (Ca) y magnesio (Mg)	Volumétrico titulado con EDTA a 0.02N.
Carbonatos (CO ₃)	Volumétrico titulado con HCl a 0.01N.
Bicarbonatos (HCO ₃)	Volumétrico titulado con HCl a 0.01N.

Nitratos (NO ₃)	Colorimétrico.
pH	Potenciómetro Termo Orion Mod-420.
Conductividad eléctrica	Conductivímetro Orion Mod-162.
Sodio	Absorción atómica
Sulfatos	Gravimétrico
Relación de Absorción de Sodio (RAS)	$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$
Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.1475 RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)}$

3.6 Análisis de metales pesados y Arsénico.

Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados en el agua de las localidades estudiadas se utilizaron 100 ml de la muestra de cada sitio y de las tres repeticiones, éstas se leyeron directamente en el Espectrofotómetro de absorción atómica modelo PerKin Elmer 2380.

Para obtener la concentración de arsénico en el agua se utilizó el Test marca MerK.

3.7 Análisis Estadístico.

Para los siete tratamientos con sus tres repeticiones se realizó un análisis estadístico mediante el programa Stat Graphic version 5.1.

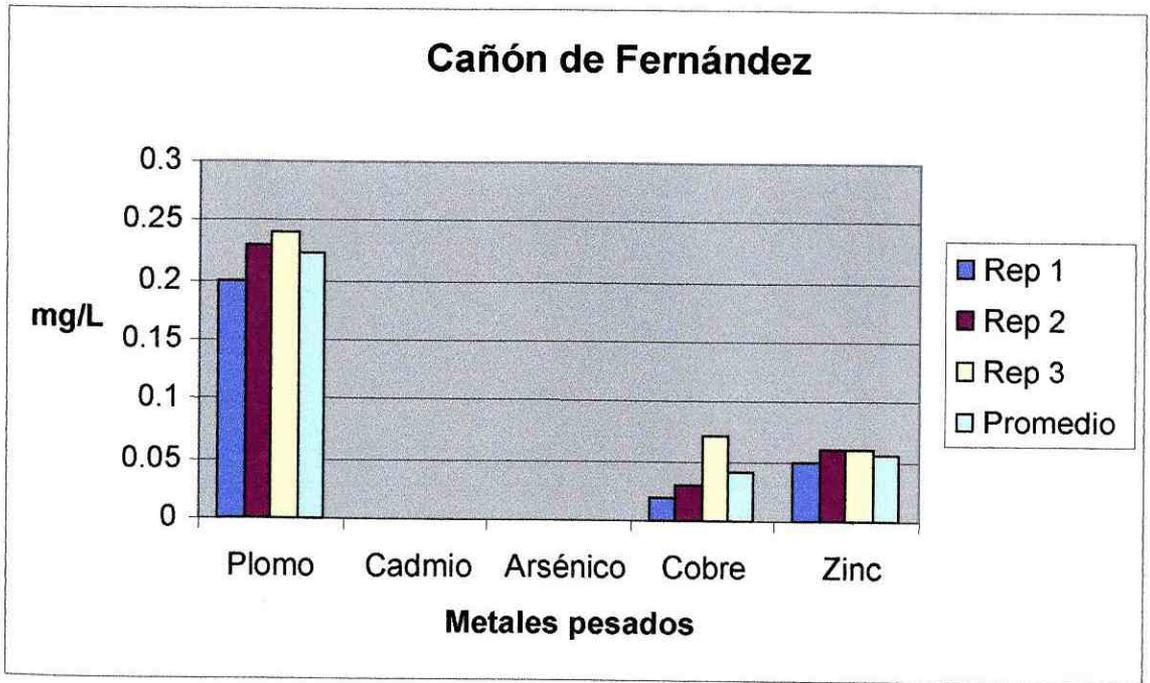
IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Con el objeto de evaluar los niveles y distribución de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn) y Arsénico (As) en el agua superficial del Río Nazas se contemplaron dos etapas: la de abril 2006 (Etapa I) y la de agosto 2006 (Etapa II), en base a esto a continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

4.1 PRIMERA ETAPA DE MUESTREO

En la grafica 2 se presenta la concentración de metales pesados que se encontró en el sitio denominado Represa Cañón de Fernández. Se puede observar que el plomo fue el metal que se presentó con mayor concentración en sus tres repeticiones siendo la cantidad más alta de 0.24 mg/L. Otros metales que aparecieron en el análisis fueron el cobre y el zinc, los cuales presentaron una concentración muy inferior a la concentración de plomo. Los metales ausentes en el análisis realizado fueron el cadmio y el arsénico. Es importante hacer notar que la represa en cuestión se encuentra muy próxima a la entrada norte del Cañón, lo cual significa que el agua antes de llegar a la represa pasa por un tramo ripario de elevada condición ecológica, y que probablemente esto pudiera ser un factor que está relacionado con bajas concentraciones de metales.

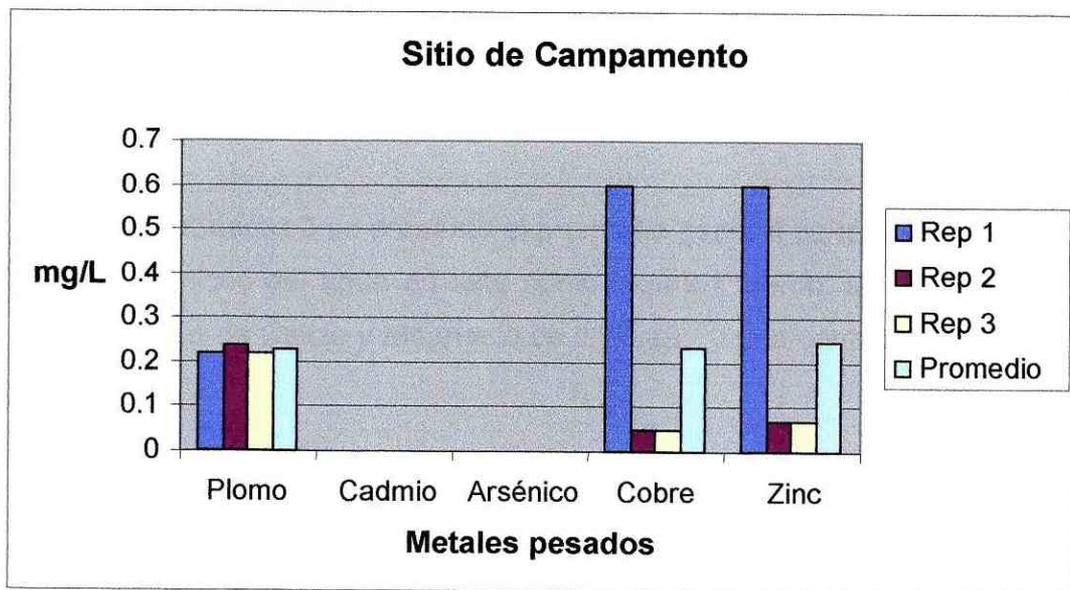
Respecto a los análisis químicos realizados a la muestra de agua correspondiente a este punto los resultados en promedio fueron: un pH de 7.89, la conductividad eléctrica fue de 0.307 mS/cm, la concentración de nitratos de 4.20 mg/L y la concentración de calcio y magnesio en promedio fue de 0.66 meq/L (Cuadro 3).



Grafica 2.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en la represa Cañón de Fernández en abril del 2006.

En el sitio denominado Campamento los resultados encontrados fueron atípicos, ya que por un lado la concentración de plomo apareció muy disminuida, y por el otro, en lo que corresponde al cobre y al zinc mostraron la concentración más alta, aunque esto ocurrió únicamente en la primera repetición. Los dos metales presentaron una concentración máxima de 0.6 mg/L. En este punto, la condición de la ribera en cuanto al estado del bosque ripario también es buena. Es probable que se haya cometido un error en la realización de los análisis, en todo caso pudiera ser más adecuado tomar el valor presentado como promedio en los dos casos (Gráfica 3).

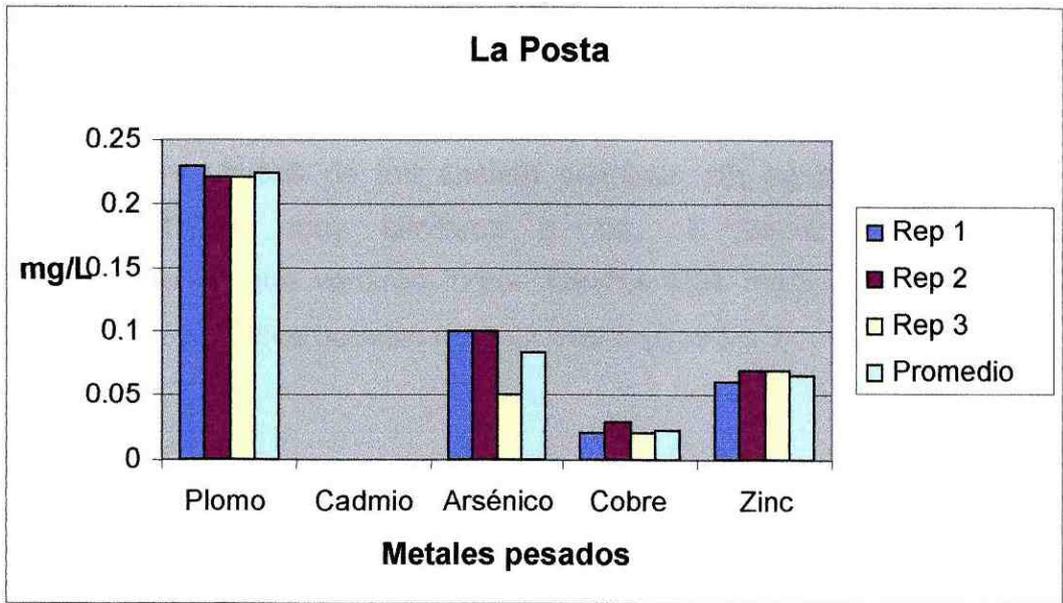
En este sitio se presentó en promedio una concentración de nitratos 5.78 mg/L, un pH de 8.11, y una concentración de sodio de 4.07 meq/L (Cuadro 3).



Grafica 3.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio Campamento en abril del 2006.

En la grafica 4 se muestran los resultados encontrados en el sitio denominado La Posta. Nuevamente aparece la concentración de plomo muy por encima de los otros metales. El valor más alto encontrado en este sitio fue de 0.23 mg/L, con un promedio de 0.22 mg/L, es importante comentar que la variación en este caso fue muy baja. Asimismo destacar que el arsénico aparece por primera vez en este sitio, ya que como se menciona antes en los dos sitios anteriores no fue encontrado. La concentración más alta de este metal fue de 0.1 mg/L. El zinc presentó una mayor concentración que el cobre, aunque menores a los metales anteriores. El cadmio no apareció en este sitio. La posta es un reconocido sitio para días de campo y por otro lado en el tramo anterior a la represa muestreada en dicho sitio, ya se presenta una gran actividad agropecuaria, el estado de la ribera, en relación a su bosque ripario es regular.

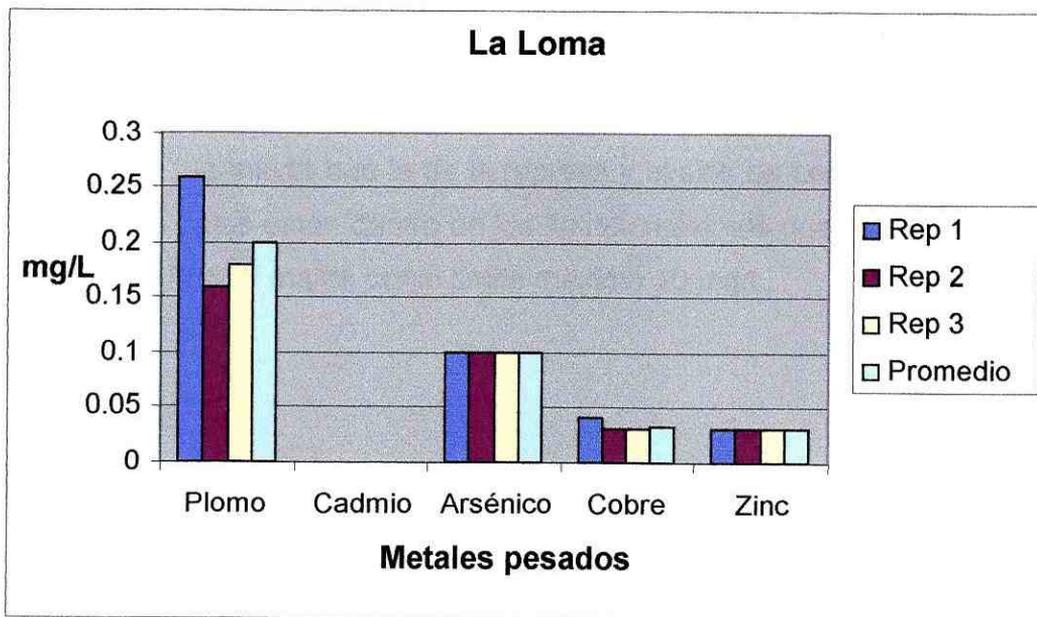
En el Cuadro 3 se presenta el promedio general de los resultados de los análisis químicos del agua en este punto algunos fueron: un pH de 8.13, una concentración de Calcio y Magnesio de 2 meq/L y una cantidad de cloruros de 0.46 meq/L.



Grafica 4.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio la Posta en abril del 2006.

En la grafica 5 se puede observar que en el sitio la Loma no existe presencia de cadmio al contrario de los otros metales pesados como el plomo que es el que presento la mayor concentración en sus tres repeticiones siendo la mas alta en la primera repetición con 0.26 mg/L, y un promedio de 0.2 mg/L. El cobre y el zinc fueron similares en las concentraciones que se observaron con 0.03 mg/L y el arsénico nuevamente presentó una concentración de 0.1 mg/L en sus tres repeticiones. En torno a este sitio se observó una gran actividad agropecuaria y por otro lado también es un sitio muy visitado por campistas. Se observa muy impactada la ribera, aunque se presenta con gran cobertura el zacate chino (*Buchloe dactyloides*), reconocido por su capacidad para fijar metales pesados.

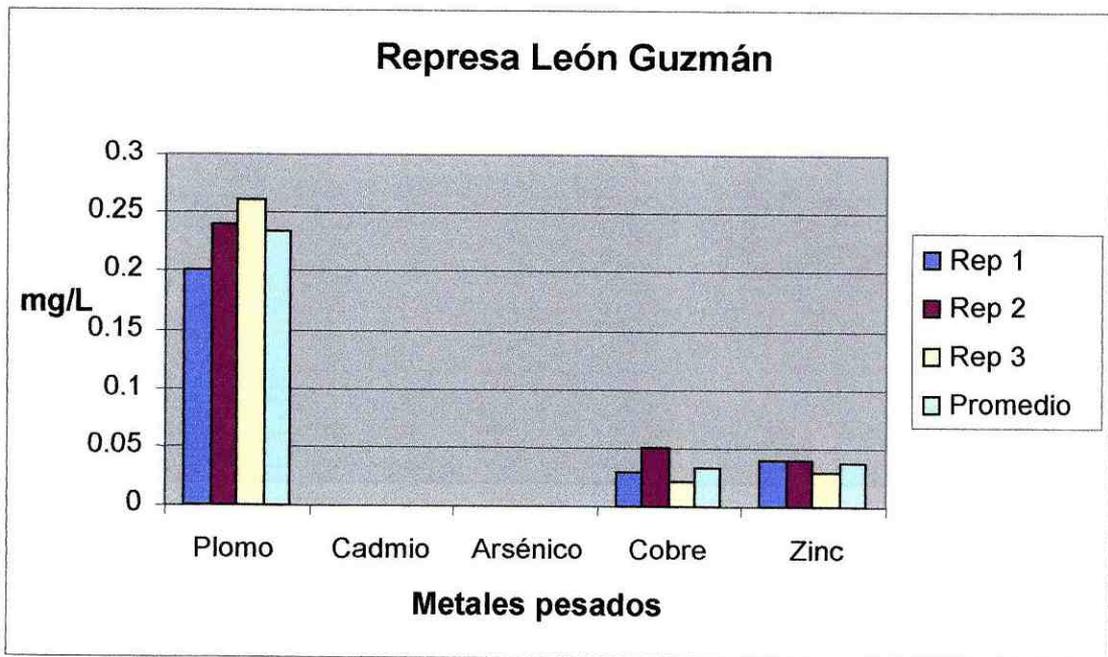
Los resultados de los análisis químicos del agua en este punto de muestreo fueron muy similares a los del punto anterior, algunas determinaciones que variaron fueron nitratos 6.31 mg/L, pH de 8.09, y una concentración de bicarbonatos de 1.22 meq/L (Cuadro 3).



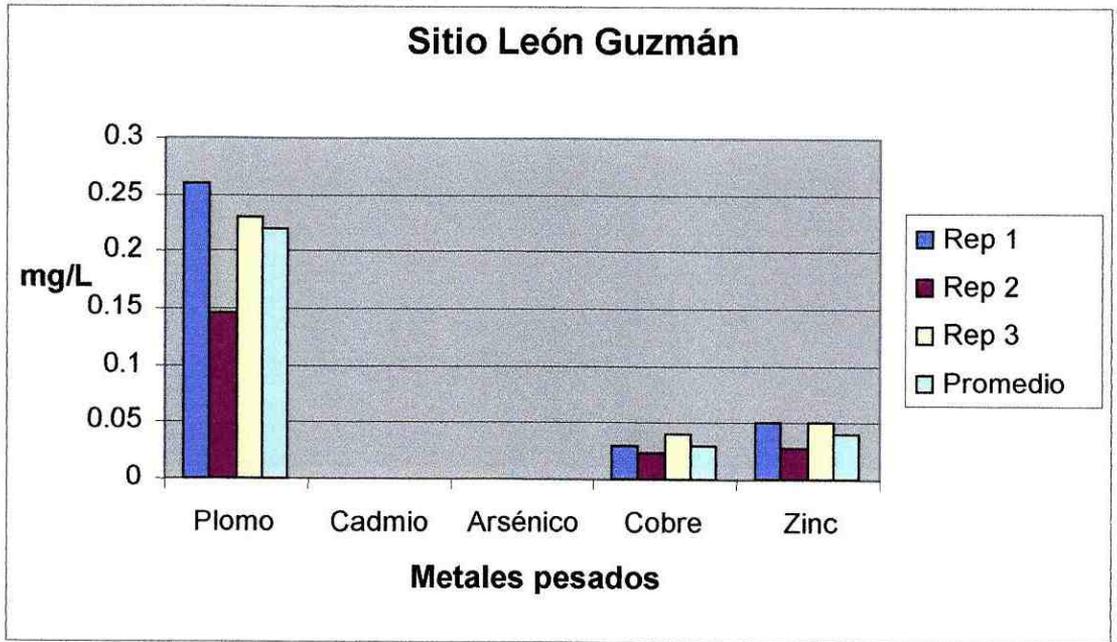
Grafica 5.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio la Loma, en abril del 2006.

Una situación similar, respecto de las concentraciones de metales pesados se presentó en los sitios de las represas de León Guzmán y de la represa de Villa Juárez (Gráficas 6, 7 y 8). El plomo fue el metal que presentó en todos los casos la mayor concentración. El cobre y el zinc alcanzaron una concentración inferior en sus tres repeticiones también en todos los casos. En estos tres sitios no se encontraron el arsénico ni el cadmio. La situación de la ribera en los tres sitios es de una condición mala, aunque se observa la aparición de otras especies como el mezquite (*Prosopis glandulosa*) y el huizache (*Acacia tamesiana*).

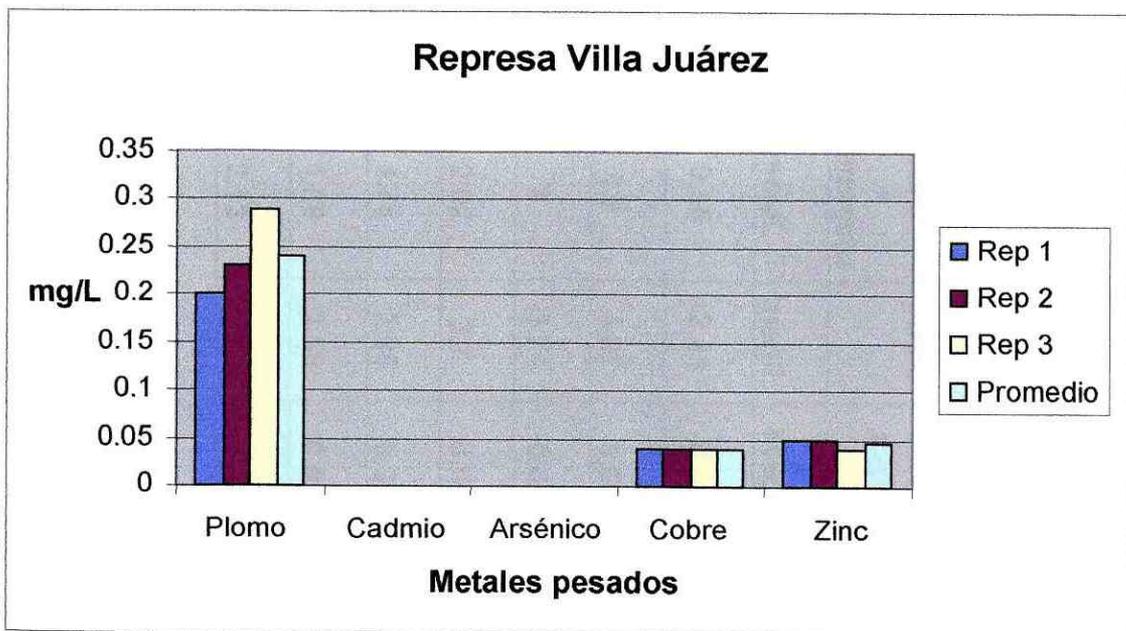
En el Cuadro 3 se puede observar los promedios obtenidos de las características químicas del agua: la concentración de nitratos de la represa de Villa Juárez fue mayor que la de la represa y el sitio de León Guzmán con 9.64 mg/L. Estos datos están dentro de los límites máximos que marca la NOM-127-SSA1-1994 la cual marca como límite máximo 10 mg/L.



Grafica 6.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en la represa León Guzmán en abril del 2006.



Grafica 7.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio León Guzmán en abril del 2006.



Grafica 8.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en la represa Villa Juárez en abril del 2006.

**Cuadro 3.- Promedios generales de los análisis químicos realizados
para cada uno de los puntos en la primera etapa (abril 2006).**

Puntos	pH	Cond. Eléctrica	Calcio + magnesio	Sodio	Carbo- natos	Bicarbo- natos	Clo- ruros	Sul- fatos	RAS	PSI	Nitratos
		mS/cm	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L			mg/L
Cañón de Fernández	7.89	0.307	0.66	2.41	0.04	1.06	0.28	1.7	4.2	4.7	4.2
Campamento	8.11	0.578	1.7	4.07	0.08	1.24	0.48	3.97	4.07	4.75	5.7
La posta	8.13	0.571	2	3.71	0.06	1.56	0.46	3.62	3.71	4.05	9.29
La Loma	8.09	0.571	2.02	3.7	0.06	1.22	0.49	3.95	3.68	4	6.31
R. León G.	8.09	0.477	1.78	2.99	0.06	1.52	0.14	2.81	3.16	3.29	2.45
S. León G.	7.87	0.549	1.89	3.59	0.05	1.69	0.42	3.31	3.69	4.02	6.31
Villa Juárez	7.81	0.587	2.13	3.73	0.04	1.53	0.47	3.82	3.61	3.91	9.64

Se realizó una comparación de la concentración de cada uno los metales estudiados tomando como fuente de variación los diferentes puntos de muestreo, los resultados se presentan en el Cuadro 4. Se puede observar que para el caso del plomo no se encontró evidencia de que los valores medios de plomo sean diferentes en los diferentes puntos de muestreo. En el caso del arsénico se encontró diferencia ($P < .05$) entre los valores medios de cada localidad, no obstante, esto se debió a que sólo en dos sitios se encontró el elemento. En el resto de los metales, cobre y zinc, no se encontró diferencia estadística entre los valores medios de sus concentraciones en los diferentes puntos de muestreo.

En esta etapa de muestreo sólo se encontró una correlación importante ($P < .05$) entre las características químicas del agua y la concentración de metales, se trata del pH y la concentración de plomo, la cual fue negativa. Esto se debe a que cuando en pH del agua es bajo, este es susceptible para que el plomo se libere y por lo tanto se encuentra en mayor concentración al contrario de cuando se tiene un pH alto el plomo se precipita.

Tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Cuadro 1), y considerando los valores promedio mensual para protección de vida acuática en ríos, se tiene para el caso del plomo valores promedio de todos los sitios de muestreo superiores a la norma de 0.2 mg/L (Cuadro 4). En los sitios donde apareció el arsénico, la concentración promedio llegó a ser igual (0.1ppm) a la establecida en la norma. Los valores promedio para el cobre y el zinc fueron muy inferiores a los establecidos en la norma (Cuadro 4).

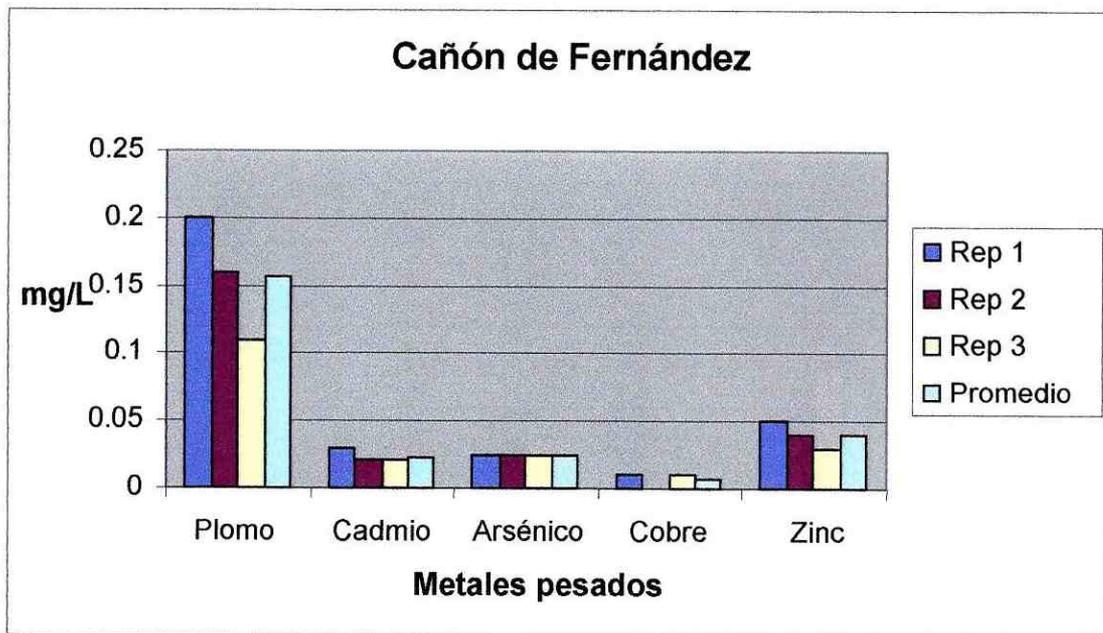
Cuadro 4.- Análisis de varianza de metales pesados y Arsénico para cada uno de los puntos de la primera etapa.

Punto de muestreo	Plomo	Arsénico	Cobre	Zinc
R. cañón de Fernández	0.223 ^a	0 ^a	0.04 ^a	0.056 ^a
Campamento	0.226 ^a	0 ^a	0.023 ^a	0.24 ^a
La Posta	0.223 ^a	0.083 ^b	0.023 ^a	0.06 ^a
La Loma	0.2 ^a	0.1 ^b	0.033 ^a	0.03 ^a
R. León guzmán	0.233 ^a	0 ^a	0.033 ^a	0.03 ^a
S. León Guzmán	0.22 ^a	0 ^a	0.03 ^a	0.04 ^a
Villa Juárez	0.24 ^a	0 ^a	0.04 ^a	0.04 ^a

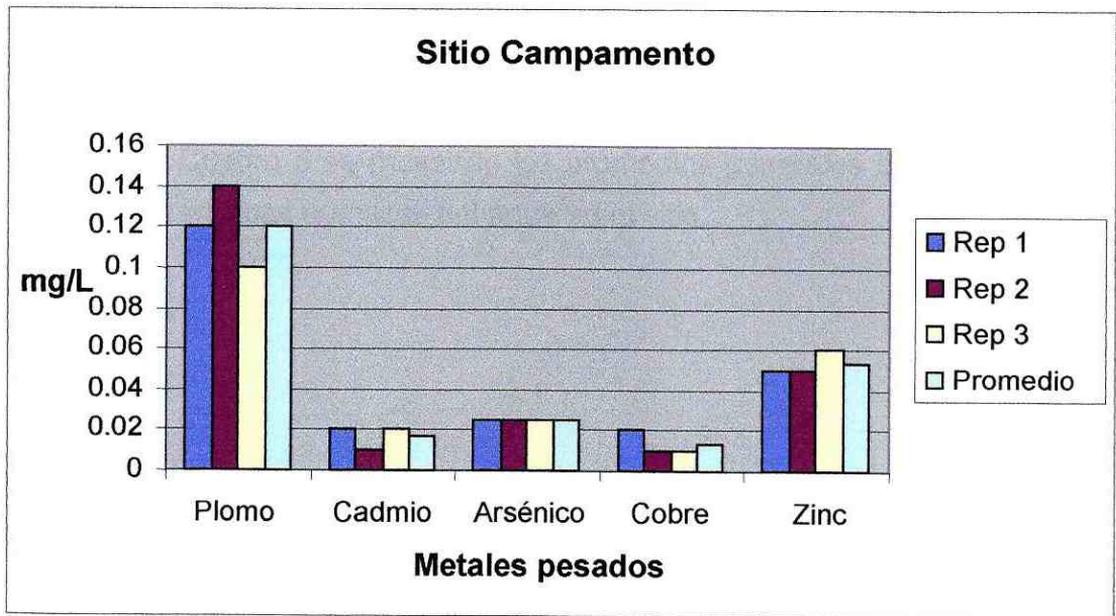
4.2 SEGUNDA ETAPA DE MUESTREO

En la grafica 9 y 10 se muestra la concentración de metales pesados que se encontró en el sitio denominado Represa Cañón de Fernández y en el sitio de campamento, se puede observar que el plomo fue el metal que nuevamente se presentó con mayor concentración en sus tres repeticiones siendo la cantidad más alta de este metal de 0.2 mg/L la cual se presentó en la represa del Cañón de Fernández. Otros metales como el cadmio, cobre y arsénico fueron similares en las concentraciones que se observaron en la primera etapa de muestreo. Al contrario del zinc del cual se obtuvo una concentración más alta en sus tres repeticiones que la de los metales antes mencionados.

En el sitio Cañón de Fernández el pH del agua fue de 7.7, la conductividad eléctrica fue de 0.760 mS/cm, la concentración de sulfatos fue de 3.89 meq/L y la de nitratos fue de 11.49 mg/L. Algunos de los promedios generales que resultaron de los análisis químicos que se le realizaron a las muestras de agua del cañón de Fernández y al sitio de Campamento ambos se pueden observar en el Cuadro 5.



Grafica 9.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en la represa cañón de Fernández en agosto del 2006.

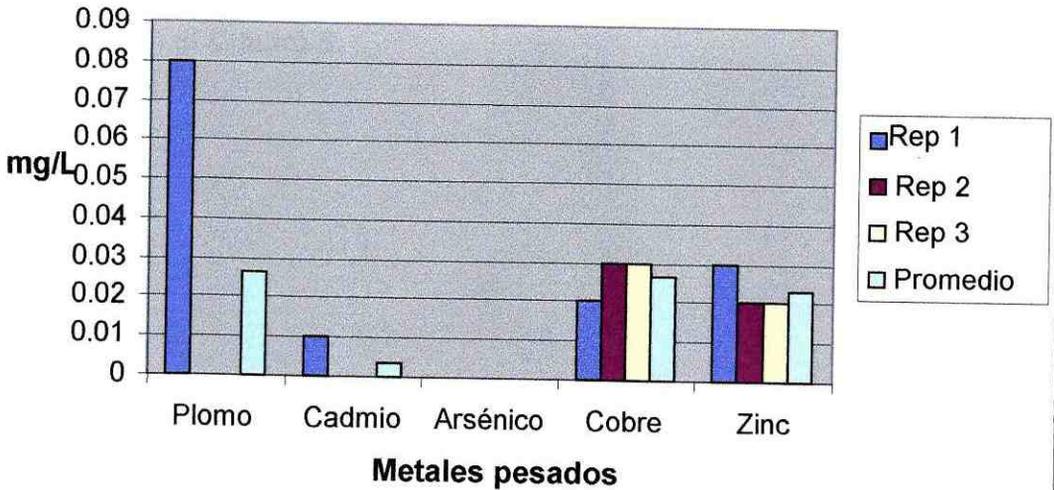


Grafica 10.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio Campamento en agosto del 2006.

En la grafica 11 se muestran los resultados encontrados en el sitio denominado La Posta. En el cual aparece la mayor concentración de plomo en la primera repetición. El valor más alto encontrado en este sitio fue de 0.08 mg/L, con un promedio de 0.2 mg/L, es importante mencionar que en la segunda y tercera repetición no se encontró este metal, por el contrario el arsénico no apareció en este sitio. El cobre presentó una mayor concentración que el zinc, aunque menores a los metales anteriores. En lo que respecta al cadmio sólo se presentó en la primera repetición con una concentración de 0.01mg/L. El pH del agua en este sitio fue de 8.11, lo cual nos indica que es básico.

En el Cuadro 5 se muestran los promedios generales de los resultados de las características químicas del agua en el sitio.

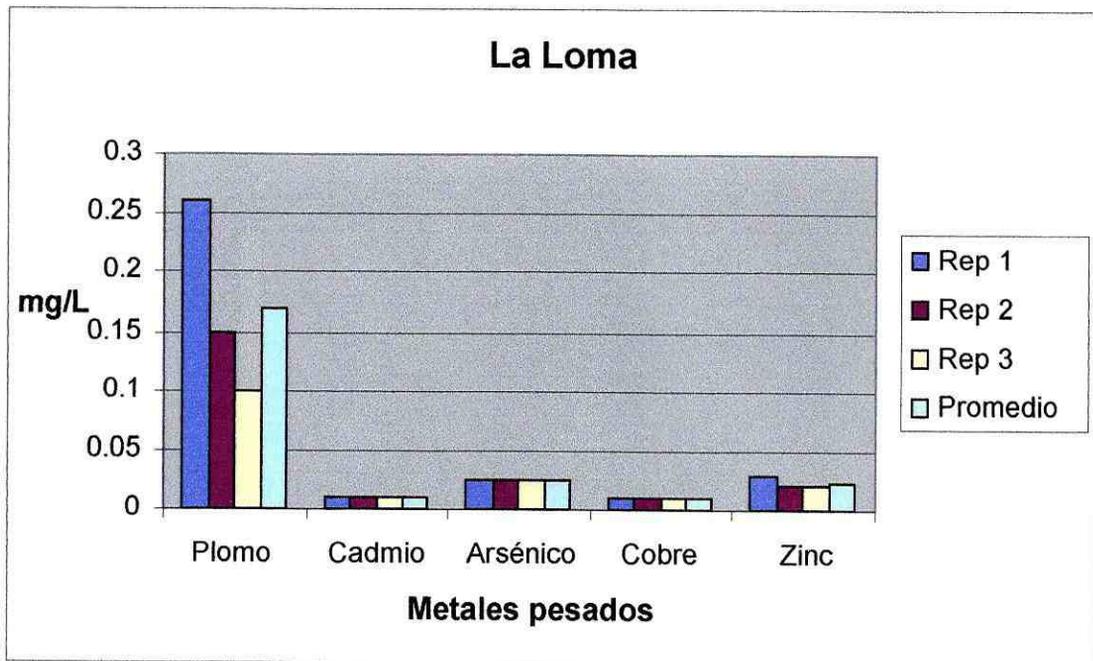
La Posta



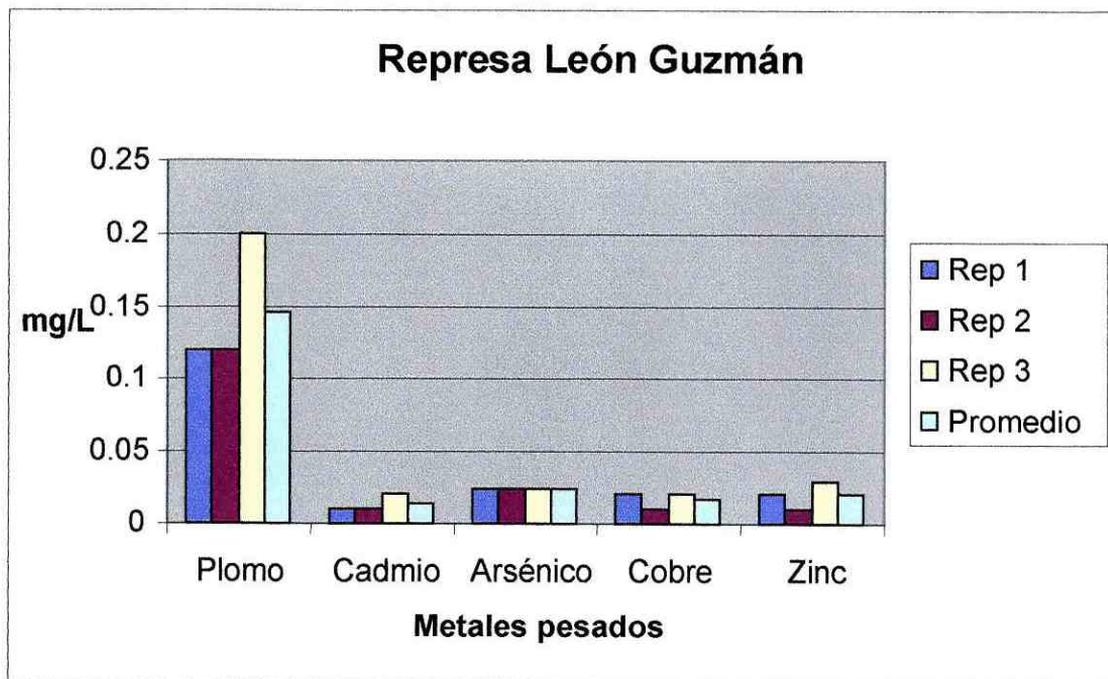
Grafica 11.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio la Posta en agosto del 2006.

En las graficas 12 y 13 se puede observar que en el sitio la Loma y en la represa León Guzmán existe presencia de todos los metales pesados, al igual que en los otros sitios el plomo es el metal que se observa en mayor concentración en sus tres repeticiones siendo la más alta en la primera repetición del sitio de la Loma con 0.26 mg/L y un promedio de 0.17 mg/L. El arsénico en ambos sitios muestra una misma concentración aunque más baja que el plomo. El cobre, cadmio y el zinc presentaron concentraciones bajas. Esto se atribuye principalmente a la actividad minera que se desarrolla en áreas aledañas a la corriente del río Nazas (Velardeña, Cuencame y Pedriceña).

Los resultados químicos del agua en estos puntos de muestreo se presentan en el Cuadro 5.



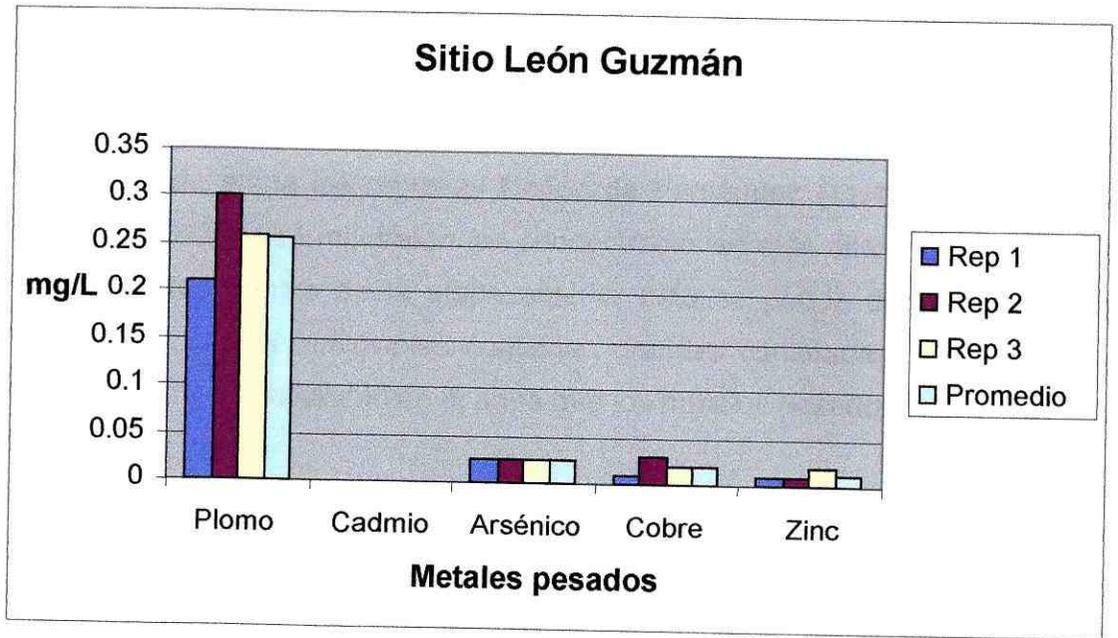
Grafica 12.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio la Loma en agosto del 2006.



Grafica 13.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y el Arsénico en la represa León Guzmán en agosto del 2006.

En la grafica 14 se puede observar que en el sitio León Guzmán no existe presencia de cadmio al contrario de los otros metales pesados como el plomo que es el que presentó la mayor concentración en sus tres repeticiones siendo la más alta en la segunda con 0.3 mg/L, y con un promedio de 0.26 mg/L. El cobre y el zinc fueron similares en las concentraciones que se observaron con 0.02 mg/L y el arsénico se presentó con una concentración igual a la de los otros puntos estudiados que fue de 0.025 mg/L en sus tres repeticiones.

En lo que respecta a los análisis que se le realizaron a las muestras para conocer sus características químicas algunos resultados fueron bicarbonatos con 1.70 meq/L, RAS con 0.753, y nitratos con 2.453 mg/L. (Cuadro 5).

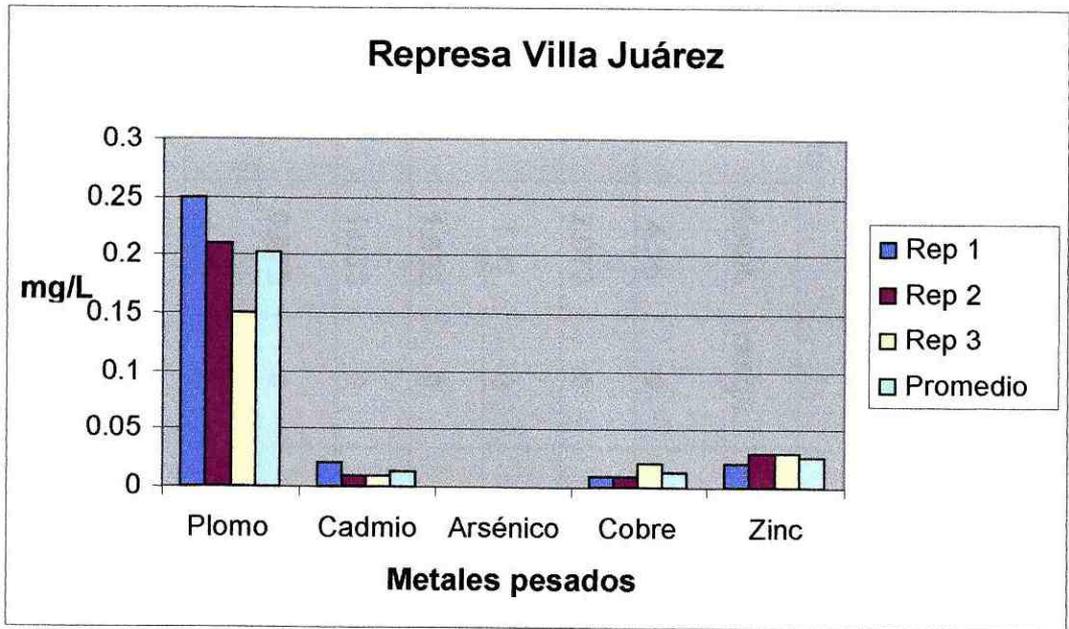


Grafica 14.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en el sitio León Guzmán en agosto del 2006.

En la grafica 15 se muestran los resultados encontrados en la represa Villa Juárez en el cual no se observó presencia de arsénico al contrario del plomo el cual aparece nuevamente con la mayor concentración en sus tres repeticiones en la primera fue donde se observó la más alta que fue de 0.25 mg/L con un promedio de 0.2 mg/L. El zinc presentó una mayor concentración que el cobre y el cadmio, aunque menores a los metales anteriores.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de las características químicas del agua, ejemplo: en la represa Villa Juárez el pH fue de 7.83, el sodio 1.85 meq/L, y los nitratos 13.36 mg/L, en este punto fue en donde se localizó la concentración más alta de los nitratos en las dos etapas.

En esta etapa las represas Cañón de Fernández (11.496 mg/L) y Villa Juárez (13.363 mg/L) mostraron las concentraciones más altas de nitratos con respecto a los puntos de la etapa anterior esto se puede deber al ciclo de siembra ya que los fertilizantes contienen grandes cantidades de nitrógeno y este posee mayor movilidad en el agua que los metales pesados.



Grafica 15.- Niveles de concentración y promedios de los metales pesados y Arsénico en la represa Villa Juárez en agosto del 2006.

**Cuadro 5.- Promedios generales de los análisis químicos realizados
para cada uno de los puntos en la segunda etapa (agosto 2006).**

Puntos	pH	Cond. Eléctrica	Calcio + Magnesio	Sodio	Carbo-natos	Bicarbo-natos	Clo-ruros	Sul-fatos	RAS	PSI	Nitratos
		mS/cm	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L			mg/L
Cañón de Fernández	7.73	0.76	3.253	4.35	0	1.32	0.68	3.896	3.406	3.626	11.496
Campamento	7.86	0.636	3.466	2.873	0	1.8	0.653	3.913	2.18	1.92	7.89
La posta	8.11	0.585	4.386	1.47	0	1.86	0.466	3.523	0.99	0.196	2.803
La Loma	8.19	0.615	4.46	1.693	0	1.58	0.413	4.153	1.13	0.41	3.506
R. León G.	7.85	0.35	2.44	1.033	0	1.426	0.226	1.82	0.936	0.122	2.803
S. León G.	7.34	0.426	3.293	0.973	0	1.706	0.266	2.29	0.753	0	2.453
Villa Juárez	7.83	0.58	3.95	1.85	0	1.72	0.4	3.68	1.1	0.43	13.363

Al realizar el análisis de varianza se encontró que para el caso del plomo existió diferencia significativa entre los valores de cada localidad teniendo que el sitio que obtuvo el mayor valor fue el de León Guzmán. En lo que corresponde al arsénico se encontró diferencia ($P < .05$) entre los valores de cada localidad, esto se debió a que en dos de los puntos no se encontró este metaloide. En el caso del cobre el análisis estadístico mostró diferencia significativa, siendo la mayor concentración promedio la obtenida en el sitio la posta. Al analizar los resultados obtenidos con respecto al zinc se detectó diferencia ($P < .05$) entre los valores medios de sus concentraciones siendo la mayor el sitio de campamento. Para la variable cadmio se presentó diferencia estadística entre tratamientos la mayor concentración se presentó en la represa del cañón de Fernández y la menor en la represa de Villa Juárez en la cual no hubo presencia de este metal. Los resultados se presentan en el Cuadro 6.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Cuadro 1), y considerando los valores promedio mensual para protección de vida acuática en ríos en lo que corresponde al plomo se muestra que en el sitio de León guzmán el valor promedio es superior al igual que para la represa de Villa Juárez. Para el Cobre, zinc y cadmio al igual que para el arsénico los valores promedios obtenidos fueron inferiores a los establecidos por la Norma (Cuadro 6).

La mayor parte de los metales pesados y de arsénico evaluados en el agua del Río Nazas durante la etapa II presentaron los valores de concentración más elevados que en la etapa I, es posible que lo anterior se deba al periodo de siembra ya que las muestras de la primera etapa se colectaron en Abril del 2006 y el segundo muestreo Agosto del mismo año que esta dentro del ciclo agrícola lo cual puede ocasionar un arrastre de compuestos químicos contenidos como trazas en los agroquímicos utilizados en los sistemas de producción agrícola intensivos.

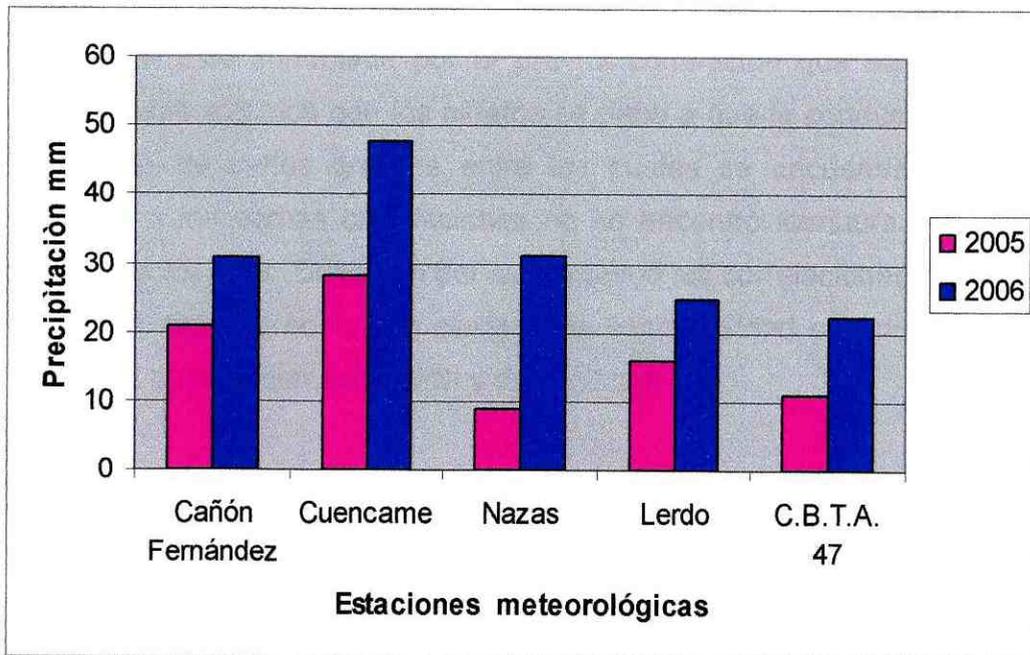
Al igual que los metales pesados y el arsénico, también los nitratos se encontraron en mayor concentración en la segunda etapa que en la primera esto se puede deber al ciclo agrícola y también al arrastre de partículas que ocasiona la precipitación pluvial.

Respecto a las concentraciones de las sales de Calcio y Magnesio en ambas etapas fueron muy bajos por lo que se considera que el agua del río Nazas es blanda.

En la grafica 16 se puede observar que en el 2005 fueron menores los promedios de precipitaciones en comparación con el 2006, en este mismo año en los meses de marzo y abril fue donde se localizaron las menores lluvias y en julio, agosto y septiembre se encontró que fueron los meses en los que hubo mayor precipitación, esta puede ser otra de las posibles fuentes de metales pesados provocada por el arrastre de partículas que son captadas en el río. Esto coincide con lo encontrado por (Martínez *et al.*, 2001) en el estudio que realizaron en el Río Manzanares, observaron que durante el periodo de lluvias se incrementaron las concentraciones de metales pesados.

Cuadro 6.- Análisis de varianza de metales pesados y Arsénico para cada uno de los puntos de la segunda etapa.

Punto de muestreo	Plomo	Arsénico	Cobre	Zinc	Cadmio
R. Cañón de Fernández	0.15 ^a	0.025 ^a	0.006 ^a	0.04 ^c	0.02 ^d
Campamento	0.12 ^a	0.025 ^a	0.013 ^{ab}	0.05 ^d	0.016 ^{cd}
La Posta	0.02 ^b	0 ^b	0.026 ^c	0.02 ^{ab}	0.003 ^{ab}
La Loma	0.17 ^{ac}	0.025 ^a	0.01 ^{ab}	0.02 ^{ab}	0.01 ^{bc}
R. León Guzmán	0.14 ^a	0.025 ^a	0.016 ^{abc}	0.02 ^{ab}	0.01 ^c
S. León Guzmán	0.25 ^c	0.025 ^a	0.02 ^{bc}	0.01 ^a	0 ^a
Villa Juárez	0.20 ^{ac}	0 ^b	0.013 ^{ab}	0.02 ^b	0.01 ^c



Grafica 16.- Promedios anuales de lluvias 2005-2006.

Fuente: CNA, Torreón.

En la segunda etapa de muestreo se encontraron varias correlaciones importantes ($P < .05$) entre las características químicas del agua y la concentración de metales, nuevamente se presenta la del pH con la concentración de plomo la cual fue negativa. Lo anterior se debe a que a menor pH el plomo se solubiliza y a mayor pH este metal se precipita con mayor facilidad. Según (Connell y Millar, 1984) La solubilidad de los metales pesados en el agua esta controlada por el pH. La correlación que se muestra de la conductividad eléctrica con los nitratos se debe a que la conductividad es igual a la suma de varios aniones entre los cuales se encuentran los nitratos. Respecto a las demás correlaciones no se encontró literatura que diera una explicación de ellas. Destacan por su magnitud las correlaciones entre el zinc y elementos como el sodio, los cloruros, la conductividad eléctrica, el RAS y el PSI, la del cadmio con sodio, PSI y RAS (Cuadro 7).

Cuadro 7.- principales correlaciones de las características químicas con los metales pesados y el arsénico de cada punto de muestreo.

Pares de variables	Coefficiente de correlación	Valor de P
PH y plomo	-0.5587	0.0085
C. eléctrica y nitratos	0.4639	0.0341
C. eléctrica y cadmio	0.5156	0.0167
C. eléctrica y zinc	0.6248	0.0025
Ca/Mg y arsénico	-0.5349	0.0125
Sodio y nitratos	0.5294	0.0136
Sodio y cadmio	0.7415	0.0001
Sodio y cobre	-0.5277	0.014
Sodio y zinc	0.7208	0.0002
Bicarbonatos y cadmio	-0.5209	0.0155
Bicarbonatos y arsénico	-0.5466	0.0104
Bicarbonatos y cobre	0.4778	0.0285
Cloruros y cadmio	0.5098	0.0182
Cloruros y zinc	0.7835	0
Sulfatos y zinc	0.5109	0.0179
RAS y nitratos	0.4633	0.0345
RAS y cadmio	0.7074	0.0003
RAS y cobre	-0.4991	0.0213
RAS y zinc	0.7133	0.0003
PSI y nitratos	0.4727	0.0305
PSI y cadmio	0.7068	0.0003
PSI y cobre	-0.5022	0.0204
PSI y zinc	0.7088	0.0003
Nitratos y cadmio	0.4711	0.0312
Cadmio y cobre	-0.5451	0.0106
Cadmio y zinc	0.6757	0.0008

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se detectó la presencia de valores considerables de metales pesados como el plomo que fue el que se presentó en mayor concentración en los siete puntos estudiados y en ambas etapas, en general el contenido de metales trazas esenciales y potencialmente tóxicos presentes en el agua superficial de los siete sitios estudiados probablemente estuvo determinado por diversas fuentes, naturales o antropogénicas.

Los niveles que se encontraron de metales pesados y arsénico en las muestras de agua de cada sitio analizado fueron inferiores para uso de agua de riego según la Norma Oficial mexicana 001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

En la primera etapa las concentraciones de plomo que se obtuvieron de las muestras de agua de los siete sitios fueron superiores para la protección de vida acuática según los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana, la mayor concentración se detectó en el sitio Villa Juárez con 0.29 mg/L. También las concentraciones de Arsénico en el sitio de la Posta llegaron a ser iguales a los establecidos en la Norma. Respecto al cobre, zinc y cadmio las concentraciones obtenidas fueron inferiores a los límites máximos establecidos. En lo que respecta a los nitratos, la Posta y Villa Juárez fueron los puntos en los que se encontró la concentración más alta de esta etapa, dichas cantidades están dentro de los límites máximos permisibles que marca la norma la NOM-127-SSA1-1994 siendo el sitio Villa Juárez donde se registró la cantidad más alta de los dos puntos con un promedio de 9.64 mg/L.

En la segunda etapa en el sitio de León Guzmán fue donde se registró la concentración más alta de plomo con 0.26 mg/L siendo superior a lo establecido en la NOM-001-ECOL-1996 para la protección de vida acuática. Respecto al cobre, zinc y cadmio las concentraciones obtenidas fueron

inferiores al igual que la de Arsénico según la Norma Mexicana. Las concentraciones de nitratos de los tratamientos Cañón de Fernández y Villa Juárez fueron superiores a los que indica la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994, en el sitio de Villa Juárez fue donde se registró la cantidad mayor de las dos etapas con un promedio de 13.363 mg/L.

Cabe mencionar que no se tenía como objetivo principal analizar los nitratos. Sin embargo se obtuvieron cantidades considerables de ellos. Aunque no presentan la misma toxicidad que los metales pesados y el arsénico, los nitratos también causan muchas enfermedades como el síndrome del niño azul y debido a esto se incluyeron en esta investigación.

En la primera etapa solo en la represa la Posta y la Loma se mostró diferencia estadística para el arsénico, al contrario, en la segunda etapa hubo diferencias significativas entre las represas de la Loma, León Guzmán, sitio León Guzmán y Villa Juárez para cobre, zinc y cadmio. Para el plomo la diferencia fue entre la Posta y sitio León Guzmán. Entre las represas de la posta y Villa Juárez se mostró diferencia para el arsénico.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar otro tipo de estudios en los cuales se puedan monitorear otros parámetros sobre la calidad del agua.
- ✓ Elaborar proyectos en los que se analicen compuestos orgánicos como los plaguicidas.
- ✓ Aplicar las diferentes tecnologías existentes en la remoción de metales pesados y Arsénico por electrocoagulación. O la Fitorremediación, la cual es una técnica que utiliza plantas para la extracción de metales pesados y arsénico, algunas plantas remediadoras son el zacate chino (*Buchloe dactyloides*).

VII. LITERATURA CITADA.

- Altamirano, E. M. 2005. Distribución de la contaminación por arsénico en las aguas subterráneas de la subcuenca suroeste del Valle de Sebaco-Matagalpa, Nicaragua. (Consultada el 1 de Noviembre 2006). (En línea) http://www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/index.html.
- Axtel, N., R., S.P.K Stemberg. y K.Claussen, , 2003. Lead and nickel removal using micropora and lemna minor. Bioresource Technol.
- Bendell-Young, L. I., C. A. Thomas, y J. R. P. Stecko, 2002. *Applied Geochemistry* 17: p.p. 1563-1582.
- Campos, M., D. 2004. Universidad Autónoma Metropolitana de México. Problemática actual de la contaminación de las aguas continentales (Consultada el 8 de Noviembre del 2006). (En línea) <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/derhum>.
- Castañé, P., M. M. L. Topalián, R. Cordero y A. Salibián. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Rev Toxicol* Vol. 20. p.p 13-18.
- Cancino, J. Carlos Bonilla y G. Donoso. 2001. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile. Contaminación de los recursos hídricos en la zona central de Chile. (Consultada el 8 de septiembre del 2006). (En línea) <http://www.unesco.org/phi/libros/VIJornadas/B28.pdf>.
- Cedeño, J. G., Y. Guiza y J. González 1999. Análisis de la dispersión geoquímica de metales traza en el río Magdalena sector Tarqui (Huila). Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química Santafè de Bogota. p.p. 24-52.

Coss, W. 2001. Aguas Negras, Revista Teorema, N: 29, p. 6.

Connell, D.W. y G.J. Miller. 1984. Chemistry and Ecotoxicology of Pollution. John Wiley & Sons, NY.

Dekov, V.M., F. Araujo., R. Van Grieken y V. Subramanian, 1998. Chemical composition of sediment and suspended matter from the Cauvery and Brahmaputra rivers (India). The Science of the Total Environment Vol. 212, p.p. 89-105.

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, 2003. Hoja de seguridad XXIII, plomo y sales de plomo. (Consultada el 18 de septiembre del 2006). (En línea). <http://www.fquim.unam.mx/sitio/uploads/pdfshoja23.pdf>.

Garza, P, G. 2005. Evaluación de la calidad del agua. Universidad Autónoma de Nuevo León. Vol. 8. p. 26.

Gersberg, R. 2001. Cargas de Metales Pesados en la Cuenca del Río Tijuana. Boletín de la cuenca. Universidad Estatal de San Diego. Vol. 3. p. 6.

Gómez, A, A. Villalva, G. Acosta, M. Castañeda y D. Kamp. 2004. metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante los años 1997 y 1999. Revista internacional de Contaminación ambiental. Vol. 20. N° 001. p.p.1-8.

Guzmán, M, A.1997. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Jalisco "Marco Físico" Las Aguas Superficiales. Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Instituto de Limnología. p. 137.

Holguín, C., H. Rubio., M. E. Olave., R. Saucedo., M. Gutierrez y R. Bautista 2006. Calidad del agua del Río conchos en la región de Ojinaga,

Chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Vol. 22. p.p. 51-63.

Instituto Nacional de Ecología. 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Consulta el 17 de Octubre 2006). (En línea) <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas>.

Juárez, S. 2006. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú. Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima Metropolitana. (Consultada 20 de Mayo 2006). (En línea) http://idrinfor.idrc.ca/archive/corpdocs/122161/FinalReport_HenryJuarez.pdf

Lars, J. 2003. El Boletín Médico británico. Hazards of heavy metal contamination Vol. 68. p.p. 167-182.

Leal T y S. Gelover 2002. Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento en acuíferos prioritarios de la región Cuencas Centrales del Norte México.

Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al ambiente 2006. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales. Editorial Delma, 1ª edición, p.p. 56-61.

López, G. J. M. O. García, O. J. Grima, N. B. Ballesteros y G. M. Pérez. 1992. Técnicas de Biorrecuperación in situ en acuíferos contaminados por metales pesados, Instituto Geológico y Minero de España. p. 236.

Licata, P, D. Trombetta, M. Cristiani, F. Giofre, D. Martino, M. Calo, y F. Naccari. 2004. levels of toxic and essential metals in samples of bovine milk from various dairy farms in calabria, Italy. Environment International. Vol.30, p.p. 1-6.

- Manson, R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. Vol. 10 p. 20.
- Martínez, G., W. Senior. 2001. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Venezuela. Vol. 26. N° 2. p.p. 1-9.
- Martínez-Tabche, L., L. Gómez, M. Martínez, Castillo C y A. Santiago 2001. Toxicity of nickel in artificial sediment on acetylcholinesterase activity and hemoglobin concentration of the aquatic flea, *Moina macrocopa*. Journal of Environmental Hydrology p.p. 1-10.
- Márquez, A., W. Senior y G. Martínez. 2000. Concentraciones y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. Uriencia. Vol. 25. N° 6 p.p. 284-291.
- Moran, R. 2001. Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería. Ambiente y desarrollo. Vol. 17 N° 1. p.p. 59-66.
- Norma Oficial Mexicana 001 Ecología. 1996. límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales (Consultada el 22 de Diciembre 2006). (En línea) http://www.queretaro.gob.mx/sedea/PUBLICACIONES/LEYES/pdfs/NOM_001_ECOL_1996.pdf.
- Pacheco, R., L. Candela y L. Roberto. 1998. La contaminación de las aguas subterráneas Moa. Holguín. Cuba. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas, (Consultada 24 de Agosto 2006). (En línea). <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdflib3/rodrigue.pdf>.
- Pagnannelli, M. 2004. Estudio de la movilización de metales pesados Capítulo VIII. p. 51.

Ramírez, A. 2002. Artículo ¿Cuántos pagaremos por el agua? Revista Teorema. Vol. 34. p. 8.

Rodríguez, H. 2001 Universidad Politécnica de Catalunya. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat, (consulta 23 de Mayo 2006). (En línea) www.tdx.cesca.es/TDX-0712101-075103.html.

Rosen, L. 1992. "Effects of Low Levels of Lead Exposure", Science Num. 256. p. 294.

Silva, G. E., M. O. Abel., I. B. Maria de Lourdes y S. I. Gil. 2002. Contaminación ambiental en la región de Atlixco: 1. agua. Terra Latinoamericana. Universidad Autónoma de Chapingo, México Vol. 20, N: 003. p.p. 243-251.

SEMARNAT. 2004. ley de aguas nacionales. (Consultada de día 18 de Octubre 2006). (En línea) <http://www.semarnat.gob.mx>.

Stat graphic (sin fecha) versión 5.1.

Valdés, F. y V. M. Cabrera. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México 1^a Ed. Texas Center for policy studies, CILADHAC, Torreón, Coahuila, México.

Vink, R., H, Behrendt. y W, Salomons. 1999. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point diffuse sources, Water Science Technology p.p.215-223.

World Health Organization. 1992a. Cadmium. Environmental Health Criteria134. (Consultada el 12 de Octubre 2006). (En línea) <http://www.inchem.org/documents>.

World Health Organization. 1992b. Arsenic and Arsenic Compounds. Environmental Health Criteria 112. (Consultada el 13 Octubre 2006). (En línea) <http://www.inchem.org/documents>.

World Health Organization. 1992c. properties of Zinc and their effects. Environmental Health Criteria 128. (Consultada el 13 Octubre 2006). (En línea) <http://www.inchem.org/documents>.

World Health Organization. 1995. Inorganic Chromium. Environmental health criteria 165. (Consultada el 13 Octubre 2006). (En línea) <http://www.inchem.org/documents>.

World Health Organization. 1998. the copper Environmental Health Criteria 213. (Consultada el 17 Octubre 2006). (En línea) <http://www.inchem.org/documents>.