

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Determinación de metales pesados en agua superficial de la mina de
Dolores municipio de Madera Chihuahua**

**POR
YESMIN HORTENSIA CASTRO TORRES**

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. YESMIN HORTENSIA CASTRO TORRES, QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:


M.C. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

VOCAL:

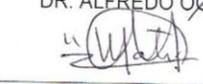

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:


DR. ALFREDO OGAZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2015.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA SUPERFICIAL DE LA
MINA DE DOLORES MUNICIPIO DE MADERA CHIHUAHUA**

POR:

YESMIN HORTENSIA CASTRO TORRES

TESIS:

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

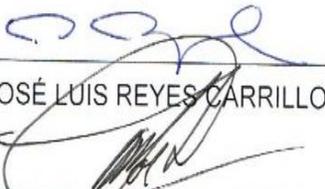
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

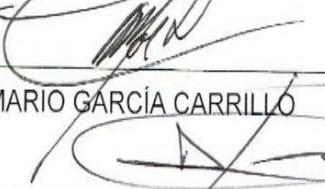
ASESOR PRINCIPAL:


M.C. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

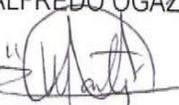
ASESOR:

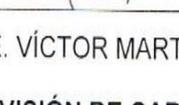

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

ASESOR:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:


DR. ALFREDO OGAZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2015.

AGRADECIMIENTOS.

Principalmente gracias a mi querida Alma Terra Mater por haberme permitido concluir una etapa más en mi vida como es el haber hecho una carrera profesional y hacer de mí una mejor persona.

Con gran gratitud también a todos mis maestros por su gran aporte de conocimientos en cada una de sus clases, por su apoyo e insistencia.

Al Técnico Académico José Silverio Álvarez Valadez por el apoyo brindado en la parte experimental de mi tesis profesional.

A mis asesores de tesis por haber aceptado participar en la elaboración y presentación de esta investigación.

Y sin faltar y no menos importante a mis muy apreciados compañeros de clase que hicieron de mis días el más grato recuerdo.

DEDICATORIA.

Hoy al concluir una etapa más en mi vida doy gracias a dios por la vida que me otorgo, por permitirme seguir disfrutando de ella y poder seguir cumpliendo mis metas, porque hoy soy yo la persona más orgullosa de mi misma, aprendí que no importa que tan difícil sean los obstáculos que se nos presenten, cuando se quiere se puede.

En primer lugar dedico con todo cariño, mis triunfos y logros a mis amados padres Martin y Lupe, en estos momentos tan importantes en mi vida les doy infinitamente las gracias por su gran apoyo, comprensión, consejos y sobre todo por el amor que me han brindado por que sin ello las cosas se tornarían más difíciles. Hoy digo con toda seguridad que cada uno de sus esfuerzos por darme lo mejor ha rendido frutos y así seguirá siendo. Los amo.

A mis cuatro queridos abuelos por sus bendiciones y buenos deseos y a toda mi familia por los ánimos que siempre me dieron y todas las porras.

Y por su puesto a mi hermana Yenny por su apoyo y muestras de cariño en todo momento. Te adoro hermana gracias

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | i |
| DEDICATORIA..... | ii |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2 OBJETIVO..... | 3 |
| 3 HIPOTESIS..... | 3 |
| 4 REVISION DE LITERATURA..... | 4 |
| 4.1 EL AGUA..... | 5 |
| 4.2 LA CONTAMINACIÓN..... | 5 |
| 4.3 LOS METALES PESADOS..... | 6 |
| 4.4 FUNCIONES DE LOS METALES..... | 7 |
| 4.5 BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS..... | 8 |
| 4.6 USOS DE LOS METALES PESADOS Y SU POSTERIOR FUENTE DE CONTAMINACION. .. | 9 |
| 4.7 ORIGEN DE LOS METALES PESADOS AL AMBIENTE ACUÁTICO..... | 10 |
| 4.8 LA MINERÍA..... | 10 |
| 4.9 LA MINERÍA EN MÉXICO..... | 11 |
| 4.10 PASIVOS AMBIENTALES MINEROS..... | 13 |
| 4.11 MINERÍA Y CONTAMINACIÓN: DAÑO A LOS ECOSISTEMAS..... | 14 |
| 4.12 DRENAJE ACIDO DE MINA..... | 15 |
| 4.13 IMPACTOS MINEROS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA..... | 17 |
| 4.14 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS..... | 17 |
| 4.14.1 CIANURO..... | 18 |
| 4.14.2 ARSÉNICO..... | 18 |
| 4.14.3 ZINC Y PLOMO..... | 18 |
| 4.14.4 CADMIO..... | 19 |
| 4.14.5 COBRE..... | 19 |
| 4.14.6 MAGNESIO..... | 19 |
| 4.14.7 MERCURIO..... | 20 |
| 4.14.8 PLOMO..... | 20 |
| 4.14.9 MANGANESO..... | 21 |
| 4.14.10 CLORUROS..... | 21 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.14.11 | SULFATOS. | 21 |
| 4.15 | EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS EN LA SALUD. 22 | |
| 4.15.1 | CADMIO..... | 23 |
| 4.15.2 | COBRE. | 23 |
| 4.15.3 | CIANURO. | 23 |
| 4.15.4 | MANGANESO..... | 24 |
| 4.15.5 | HIERRO. | 24 |
| 4.15.6 | MERCURIO..... | 25 |
| 4.15.7 | PLOMO. | 25 |
| 4.15.8 | ARSÉNICO. | 26 |
| 4.16 | ESPECIACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN EL MEDIO ACUÁTICO..... | 26 |
| 4.17 | IMPACTO DE LOS METALES PESADOS EN LA BIOTA ACUÁTICA..... | 27 |
| 4.18 | INTERACCIONES ENTRE METALES Y ORGANISMOS ACUÁTICOS. | 29 |
| 4.19 | OTRAS ÁREAS DE AFECTACIÓN POR CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERCIALES. .. | 29 |
| 4.20 | CONTAMINACIÓN DE SEDIMENTOS..... | 30 |
| 4.21 | AGUA SUBTERRÁNEA. | 31 |
| 4.22 | MÉTODOS DE REMEDIACIÓN. | 32 |
| 4.23 | INFRAESTRUCTURA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MINERÍA. | 33 |
| 4.24 | LEGISLACIÓN AMBIENTAL. | 33 |
| 4.25 | NORMAS OFICIALES MEXICANAS APLICABLES..... | 36 |
| 4.25.1 | NOM-001-SEMARNAT-1996..... | 36 |
| 4.25.2 | NOM-002-SEMARNAT-1996..... | 36 |
| 4.25.3 | NOM-003-SEMARNAT-1997..... | 36 |
| 4.25.4 | NOM-011- CONAGUA- 2000..... | 36 |
| 4.25.5 | NOM-053-SEMARNAT-1993..... | 37 |
| 4.25.6 | NOM- 058-SEMARNAT- 1993. | 37 |
| 4.25.7 | NOM-120-SEMARNAT-2011..... | 37 |
| 4.25.8 | NOM-141-SEMARNAT-2003..... | 37 |
| 4.25.9 | NOM-127-SSA1-1994..... | 37 |
| 5 | MATERIALES Y METODOS. | 38 |
| 5.1 | VARIABLES EVALUADAS..... | 39 |
| 5.2 | DESCRIPCIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA LOCALIDAD. | 40 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.3 | RASGOS GEOMORFOLÓGICOS, METEOROLÓGICOS Y VEGETACIÓN. | 41 |
| 6 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 42 |
| 6.1 | ANÁLISIS FISCOQUIMICOS. | 42 |
| 6.2 | METALES PESADOS..... | 46 |
| 7 | CONCLUSIÓN. | 49 |
| 8 | BIBLIOGRAFIA..... | 50 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Mina Dolores | 40 |
| Figura 2. | Nivel de elementos Físicoquímicos presentes en el agua superficial de Minera dolores | 45 |
| Figura 3. | Nivel de elementos Físicoquímicos presentes en el agua superficial de Minera dolores | 45 |
| Figura 4. | Límites máximos permisibles me metales pesados y cianuro | 47 |
| Figura 5. | Comparativo de la concentración de metales pesados con la NOM-001-SEMARNAT-1996 | 48 |

INDICE DE CUADROS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1. | Análisis Físicoquímicos | 42 |
| Tabla 2. | Límites máximos permisibles de calidad del agua según la NOM-127-SSA1-1994..... | 43 |
| Tabla 3. | Metales pesados | 46 |
| Tabla 4. | Límites máximos permisibles de metales pesados | 46 |

RESUMEN.

Se identificaron los efectos en la salud y el medio ambiente de cada uno de los metales pesados, la problemática ambiental derivada de la explotación minera y sus principales fuentes de contaminación así como la importancia del agua.

Ya que este recurso es empleado para riego a baja escala, abrevaderos y pesca doméstica en la comunidad de Dolores Chihuahua por lo que es de vital importancia que se encuentre con los parámetros de calidad deseables para el consumo humano y vida acuática.

Por lo que se tomaron ocho muestras de agua de diversos puntos del arroyo el Chabacan cercano a la mina y posteriormente fueron analizados en el laboratorio para la determinación de metales pesados tales como Cadmio, Cromo, Plomo, Zinc y Arsénico y parámetros fisicoquímicos. Estos resultados fueron comparados con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994

Se tuvo como conclusión que los valores obtenidos en el análisis rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma, por lo que existe un severo problema de contaminación en los cuerpos de agua.

PALABRAS CLAVE: Metales pesados, Minería, Contaminación, Agua, Salud.

1 INTRODUCCIÓN.

La contaminación de las aguas a causa del vertido incontrolado de Residuos industriales potencialmente tóxicos y peligrosos se ha convertido en los últimos años en uno de los problemas más preocupantes de los países industrializados. La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, son los efectos negativos que se producen por la incorrecta gestión de los residuos. Los proceso de contaminación, una vez iniciados, no son fáciles de eliminar y persisten durante muchos años. Las posibles soluciones técnicas de descontaminación son de elevado coste, difíciles de aplicar (Navarro *et al.*, 1996a)

La contaminación de las aguas naturales por metales pesados llega a ser inevitable debido a la industrialización y urbanización. Entre los metales de mayor importancia toxicológica en ambientes acuáticos figuran: mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y zinc (Zn), pues para la mayoría de los organismos la exposición por encima de una concentración umbral puede ser extremadamente tóxica, provoca alteraciones estructurales, morfológicas y hasta la muerte celular en la biota ya que estos elementos son de rápida bioacumulación (Argota *et al.*, 2012). Los efectos tóxicos no se detectan fácilmente a corto plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaba manifestando (Buenfil y Flores, 2007)

En el ser humano una exposición aguda puede darse a través de agua de consumo, alimentos o exposición ocupacional. Presentándose como síntomas el síndrome gastrointestinal, disfunción renal, neurotoxicidad, entre otros. Una exposición prolongada se puede dar a través de agua de consumo, vía aérea o por contacto con suelos contaminados. Los síntomas serian el desarrollo de distintos tipos de cáncer; inflamación crónica de las vías respiratorias;

insuficiencia renal; dermatitis; síntomas neurológicos; daño reproductivo (Ramos *et al.*, 2005)

Las aguas superficiales que se infiltran, transportan sustancias peligrosas a los acuíferos, así una causa importante de contaminación del agua subterránea se asocia a la actividad minera, ya que las sustancias tóxicas como los metales pesados que se utilizan normalmente en todo el proceso de explotación, a menudo se liberan en el medio ambiente (Mendoza *et al.*, 2006)

Las minas generan un drenaje ácido y es tal vez el impacto ambiental más grave de la actividad minera, provoca daños ambientales debido a la movilidad de los contaminantes metálicos, especialmente en el agua y los suelos (Gama, 1990)

Dado el riesgo potencial para la salud humana y los ecosistemas asociados con la toxicidad de metales pesados, se debe prestar especial atención a instalaciones mineras y las manifestaciones de su operación en los cursos de agua (Bidone *et al.*, 2001).

2 OBJETIVO.

Determinar la concentración de metales pesados tales como As, Cd Zn, Pb y Cr en el agua superficial de la mina de Dolores Chihuahua y comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

3 HIPOTESIS.

Existen niveles de metales pesados en el agua que rebasan los límites máximos permisibles por la NOM-001-SEMARNAT-1996y están causando un grave problema de contaminación.

4 REVISION DE LITERATURA.

El agudo deterioro de los ecosistemas impone a la sociedad a adoptar no sólo medidas de reordenamiento ecológico, sino también hacer estudios que permitan comprender en qué medida y cuáles actividades del hombre contribuye a tal deterioro y que, al mismo tiempo, ayuden a evaluar si está en peligro la salud del hombre (López y Lechuga, 2001)

La contaminación de las aguas superficiales en México es un problema que ha sido objeto de estudio en los últimos años (Guzmán *et al.*, 2011).

Este problema se da por sustancias extrañas que deteriora la calidad del agua. Metales y minerales peligrosos pueden surgir del natural, así como fuentes antropogénicas (Rashmi Verma y Dwivedi., 2013).

Los metales pesados se encuentran como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas y moverse hacia el agua superficial o subterránea. No son degradados fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Mancilla *et al.*, 2012). Aunque los contaminantes presentes en las aguas superficiales constituyen una fuerza selectiva en las comunidades bacterianas, existen organismos que pueden llegar a ser resistentes a diferentes xenobióticos como es el caso de *Enterococcus faecalis* que es resistente a metales pesados y pueden ser empleadas para biorremediación (Mondragón *et al.*, 2011).

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta (Prieto *et al.*, 2009).

El análisis de la concentración por metales pesados nos indica exclusivamente la cantidad de elemento contenido en el suelo, pero no indica ni su disponibilidad ni su movilidad, parámetros esenciales para determinar el grado de contaminación (Gonzalez *et al.*, 2003).

4.1 EL AGUA.

De todos los recursos naturales, el agua es, indiscutiblemente, el más esencial y valioso. La vida comenzó en el agua y la vida se nutre con agua. El noventa y siete por ciento del agua del planeta se encuentra en los océanos. Sólo el 2,5% del agua del mundo es agua dulce no salina. Hay organismos, tales como anaerobios, que pueden sobrevivir sin oxígeno. Pero ningún organismo puede sobrevivir por mucho tiempo sin agua. Es un disolvente universal y como disolvente que proporciona el equilibrio iónico y nutriente, que soporta todas las formas de vida (Abdul *et al.*, 2012).

Como las poblaciones humanas y las economías crecen, la demanda mundial de agua dulce ha aumentado rápidamente. Además de amenazar el suministro de alimentos humanos, la escasez de agua reduce gravemente la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, mientras que la contaminación del agua facilita la propagación de enfermedades humanas graves y disminuye la calidad del agua. Otros factores importantes que limitan la disponibilidad de agua incluyen la precipitación, la temperatura, las tasas de evaporación, la calidad del suelo, tipo de vegetación y el escurrimiento (Pimentel *et al.*, 2004).

4.2 LA CONTAMINACIÓN.

La contaminación se produce cuando un elemento o una sustancia que está presente en más del (fondo) de las concentraciones naturales como resultado de la actividad humana tiene un efecto negativo neto en el ambiente y sus componentes (Popescu y Stanca, 2008).

La base de la definición del concepto de “contaminación ambiental” es de carácter químico toxicológico. Se refiere a la presencia de ciertos elementos y compuestos químicos en cantidades excesivas en un determinado medio, especialmente aquellos elementos disueltos o en suspensión en el agua, puesto que el agua es el principal medio de transporte de sustancias alimenticias; a su vez es la principal sustancia que es renovada permanentemente en el cuerpo de los seres vivos (vegetales o animales) y es también el principal constituyente de los mismos. Las aguas contaminadas resultan nocivas y hasta letales para la subsistencia de la vida en el medio ambiente en consideración (Ricaldi, 2009).

4.3 LOS METALES PESADOS.

El término "metales pesados" se refiere a cualquier elemento metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso, incluso a baja concentración. Los metales pesados son generalmente un término colectivo que se aplica al grupo de los metales y metaloides con densidad atómico superior a 4 g / cm^3 o 5 veces mayor que el agua.

Son muy perjudiciales para los seres vivos. Estos metales pesados se producen como constituyentes naturales de la corteza terrestre y no son biodegradables y por lo tanto tienden a ser contaminantes a los seres vivos en el ambiente. Entran en el sistema del cuerpo a través de los alimentos, el aire y el agua y tienden a bioacumularse durante un período de tiempo largo (Obodai *et al.*, 2011).

Los metales pesados son elementos presentes en el ecosistema, que generalmente se encuentran en condiciones naturales a bajas concentraciones; sin embargo, las actividades humanas han liberado activamente estos agentes al medioambiente, de manera que influyen dentro de los ciclos geoquímicos de dichos metales, donde tienen gran relevancia los ecosistemas acuáticos (Argota *et al.*, 2012)

Ecotoxicólogos y científicos ambientales usan el término "metales pesados" para referirse a los metales que han causado problemas ambientales. Los metales que se han estudiado ampliamente las últimas décadas son: Cd, Hg, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, V, Ti, Fe, Mn, Ag y Sn (estaño). Algunos metales que han recibido más atención son Hg, Cd y Pb, debido a sus propiedades altamente tóxicas y sus efectos sobre el medio ambiente y los organismos vivos (Valavanidis y Vlachogianni, 2003).

Estos elementos no son tóxicos por sus características esenciales, lo que los convierte en tóxicos es la concentración de los mismos en los ecosistemas; muchos de estos metales son necesarios para que los seres vivos puedan funcionar adecuadamente (por ejemplo el Hierro necesario para la formación de hemoglobina) pero en concentraciones fuera de los niveles naturales y normales pueden ocasionar más perjuicios que beneficios. El problema con la minería es que su accionar provoca que los niveles normales se alteren, y en muchos de los casos se salgan de los niveles admisibles provocando en muchas ocasiones daños irreversibles (Nolasco, 2011).

4.4 FUNCIONES DE LOS METALES.

Los metales se separan en lo esencial y lo no esencial de las clases A y B, y en una clase de límite:

A: El calcio (Ca), Magnesio (Mg), manganeso (Mn), potasio (K), sodio (Na), estroncio (Sr)

B: El cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), plata (Ag)

Límite: Zinc (Zn), plomo (Pb), hierro (Fe), cromo (Cr), cobalto (Co) níquel (Ni), arsénico (As), vanadio (V), estaño (Sn).

Los metales influyen en diversas formas en el organismo:

Fe (hemoglobina), Cu (pigmentos respiratorios), Zn (enzimas), Co (vitamina B12), Mo y Mn (enzima). Del sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca), desempeñan

papeles biológicos importantes. Los metales de transición Fe, Cu, Co y Mn, que son esenciales, pero puede ser tóxico en altas concentraciones. Los metales tales como Hg, Pb, Sn, Ni, Se, Cr y As que generalmente no se requiere para la actividad metabólica y son tóxicos para los organismos vivos en concentraciones muy bajas (Valavanidis y Vlachogianni, 2003).

4.5 BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS.

La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un elemento químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho elemento químico en el ambiente (Prieto *et al.*, 2009).

El efecto tóxico de los metales pesados, que no se utilizan en la síntesis de nuevas sustancias útiles para los organismos, radica en su capacidad para ser almacenado en enzimas y desplazar elementos químicamente similares. De esta forma biofundamental reacciones químicas están bloqueadas. Tal acumulación de metales pesados puede dañar el propio organismo o puede ser transmitida al nivel trófico de la cadena alimentaria, en un proceso tóxico similar. Su posterior incorporación a la cadena alimentaria, con magnificación biológica, al más alto nivel trófico, arriesga la estabilidad de la biota en sí y también da lugar a la interrupción de los ciclos biogeoquímicos del ecosistema (Ahmad *et al.*, 2010).

La extensión de la bioacumulación de los metales es dependiente de la cantidad total, la biodisponibilidad de cada metal en el medio ambiental y la vía de los mecanismos de captación, almacenamiento y excreción (Valavanidis y Vlachogianni, 2003).

Los residuos industriales, la estructura geoquímica y la minería de metales crean una fuente potencial de contaminación por metales pesados en el medio ambiente acuático. Bajo ciertas condiciones ambientales, los metales pesados

pueden acumularse a una concentración tóxica y causar daño ecológico (Öztürk *et al.*, 2008).

4.6 USOS DE LOS METALES PESADOS Y SU POSTERIOR FUENTE DE CONTAMINACION.

- Cromo (Cr): refrigerantes industriales, fabricación de sales de cromo, curtido de cuero
- El plomo (Pb): baterías de plomo, pinturas, desechos electrónicos, operaciones de fundición, de carbón basados centrales térmicas, la cerámica, la industria del brazalete
- El mercurio (Hg): plantas de cloro-álcali, centrales térmicas, lámparas fluorescentes, residuos hospitalarios (termómetros dañados, barómetros, esfigmomanómetros), aparatos eléctricos, etc.
- Arsénico (As): geogénicas / procesos naturales, las operaciones de fundición, plantas de energía térmica, combustible
- Cobre (Cu): Minería, galvanoplastia, las operaciones de fundición
- Níquel (Ni): Las operaciones de fundición, centrales térmicas, industria de las baterías
- Cadmio (Cd): fundición, residuos de pilas, residuos electrónicos, residuos de pintura, incineradores y la quema de combustible
- Molibdeno (Mo): El catalizador agotado
- Zinc (Zn): fundición, galvanoplastia

(Verma y Dwivedi, 2013).

Las actividades geológicas naturales, como desgastes de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados. También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados (Prieto *et al.*, 2009).

4.7 ORIGEN DE LOS METALES PESADOS AL AMBIENTE ACUÁTICO.

Los Metales se introduzcan al medio acuático por deposición atmosférica, por la erosión de la matriz geológica, o de fuentes antropogénicas, tales como efluentes industriales y residuos mineros. Los residuos industriales, la estructura geoquímica y la minería de metales crean una fuente potencial de contaminación por metales pesados en el medio ambiente acuático (Öztürk *et al.*, 2008).

Los metales pesados ingresan al ambiente acuático principalmente por descargas directas de fuentes industriales, siendo la industria minera una de las más importantes (Gómez *et al.*, 2004b)

4.8 LA MINERÍA.

La minería es un proceso de remoción de materiales de la corteza terrestre. Estos depósitos han estado allí por millones de años, comportándose como un depósito natural dentro de los ciclos biogeoquímicos de cada elemento en particular (Olivero, 2013).

La minería es una actividad económica que se distingue por depender de la extracción de recursos no renovables y finitos, y porque su localización está sujeta a la presencia de yacimientos minerales, cuya ubicación, tipo y riqueza dependen, a su vez, de los rasgos geológico-tectónicos que definen cada provincia metalogenética, determinando a su vez los ritmos de explotación y los métodos de extracción. La antigüedad de más de cuatro siglos en la explotación de estos recursos, metales preciosos principalmente, ha conferido a la minería el carácter de una actividad de gran tradición, base de la evolución económica nacional, desde la Colonia hasta finales del siglo XIX (Saavedra y Sánchez, 2008).

4.9 LA MINERÍA EN MÉXICO.

México es un país minero y lo ha sido a lo largo de su historia. La Nación cuenta con recursos minerales de importancia mundial que deben ser aprovechados de forma sustentable, potenciando el desarrollo del sector a través del fortalecimiento de las actividades de exploración, explotación y tratamiento de los minerales. El país se ubica entre los primeros diez lugares de producción de 16 minerales a nivel mundial de acuerdo con datos de 2012, es líder en la producción de plata, segundo de bismuto y fluorita, tercero de celestita y wollastonita, (Secretaria de Economía, 2014). A pesar de los impactos que conlleva la minería ha sido tradicionalmente una actividad de capital importancia para la economía de México desde tiempos precolombinos (González y Camprubí, 2010).

México es rico en una amplia variedad de minerales. La actividad minera se concentra principalmente en la explotación de la plata (26 por ciento), el oro (22 por ciento), el cobre (18 por ciento), el zinc (7 por ciento) y el hierro (3 por ciento) (datos a 2011 del Servicio Geológico Mexicano, 2012). En cuanto a la producción mundial de minerales, en 2011 México ocupó el primer lugar en plata y el décimo en oro. El 66% del total de los proyectos de exploración pertenecen a minerales como el oro y plata (Secretaria de Economía, 2012).

Aunque existen importantes empresas mineras nacionales como Grupo México y Peñoles, la mayor parte de la actividad minera en México la realizan empresas extranjeras, quienes en 2011 manejaban 803 proyectos. Las empresas canadienses son las que ostentan una mayor presencia en el país, cabe destacar que al mes de diciembre de 2013 se registró un total de 266 empresas con capital extranjero, operando 870 proyectos en México. Del total de empresas extranjeras, 185 (69.5%) tienen sus oficinas centrales en Canadá, 44 (16.5%) en Estados Unidos, 9 en China (3.4%) y 6 (1.7%) en Japón. Además, se tenían 4 (1.5%) de Australia, 4 de Corea, 4 del Reino Unido, 2 (0.8%) de Chile y 2 de India y con una empresa (0.4%) de Bélgica, Brasil, España, Italia, Luxemburgo y Perú (Servicio Geológico Mexicano, 2015).

Si bien la actividad minera se desarrolla a lo largo de prácticamente todo el país, cuatro estados concentran el 73 por ciento de la producción: Sonora (27.5 por ciento), Zacatecas (24.9 por ciento), Chihuahua (11.6 por ciento) y Coahuila (9 por ciento). Otros estados con importante actividad minera son: Durango, Sinaloa, Jalisco, Oaxaca, Guerrero y Nayarit. El tipo de minería realizado en México incluye la tradicional de vetas subterráneas y la minería a gran escala que involucra distintos métodos de excavación que, en común, contemplan la remoción de grandes cantidades de material, quedando expuesta a la intemperie la misma excavación (Fuente, 2012).

La actividad minera ha sido un factor fundamental de desarrollo en los 200 años de vida independiente de México, de tal suerte que el país se forjó, en muchos aspectos, como resultado de la minería (Gaytán y Benita, 2014)

Históricamente Dolores ha sido uno de los minerales más ricos en el estado de Chihuahua, famoso sobre todo por la explotación de oro, aunque lo intrincado de su localización siempre ha dificultado su explotación, sin embargo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX fue que tuvo su mayor auge la explotación minera y con él su población. La explotación minera decayó por ser incosteable hasta aproximadamente 2005 cuando se reinició la explotación minera por una compañía de capital canadiense (INEGI, 2010).

Las cuantiosas cifras alcanzadas por la actividad minera, como aporte a la economía del país, no deben desvincularse de la problemática ambiental, que se genera en todas sus fases, las que causan impactos ambientales, tanto a la comunidad como al entorno donde se desarrollan los procesos. Las actividades mineras suelen causar un severo impacto en los componentes suelo, agua, aire con metales pesados como otros aspectos vinculados a la morfología, flora y fauna sobreexplotación de mantos acuíferos, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, producción de ruido y vibraciones, daños a la arqueología del lugar, en la economía de la región y sus aspectos sociales. El cese de las actividades mineras trae aparejada su consecuencia, más conocida como la generación de pasivos ambientales (Rivera, 2010).

4.10 PASIVOS AMBIENTALES MINEROS.

En la actualidad existen muchos pasivos ambientales, los cuales son la consecuencia del impacto ambiental negativo dejado por las minas en abandono (sin un plan de cierre) y por las actividades minero-metalúrgicas realizadas en el pasado, las cuales se caracterizan por la permanente contaminación del medio físico (agua y suelo), donde no existía compañía minera responsable de aplicar tecnologías de limpieza mediante sistemas de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento que involucren el tratamiento de remediación de drenaje ácido de mina y la mitigación de la contaminación de las aguas y el suelo, que permitieran dar solución al tratamiento de aguas ácidas, provenientes de los efluentes generados por las minas en abandono y las actividades minero-metalúrgicas, que son la principal fuente de contaminación de las aguas de cuencas de los ríos, siendo éste el principal factor que afecte la calidad de vida de la población (Romero *et al.*, 2008).

Los restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población y el ecosistema. Estos constituyen, hoy en día, pasivos ambientales mineros, que impactan negativamente en la calidad de las aguas, de los suelos y del aire de los ecosistemas que los contienen. El material depositado en escombreras y diques de colas presenta concentraciones de metales que en el momento de la explotación no tenían valor económico. En particular, pirita y arsenopirita constituyen los sulfuros más abundantes en estos depósitos (Kirschbaum *et al.*, 2012).

4.11 MINERÍA Y CONTAMINACIÓN: DAÑO A LOS ECOSISTEMAS.

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del ecosistema (Guzmán *et al.*, 2011).

La minería es una industria altamente contaminante, afecta de manera directa al agua, suelo y aire, lo que se traduce con el tiempo en efectos sobre las personas, animales, plantas etc. es decir afectan a los ecosistemas con las implicaciones ambientales de la actividad minera.

Esta actividad afecta principalmente el agua, ya que para poder separar los metales de la roca necesita utilizar agua en grandes cantidades, agua que luego del proceso productivo se encuentra contaminada con elementos como cianuro y metales pesados tales como cadmio, cobre, arsénico, plomo, mercurio, hierro etc.

Cuando el agua contaminada proveniente de las minas toca los suelos, estos la absorben y junto a ella, absorben todos sus contaminantes; es de esta manera que los suelos al absorber todo este tipo de sustancias químicas pesadas, se alteran y dejan de tener la misma capacidad de producción y calidad, (Nolasco, 2011).

Las diversas formas de explotación minera constituyen una fuente de contaminación que, en ocasiones, puede llegar a niveles significativos. Dependiendo de los métodos, equipos, minerales, volúmenes y disposición de los materiales estériles o relaves, afectan el suelo, el aire y el agua, por separado o en forma combinada. El agua es el receptor último de todos los agentes físico-químicos que se distribuyen por el aire o sobre el suelo.

Mención especial debe hacerse del caso de las plantas fundidoras y refinadoras, que contaminan los cuerpos de agua tanto por vía aérea, con la dispersión de los humos y de los vapores sulfurosos, como por descarga directa, tanto a los cauces(Escobar, 2002).

4.12 DRENAJE ACIDO DE MINA.

Los metales pesados ingresan al ambiente acuático principalmente por descargas directas o indirectas de fuentes industriales, siendo la industria minera una de las más importantes (Gómez *et al.*, 2004a).

Los estudios que se han realizado sobre el impacto de la actividad minera por lo general, muestran que el fenómeno más extendido en estos sitios es drenaje de mina ácido que se debe a la oxidación de sulfuros metálicos (Bitton *et al.*, 2007).

La liberación de metales de los lugares mineros ocurre, principalmente, a través de drenaje ácido de mina y erosión de desechos en pilas y depósitos de relaves. Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay acceso de oxígeno, se obtienen resultados de drenaje ácido de mina (DAM). Dependiendo de la naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este DAM contendrá elevados niveles de metales pesados.(Romero *et al.*, 2008).

Los drenajes ácidos de mina, por lo general, contienen además de sulfato elevados contenidos de metales disueltos, tales como el cobre, y en algunos casos van acompañados de una gran cantidad de sólidos en suspensión (Romero *et al.*, 2008). Puede ser considerado como un contaminante potencial principal en los sistemas acuáticos, ya que promueve una disminución en el pH natural, altera Eh (potencial de oxidación / reducción), y afecta a la conductividad (Arcega *et al.*, 2010).

Los impactos ambientales de la actividad minera que se generan en las etapas de exploración, explotación y fundición, son:

- Destrucción de la vegetación,
- Destrucción de la capa del suelo,
- Generación de jales, escurrimientos y arrastres de residuos,
- Oxidación de minerales insolubles y formación de sustancias solubles con alto contenido de metales (drenaje ácido)
- Descarga de lixiviados que contienen iones metálicos y reactivos tóxicos.

Todos estos impactos afectan directa o indirectamente los cuerpos de agua tanto superficial como subterránea (Carrera y Domínguez, 2012).

Los efectos de esta contaminación ambiental y bioacumulación parecen estar poniendo en grave peligro la salud a nivel global. Muchos de las sustancias o elementos químicas que contaminan nuestro cuerpo son tóxicas también para otros seres vivos (García *et al.*, 2012).

Los jales que contienen sulfuros metálicos residuales como la pirita (FeS_2), galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2) y arsenopirita (FeAsS). La oxidación de estos sulfuros metálicos puede derivar en la generación de drenaje ácido, que son soluciones que se caracterizan por bajos valores de pH y altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT) disueltos.

Los EPT, al transportarse, pueden convertirse en un problema ambiental severo al contaminar suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas

Aunque los jales no sean generadores de drenaje ácido, cuando son abandonados sin implementar controles ambientales, la acción del viento y la lluvia pueden causar su dispersión al entorno inmediato con la consecuente afectación del suelo, sedimentos y cuerpos de agua debido a las altas concentraciones totales de EPT contenidos en estos residuos (Gutiérrez *et al.*, 2007).

4.13 IMPACTOS MINEROS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.

El procesamiento de minerales produce una cantidad de residuos y productos que pueden causar la contaminación del agua. La minería rompe y comprime la roca, creando túneles para que el oxígeno, aire y microbios, reaccionen con los minerales. En consecuencia, las rocas pueden generar ácido, movilizándose otros muchos constituyentes químicos, los que podrían contaminar cuerpos de agua por décadas o incluso cientos de años después del cierre de la mina. 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, formando lo que se conoce como drenaje ácido de mina. Este material muchas veces contiene un pH muy alto (10 a 12), así como concentraciones potencialmente tóxicas de numerosos metales y no metales, radiactividad, cianuro y compuestos orgánicos relacionados, lo que podría dañar la calidad de agua y organismos acuáticos (Moran, 2001).

4.14 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS.

La biota acuática bioacumula principalmente cadmio, mercurio y manganeso. La biodisponibilidad y la bioconcentración de los metales son significativamente superiores en el medio acuoso respecto del terrestre y de la atmósfera.

Una lista de principales metales de interés toxicológico puede ser el aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Estaño, Hierro, Litio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Selenio, Talio, Zinc. (Ramos *et al.*, 2006).

Hay algunos minerales que son útiles para la salud humana y animal en pequeñas dosis pero que en mayores proporciones éstos son tóxicos. Zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso, etc. (Verma y Dwivedi, 2013).

4.14.1 CIANURO.

Elemento principal utilizado para separar el oro de la roca en las minas a cielo abierto por lixiviación, el cianuro es extremadamente toxico para las plantas y los animales, “puede ser absorbido a través de la piel, ingerido o aspirado. Concentraciones tan bajas como 0.1 miligramos por litro (mg/l) son letales para especies acuáticas sensibles. Concentraciones sub-letales también afectan los sistemas reproductivos, tanto de los animales como de las plantas (Nolasco, 2011).

4.14.2 ARSÉNICO.

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico (Nolasco, 2011).

4.14.3 ZINC Y PLOMO.

Zn es el segundo metal traza más importante en el cuerpo después del hierro, participando en la función biológica de varias proteínas y enzimas. A pesar de ser un elemento traza esencial, zinc es conocido por ser uno de los metales pesados tóxicos a la mayoría de los organismos, por encima de ciertas

concentraciones y período de exposición. El plomo (Pb), por su propia cuenta se ha descubierto que no es tóxico para las plantas (Aibuedefe *et al.*, 2010).

A diferencia de zinc, el plomo no se sabe que tiene una función esencial en los organismos vivos, pero los potenciales tóxicos de Pb y Zn son diferentes. Sin embargo, se sabe muy poco sobre el control de los niveles intracelulares de Pb y Zn en los animales acuáticos (Venkatarmana *et al.*, 2012).

4.14.4 CADMIO.

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre, en combinación con el Zinc. El Cadmio también surge como inevitable subproducto de las extracciones de cobre, zinc y plomo. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas (Nolasco, 2011).

4.14.5 COBRE.

El cobre es un elemento traza esencial. Tanto el ser humano como los demás mamíferos asimilan el 30% del cobre contenido en los alimentos por vía estomacal, del cual aproximadamente del 5% es realmente resorbido. El resto se elimina nuevamente por vía biliar. Esta sustancia se acumula en el hígado, en el cerebro y en los riñones (Ramos *et al.*, 2006).

4.14.6 MAGNESIO.

Debido a que el manganeso no se encuentra puro en la naturaleza, es necesario triturarlo y utilizar técnicas físicas para separar el metal de interés de las rocas, aquí es donde se generan residuos de granulometría fina (jales).

La facilidad con la que los jales se dispersan hacia su entorno depende de la topografía es decir de la longitud e inclinación de las pendientes de las laderas, así como de la frecuencia e intensidad de las lluvias y viento.

Uno de los impactos ambientales resultado de esta actividad industrial, es la contaminación del agua, ya que se producen aguas residuales derivadas de la etapa de extracción. Esto provoca el incremento de la concentración de manganeso en el medio circundante (Carrera y Domínguez, 2012).

4.14.7 MERCURIO.

El mercurio es un elemento altamente tóxico que biomagnifica a través de la cadena alimentaria acuática, poniendo en riesgo los humanos que consumen cantidades importantes de peces. Tiene efectos a largo plazo, los biomarcadores de exposición, en humanos son en el cabello y la sangre (incluyendo la sangre del cordón umbilical) (BioOne, 2007).

Al encontrarse las minas cerca a los cuerpos de agua, el metal llega a los sedimentos desde las corrientes o la atmósfera, allí es transformado en metilmercurio, su forma más tóxica, e incorporado a los peces, el alimento de los pobladores, acumulándose en estos últimos (Olivero, 2013).

4.14.8 PLOMO.

El plomo ocasiona daños al medio ambiente, se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo.

Al incrustarse en las cadenas alimenticias la contaminación y sus consecuentes daños se vuelve un círculo vicioso, con lo que no solo se afecta a las personas que viven en las cercanías de los lugares contaminados, también se podría afectar a la salud de las personas que indirectamente se ven relacionadas por las cadenas alimenticias (Nolasco, 2011).

4.14.9 MANGANESO.

Es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, sino que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones. Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro (Carrera y Domínguez, 2012).

4.14.10 CLORUROS.

En la Guía para la Calidad del Agua Potable publicada en 1993 no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud, pero se confirma que concentraciones superiores a 250 mg/L confieren al agua un sabor perceptible según el catión asociado, conservando este valor basado en consideraciones gustativas. En México existe la normatividad NOM-127-SSA1-1994 en la que se indican los parámetros permisibles del agua para consumo humano, estableciendo un valor de 250 mg/L para la concentración de cloruros (Cl⁻) (García *et al.*, 2011).

4.14.11 SULFATOS.

Los sulfatos pueden tener su origen en que las aguas por la contaminación con aguas residuales industriales. El contenido de este no suele presentar problemas de potabilidad para las aguas de consumo, pero, contenidos superiores a 300 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo. Por esto, la norma para agua potable establece como valor orientador de calidad 200 mg/L, y como límite máximo tolerable 400 mg/L (Aguilera *et al.*, 2010).

4.15 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS EN LA SALUD.

En la actualidad los riesgos a la salud por problemas ambientales son cada vez mayores y con una característica distintiva, pues no son simplemente un resultado de exposiciones localizadas de formas tradicionales, sino que constituyen el resultado de presiones más amplias sobre los ecosistemas (García *et al.*, 2012).

Esta situación se agrava en los grupos de mayor vulnerabilidad, como son los niños y las personas de tercera edad (Chamizo y Mora, 2006).

Algunos de los efectos que producen los metales pesados en la salud humana son anormalidades cromosómicas, daños en los riñones y cerebro; alteraciones dérmicas (melanosis), neurológicas (convulsiones, coma), intestinales (diarrea, vómito), hepáticas (cirrosis), sanguíneas (anemia) (Carrera y Domínguez, 2012).

Las enfermedades transmitidas por el agua sigue siendo una causa importante de muerte en muchas partes del mundo, particularmente en los niños, y también es una limitación económica significativa en muchos de subsistencia economías. El agua potable se deriva de dos fuentes básicas: las aguas superficiales, como ríos y embalses, y las aguas subterráneas. Toda el agua contiene contaminantes naturales y en mayor o menor grado, la contaminación antropogénica. La calidad del agua potable y los posibles riesgos para la salud asociados varían según el contaminante y la concentración presentes (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003).

4.15.1 CADMIO.

La ingestión de cadmio por los humanos tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en Cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración del mismo en el organismo. Ejemplos son, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

El contacto con cadmio puede causar:

- Daño en los riñones
- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer entre otros.

(Nolasco, 2011).

4.15.2 COBRE.

Las intoxicaciones por ingesta del cobre son raras, dado que produce vómitos. Los niños menores están mucho más expuestos (peligro de muerte) cuando hay un alto contenido de cobre en el agua potable. La muerte se presenta por cirrosis hepática (Carrera y Domínguez, 2012).

4.15.3 CIANURO.

Una dosis letal de cianuro para los seres humanos se encuentra “de 1 a 3 mg/kg del peso corporal, en caso de ser asimilados, de 100-300 mg/kg, y de. Esto significa que una porción de cianuro más pequeña que un grano de arroz sería suficiente para matar a un adulto. La exposición a largo plazo a una dosis sub-letal podría ocasionar:

- Dolores de cabeza,
- Pérdida del apetito,
- Debilidad, náuseas, vértigo e irritación de los ojos y del sistema respiratorio (Nolasco, 2011).

4.15.4 MANGANESO.

Otro metal importante es el manganeso que es uno de los 3 elementos trazas tóxicos esenciales, los cual es necesario para la supervivencia de los seres humanos pero también toxico cuando está presente en elevadas concentraciones. En exceso puede causar:

- Desordenes en el sistema nervioso central
- Disturbios emocionales (Ramos *et al.*, 2006).

4.15.5 HIERRO.

Es un uno de los elementos esenciales en el organismo, el cuerpo humano absorbe hierro de animales más rápido que de las plantas. El hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

Pero en contacto por encima de los niveles permitidos, puede provocar:

- Conjuntivitis,
- Coriorretinitis, y
- Retinitis (Nolasco, 2011).

4.15.6 MERCURIO.

Los estudios actuales sugieren que la exposición al mercurio podría aumentar el riesgo de efectos:

- Cardiovasculares adversos (enfermedad coronaria, infarto de miocardio, la cardiopatía isquémica)
- Aumento de la presión arterial y la hipertensión, y el ritmo cardíaco alterado (BioOne, 2007).

Los órganos principales en donde el mercurio es acumulado son el cerebro y el riñón. El período de vida media del mercurio en el organismo, es decir, el tiempo necesario para que la cantidad en el mismo disminuya a la mitad es de 30 a 60 días(Olivero, 2013).

4.15.7 PLOMO.

El Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua, puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños

Los niños absorben mayores cantidades de plomo por unidad de masa corporal que los adultos (hasta un 40%). (Nolasco, 2011).

4.15.8 ARSÉNICO.

La contaminación de arsénico en el agua tiene un enorme impacto en la salud humana y el presente aumento del riesgo de enfermedades, tales como:

- Lesiones en la piel
- Irritación del estómago e intestinos
- Disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos
- Cáncer de piel, cáncer de vejiga, riñón y pulmón
- Infertilidad y abortos en mujeres
- Perturbación en el corazón (Farahmand *et al.*, 2011).

Para el caso de los animales los metales pesados de no ocasionar la muerte pueden ayudar a desarrollar una serie de problemas fisiológicos y metabólicos entre los cuales se puede mencionar:

- Cambios Histológicos o Morfológicos en los tejidos
- Cambios en la fisiología como supresión del crecimiento y desarrollo
- Cambios en la bioquímica del organismo tales como en la actividad enzimática y química de la sangre
- Trastornos de comportamiento
- Cambios en la reproducción (Nolasco, 2011).

4.16 ESPECIACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN EL MEDIO ACUÁTICO.

La composición química del agua tiene influencias en gran medida a la especiación de metales pesados. En agua de río (que en su mayoría es turbia) gran parte de los metales se une a las partículas orgánicas e inorgánicas. Otros factores que influyen en la especiación son: pH, dureza, y la materia orgánica

disuelta. Grandes cantidades de complejos orgánicos disueltos y partículas con metales pesados son transportados a grandes distancias para terminar en los sedimentos de los estuarios. Algunos metales, tales como Cd, pueden ser liberados de sus complejos orgánicos mediante el aumento de Cl (cloro) concentraciones, que forman complejos de cloruro.

Algunos metales están disponibles para la absorción en los organismos de solución sólo como iones libres, mientras que otros son transportados sobre las membranas biológicas como complejos inorgánicos. En experimentos con Cu y Cd su toxicidad (y su biodisponibilidad) se correlaciona con la concentración de metal libre. El Hg se transporta sobre las membranas lipídicas, complejos de cloruro principalmente sin carga. Los sedimentos son ambiente químico más complejo que el agua y no hay métodos fiables para evaluar la biodisponibilidad de los metales en tales medios (Valavanidis y Vlachogianni, 2003).

4.17 IMPACTO DE LOS METALES PESADOS EN LA BIOTA ACUÁTICA.

Química toxicológica y enfoques ecológicos han sido ampliamente estudiados en la evaluación de impactos de la contaminación por metales pesados en el medio acuático. Los organismos acuáticos se han utilizado en el control comparativo de efectos de contaminación en diferentes sistemas y para localizar las fuentes de sustancias tóxicas, en el sentido de la vida de la salud y la contaminación ambiental (Öztürk *et al.*, 2008).

El Chironomidae son frecuentemente las especies más ricas y abundante del grupo de macroinvertebrados de vida dentro de los ecosistemas de agua. Se han observado que tienen una amplia gama de respuestas a la contaminación del agua. Estudios a nivel de especies de quironómidos fluviales,

han demostrado que son sensibles a los metales y la contaminación orgánica (Wright y Burgin, 2009).

La contaminación Provoca estrés ecológico en los cauces receptores, tales como: agotamiento del oxígeno disuelto; desaparición de especies acuáticas (Chamizo y Mora, 2006).

En los últimos años, mucha atención se ha dirigido a las concentraciones de algunos elementos inorgánicos en peces de agua dulce y otros organismos acuáticos, las especies comerciales y comestibles han sido ampliamente investigadas para comprobar aquellos peligros para la salud humana.

La carpa común, *Cyprinus carpio* L., es una de las especies de peces más ampliamente cultivadas en el mundo. En ambientes lacustres naturales, los principales alimentos de carpas silvestres se encuentran en el sedimento. las especies de peces como la carpa pueden, por lo tanto acumular metales pesados más fácilmente que las especies pelágicas, como resultado de la exposición al contenido de metales en general más alto de sedimentos en comparación con la columna de agua (Öztürk *et al.*, 2008).

Aunque pequeñas cantidades de metales pesados se consideran esenciales para la supervivencia de muchos organismos, grandes cantidades son tóxicos. Pocas especies terrestres y acuáticas se sabe que son naturalmente tolerantes a los metales pesados, aunque algunos se han adaptado con el tiempo. En general, el número de especies animales y vegetales disminuye a medida que la concentración acuosa de metales pesados aumenta. Algunos peces taxones son conocidos por ser más sensibles a la presencia de metales pesados. Por ejemplo, las especies de salmón son particularmente sensibles al aumento de concentraciones de cobre. Por otra parte, los peces juveniles son más sensibles que los peces adultos, y la presencia de metales pesados pueden afectar a la reproducción y la crítica etapas de crecimiento de los peces (Castañé *et al.*, 2003).

4.18 INTERACCIONES ENTRE METALES Y ORGANISMOS ACUÁTICOS.

La captación y toxicidad de los metales pesados para los organismos acuáticos están influidos no sólo por su concentración; también son relevantes el tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del ambiente. Para considerar las relaciones de los metales con la biota acuática se deben tener en cuenta tres niveles de interés:

a) la especiación en el ambiente

b) las interacciones con la membrana plasmática en la interface organismo-ambiente, así como otros factores secundarios que pueden afectar los mecanismos funcionales básicos del individuo

c) la partición del elemento en los compartimentos del organismo y los efectos biológicos resultantes de su interacción con los receptores en los sitios de acción. (Castañé *et al.*, 2003).

4.19 OTRAS ÁREAS DE AFECTACIÓN POR CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERCIALES.

Dada la contaminación ambiental permanente y prolongada del agua durante décadas, es necesario considerar que este también es un problema que tiene consecuencias en el suelo y todo el ecosistema, flora y fauna incluyendo a la agricultura, el turismo y la recreación (Chamizo y Mora, 2006). Estos contaminantes pueden devastar los cursos de agua río (Laitos y Ruckriegie, 2011).

Las masas de agua modifican el nivel de las aguas subterráneas, afectan tanto el microclima y la biodiversidad del paisaje, y proporcionan las condiciones del hábitat específico para las especies de plantas y animal que están frecuentemente protegidos por regulaciones estrictas.

La presión constante de los factores relacionados con la civilización, se traduce en la disminución de la resistencia de los reservorios de agua a la degradación (Szpakowska *et al.*, 2010).

4.20 CONTAMINACIÓN DE SEDIMENTOS.

La Contaminación de sedimentos, especialmente de metales pesados, tiene un impacto importante sobre el medio ambiente de agua y una amenaza directa o potencial para la salud humana y el ecosistema acuático como un componente importante de un ambiente de agua, los sedimentos del río no es sólo el lugar donde los contaminantes se acumulan en el cuerpo de agua, sino también una fuente de contaminación secundaria que tiene un impacto potencial sobre la calidad del agua (Wang *et al.*, 2011).

La contaminación en las aguas del río va de la mano con la contaminación de los lechos de los ríos, como consecuencia de la sedimentación de sólidos en suspensión y fijación sobre estos sedimentos de diversos contaminantes (Enguix *et al.*, 1999).

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos. Estos depósitos tienen valor para el estudio de estos ecosistemas, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas, y al interaccionar con las corrientes de agua, ponen en circulación los contaminantes retenidos.

Los metales pesados se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Herrera *et al.*, 2013).

Sedimentos o suelos no son sólo los componentes básicos de nuestro medio ambiente, ya que aportan nutrientes para los organismos vivos, sino que también sirven como reservorios de especies químicas nocivas que causan efectos negativos en el sistema acuático y la salud (Jiang *et al.*, 2013).

Los sedimentos, son uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como recursos secundarios de contaminación en el medio. Los metales trazas presentan concentraciones relativamente elevadas en los sedimentos superficiales (Acosta *et al.*, 2002).

4.21 AGUA SUBTERRÁNEA.

Los recursos hídricos subterráneos son Aproximadamente el 30% de toda el agua dulce de la Tierra. El agua subterránea es más de 100 veces la cantidad recogida en los ríos y lagos. La mayor parte del agua subterránea ha acumulado a lo largo de millones de años en grandes acuíferos situados debajo de la superficie de la tierra. Los acuíferos se reponen lentamente por las lluvias, con una tasa de recarga media que oscila entre el 0,1% y el 3% por año (Pimentel *et al.*, 2004).

En las zonas donde las aguas superficiales han sido contaminados como resultado de la actividad industrial, el agua subterránea se ha convertido en una preocupación principal, ya que constituye el suministro alternativo de agua (Mendoza *et al.*, 2006).

Hoy en día, las actividades humanas están constantemente añadiendo, contaminantes doméstico industrial y residuos agrícolas en los recursos de aguas subterráneas a un ritmo alarmante. La contaminación del agua subterránea es generalmente irreversible, es decir, una vez que esté contaminado es difícil restaurar el agua original. (Zahir y D., 2013).

Actualmente, la localización, caracterización y saneamiento de áreas afectadas por el vertido de RI tóxicos y peligrosos viene siendo una actividad de gran importancia en la política ambiental de la mayoría de países

industrializados, siendo los más avanzados: Estados Unidos, Holanda, Alemania, Canadá, Francia y Gran Bretaña

Por su parte, el suelo también constituye un recurso que debe preservarse, tanto por su función como soporte de las actividades humanas y biológicas, como por su papel de filtro físico, químico y biológico de las aguas de infiltración que recargan los acuíferos. Su contaminación no sólo afecta a las posibles actividades que sostiene sino también puede constituir un foco permanente de contaminación para las aguas subterráneas (Navarro *et al.*, 1996b).

4.22 MÉTODOS DE REMEDIACIÓN.

Una de las soluciones tecnológicas eficaces y asequibles es la aplicación de un proceso conocido como fitorremediación. La fitorremediación es la aplicación de plantas para in situ o ex situ de tratamiento / eliminación de suelos contaminados, sedimentos y agua. Las plantas verdes degradan, asimilan, metabolizan o detoxifican contaminantes inorgánicos y orgánicos del medio ambiente o hacerlos inocuos. Es una tecnología rentable "verde" basado en el uso de plantas de metal de acumulación especialmente seleccionados para eliminar metales tóxicos de los suelos y el agua. Aparte de la ventaja de bajo costo. Un ejemplo es la planta acuática, jacinto (*Eichhorniacrassipes*) se empleó como un modelo de planta para la eliminación de metales pesados de la solución acuosa aunque esta planta causa problemas ambientales y económicos.

Otro método de tratamiento es mediante el uso de intercambio iónico y los métodos de filtro de carbón activado. Las desventajas de estos procesos es que son caros y no selectivos para la eliminación de metales pesados.

También existen métodos de tratamiento basados en microorganismos pero solo algunos tipos de ellos son capaces de eliminar los metales pesados (Aibuedefe *et al.*, 2010).

4.23 INFRAESTRUCTURA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MINERÍA.

Los desechos de las fundiciones tales como la escoria y el material particulado (polvo), pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas. Los desechos de las fundiciones, frecuentemente emiten contaminantes, especialmente donde las aguas que reaccionan tienen un pH inusualmente alto o bajo, son saladas o contienen cal. Muchos de los procesos implican la implementación de infraestructura que requiere de mantenimiento a largo plazo, para prevenir el deterioro y la seria contaminación: tranques de relave (con o sin sellados), filtraciones, pilas de sedimentos de rocas (con o sin tapas), equipos de desvío/ bombeo/filtración, áreas de revegetación, sistemas de tratamiento “pasivos”, etc. Varios países desarrollados hoy cuentan con plantas de tratamiento en operación para corregir problemas de calidad del agua después del cierre de la mina. Se anticipa que algunas de estas plantas lleguen a operar por décadas después del cierre, o incluso para siempre. Tales plantas y equipos requieren de mantención continua y a largo plazo, pudiendo ser una de las actividades ambientales más costosas relacionadas con la minería. Estos impactos se podrían describir como daños al abastecimiento de agua para usos domésticos y municipales, la ganadería y agricultura en situaciones donde las filtraciones pueden impactar la salud de las personas, la pesquería y vida acuática, y usos industriales del agua (Moran, 2001).

4.24 LEGISLACIÓN AMBIENTAL.

El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del Estado de garantizar un ambiente sano. Un vertimiento es una descarga de residuo líquido, a un cuerpo de agua. Estableciendo que las autoridades ambientales, tienen la obligación de ejercer control sobre dichos vertimientos. Dentro de este Decreto se destaca el hecho de considerar al agua como un recurso, en el que, el alcance de los posibles controles se extiende al aprovechamiento del recurso

y de su afectación, tal como se estableció en los criterios de calidad para su destinación a diferentes usos y a las cargas máximas permisibles para vertimientos tanto de aguas residuales municipales como de aguas residuales industriales

En la posibilidad de utilizar los elementos de la naturaleza como sumideros se señala que: “los recursos naturales renovables no se podrán utilizar por encima de los límites permisibles que, al alterar las calidades físicas, químicas o biológicas naturales produzcan el agotamiento o el deterioro grave de esos recursos o se perturbe el derecho a ulterior utilización en cuanto ésta convenga al interés público”

En contraposición, cuando el ser humano utiliza el agua, la “transforma” en un recurso natural, en cuyo caso y, pese a la condición de renovabilidad del elemento natural, su regeneración, en tanto recurso, queda sujeta a la capacidad social, tecnológica y económica del ser humano, para garantizar su disponibilidad de uso, en términos de cantidad y de calidad (Londoño y Parra, 2007).

En nuestro país la minería es una industria floreciente. Su incidencia en la economía mexicana comenzó a tener importancia en la década de los noventa, después de la reforma al artículo 27 constitucional y la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, dos hechos importantes en el futuro de la industria minera: el primero permitió el cambio en la orientación de la legislación minera, mientras el segundo marcó las pautas de lo que debería aprobarse, lo cual no sólo se reduce a la legislación minera, pues incluye el acceso a la tierra bajo la cual se encuentran los minerales, el uso del suelo, el uso del agua para el procesamiento del mineral, la prevención o remediación de la contaminación ambiental y la inversión extranjera en este rubro. Entre las leyes que regulan la actividad minera destacan:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley Minera

- Ley General de Bienes Nacionales,
- Ley Agraria,
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente,
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley Federal de Derechos
- Ley de Inversión Extranjera y el Código Civil,
- Y los reglamentos de varias de ellas

Para saber en qué medida una obra afecta el medio ambiente es necesario, antes de proceder a su ejecución, la, realización de estudios de impacto ambiental. La evaluación del impacto ambiental, según lo dispone la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en el primer párrafo de su artículo 28 “es el procedimiento a través del cual la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente” deberá vigilar que la obra se ajuste a las leyes que regulen esta materia como puede ser la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (López y Eslava, 2011).

La Ley General de Aguas, exige que las compañías mineras inviertan en tecnologías de limpieza que supongan el tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos y su remediación en depuradoras convencionales basados en procesos químicos. (Romero *et al.*, 2008).

4.25 NORMAS OFICIALES MEXICANAS APLICABLES.

4.25.1 NOM-001-SEMARNAT-1996.

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

4.25.2 NOM-002-SEMARNAT-1996.

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

4.25.3 NOM-003-SEMARNAT-1997.

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

4.25.4 NOM-011- CONAGUA- 2000.

Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

4.25.5 NOM-053-SEMARNAT-1993.

Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

4.25.6 NOM- 058-SEMARNAT- 1993.

Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

4.25.7 NOM-120-SEMARNAT-2011.

Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.

4.25.8 NOM-141-SEMARNAT-2003.

Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post-operación de presas de jales.

4.25.9 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.

5 MATERIALES Y METODOS.

La determinación de metales pesados en los cuerpos de agua superficiales cercanas a la Mina Dolores Chihuahua con ubicada a una latitud $28^{\circ}59'32.44''$ norte y $108^{\circ}31'13.79''$ oeste; fue realizada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de Torreón Coahuila durante los meses de abril y mayo de 2015. El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de metales pesados tales como, Cadmio, Zinc, Arsénico Plomo y Cromo en el agua superficial de la localidad de Dolores municipio de Madera Chihuahua. Para la realización del presente trabajo, se tomaron seis muestras de agua de un litro cada una en diferentes puntos del arroyo el Chabacan de aproximadamente 3 km de largo a partir de la fuente de emisión y que desemboca en el rio Tutuaca, una muestra de agua de la llave de la comunidad de Dolores, y por ultimo una muestra del arroyo amplio ubicado en la comunidad de Dolores; dichas muestras se llevaron al laboratorio de análisis.

El agua, fue recolectada en botellas de polietileno tereftalato, los envases fueron etiquetados y conservados.

El análisis de los parámetros conductividad eléctrica y pH se tomaran por medio de un conductivímetro (ATC HI9835) y un peachimetro (HI_98240).

Se emplearon análisis volumétricos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

En la determinación de los metales pesados se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, propuesto por Robert Bunsen y Robert Kirchhoff (Edidiong, 2011).

Los resultados de la determinación de los metales pesados se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996).

5.1 VARIABLES EVALUADAS.

- Potencial de hidrogeno (pH)
- Sodio (Na)
- calcio + magnesio
- magnesio (Mg)
- calcio (Ca)
- carbonatos (CO₃)
- bicarbonatos (HCO₃)
- sulfato (SO₄)
- cloro (Cl)
- Arsénico (As)
- plomo (Pb)
- Zinc (Zn)
- Cadmio (Cd)
- Cromo (Cr)



Figura 1. Mina Dolores

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA LOCALIDAD.

El cuerpo de agua más cercano al sitio del proyecto es el río Tutuaca al cual descargan los arroyos Chabacán que atraviesa la zona del proyecto minero, así como los arroyos Amplio y San Agustín que pasan cercanos al área del proyecto.

El río Tutuaca fluye todo el año y se localiza a aproximadamente a 3.5 km en línea recta al SE del poblado Mineral de Dolores. Los usos principales de esta corriente son para abrevadero de ganado, riego a baja escala y pesca doméstica, ya que esta corriente alberga algunas especies como bagre,

matalote, sardina, mojarrita y carpas. Este río se une al río Aros y este a su vez al río Yaqui para descargar finalmente en la presa Plutarco Elías Calles, en el estado de Sonora(CMD, 2005)

5.3 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS, METEOROLÓGICOS Y VEGETACIÓN.

El mineral de dolores se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica de la sierra madre occidental, subprovincias de sierras y cañadas de norte que se caracteriza por el predominio de sierras altas.

Existe gran variedad de rasgos fisio-geomorfológicos que caracterizan a esta parte de la sierra occidental, como son acantilados, cañones, valles, partes altas planas y sierras altas. El marco climático en la zona está fuertemente gobernado por la topografía en cuanto a la altitud. Presentándose un clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

Los tipos de vegetación presente corresponden a bosques de encino y matorral subinermes, nopaleras en los que se encuentra pastizal inducido (CMD, 2005)

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 ANÁLISIS FISICOQUIMICOS.

| Muestras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CE (mS/cm) | 1.405 | 1.351 | 1.740 | 1.728 | 1.730 | 0.785 | 0.179 | 0.187 |
| CALCIO + MAGNESIO (mg/L) | 264 | 254.4 | 360 | 316.8 | 211.20 | 193.6 | 17.6 | 14.399 |
| MAGNESIO | 109.92 | 107.03 | 139.68 | 125.28 | 47.04 | 76.320 | 4.32 | 4.80 |
| SODIO (mg/L) | 19.55 | 18.17 | -26.68 | 33.12 | 155.02 | -42.09 | 20.99 | 26.58 |
| CALCIO (mg/L) | 83.2 | 80 | 132.79 | 108.80 | 131.2 | 67.2 | 11.200 | 9.6 |
| CARBONATOS (CO₃) (mg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 0 |
| BICARBONATOS (HCO₃) (mg/L) | 40 | 43.2 | 48 | 45.59 | 41.6 | 42.40 | 26.40 | 33.6 |
| SULFATO (SO₄) (mg/L) | 113.4 | 131.15 | 142.55 | 141.6 | 139.95 | 136.2 | 7.1 | 7.45 |
| COLORO (mg/L) | 6.4 | 6.4 | 5.600 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 9.2 | 9.2 |

Tabla 1. Análisis Físicoquímicos

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA PARA
CONSUMO SEGÚN LA NOM-127-SSA1-1994**

| Análisis Físicoquímico | Unidades | Límite Máximo Permissible |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| C.E | mS/cm | 2000 |
| pH | mg/L | 6.5–8.5 |
| Mg | mg/L | 50 |
| Ca | mg/L | 200 |
| Ca+ Mg | mg/L | 150 |
| Dureza total | mg/L | 500 |
| Cloro residual | mg/L | 0.2–1.5 |
| Cl | mg/L | 250 |
| Na | mg/L | 200 |
| CO₃ | mg/L | N/A |
| HCO₃ | mg/L | N/A |
| SO₄ | mg/L | 400 |

Tabla 2. Límites máximos permisibles de calidad del agua según la NOM-127-SSA1-1994

Según el análisis físicoquímico que se realizó en las muestras de agua superficial de la mina Dolores Chihuahua, se obtuvieron valores dentro de los parámetros requeridos por la norma NOM-127-SSA1-1994, como es el caso de la Conductividad Eléctrica, Potencial de hidrogeno, Sodio, Cloro, Sulfatos y Calcio.

En el caso del magnesio se encontraron niveles muy altos conforme a lo permitido en las muestras uno, dos, tres, cuatro y seis, mientras que en las muestras cinco, siete y ocho se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Y por último en el calcio más magnesio se encontró que únicamente la muestra siete y ocho se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar daños a la salud, por lo cual se

requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas en el agua.

Es por eso que esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional

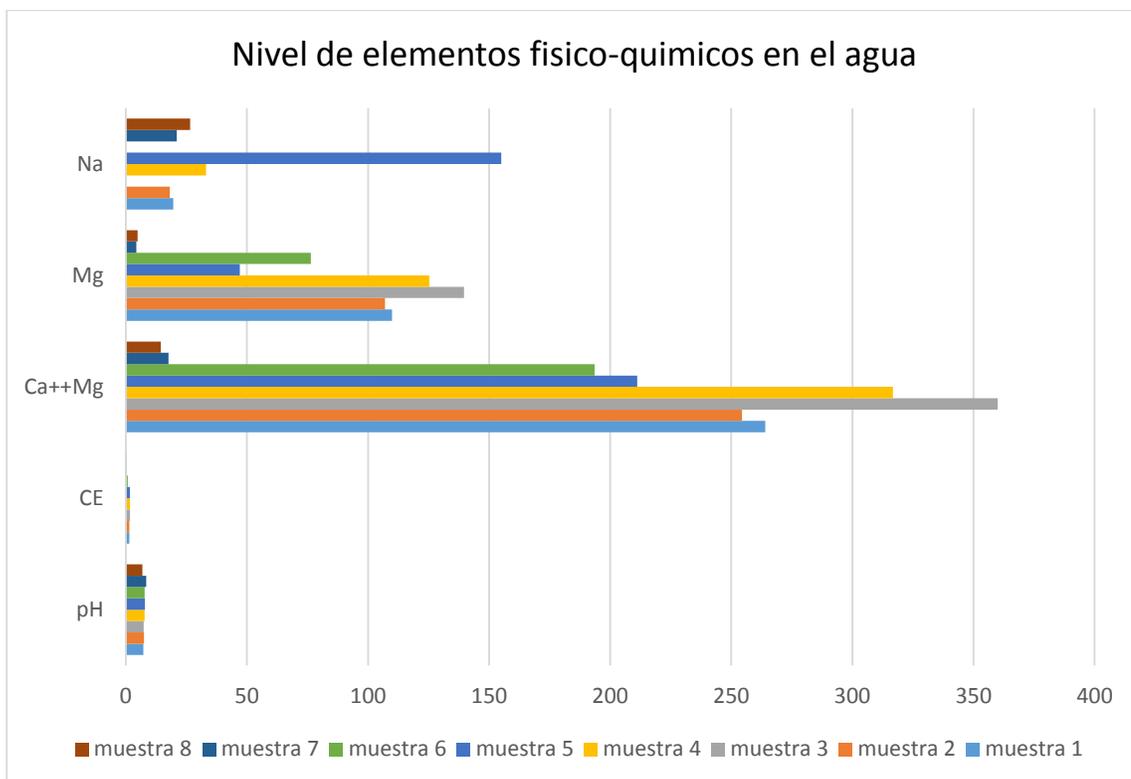


Figura 2. Nivel de elementos Físicoquímicos presentes en el agua superficial de Minera dolores

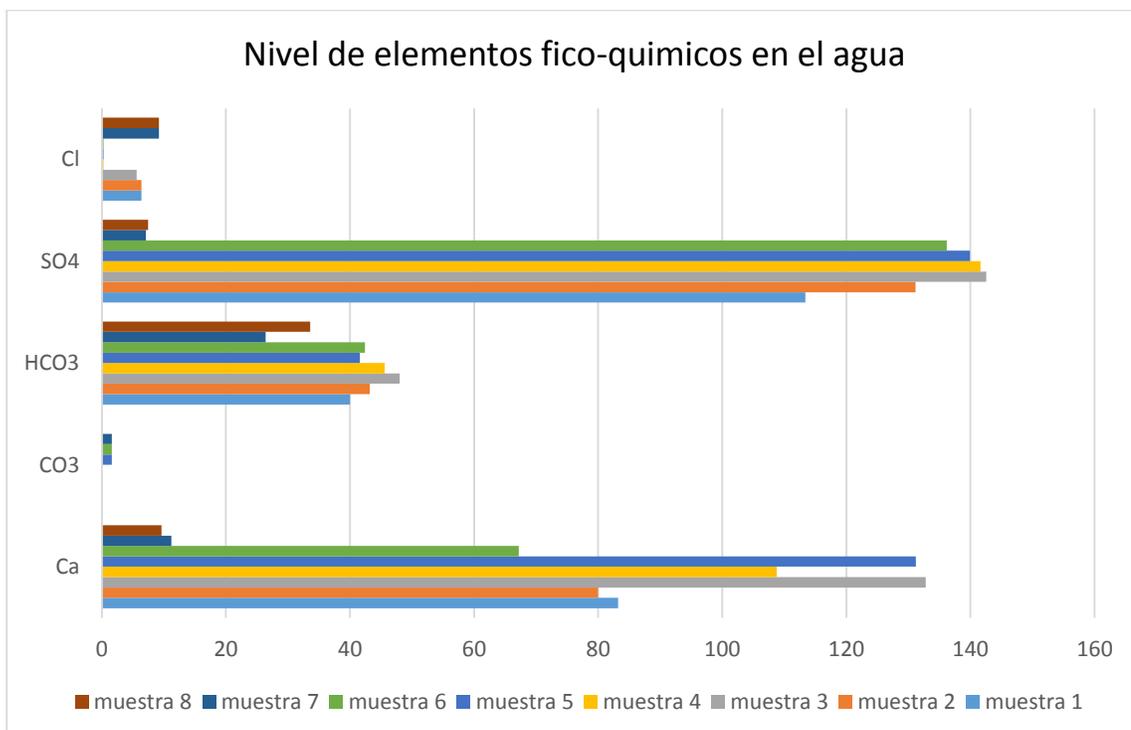


Figura 3. Nivel de elementos Físicoquímicos presentes en el agua superficial de Minera dolores

6.2 METALES PESADOS.

| | Pb | Zn | As | Cd | Cr |
|-----------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Muestras | Unidades de medida (ppm) | | | | |
| 1 | 24.25 | 16.38 | 0.16 | 0.15 | 4.51 |
| 2 | 25.24 | 16.40 | 0.16 | 0.50 | 6.18 |
| 3 | 17.58 | 18.57 | 0.14 | 0.58 | 5.22 |
| 4 | 26.75 | 18.24 | 0.13 | 0.36 | 6.03 |
| 5 | 24.28 | 17.36 | 0.20 | 0.30 | 8.37 |
| 6 | 27.33 | 22.25 | 0.22 | 0.50 | 11.15 |
| 7 | 23.24 | 18.05 | 0.14 | 0.35 | 0.58 |
| 8 | 24.26 | 18.26 | 0.16 | 0.29 | 0.62 |

Tabla 3. Metales pesados

Límites máximos permisibles

| Metales | Uso público | Protección de la vida acuática |
|----------------|-------------|--------------------------------|
| Pb | 0.2 | 0.2 |
| Cr | 0.5 | 0.5 |
| As | 0.1 | 0.1 |
| Cd | 0.1 | 0.1 |
| Zn | 10 | 10 |

Tabla 4. Límites máximos permisibles de metales pesados

Como se puede observar en la tabla 3, en la determinación de metales pesados que se llevó a cabo en el agua superficial cercana a la minera Dolores Chihuahua, en los cinco metales analizados se obtuvieron valores muy por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, especialmente en el caso del plomo con niveles muy altos seguido del cromo y el zinc. Aunque el Arsénico y el Cromo en algunas muestras no se encontró una diferencia muy significativa en cuanto a los valores establecidos en la norma, seguó también rebasando los niveles.

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|-----------------------------------|------|------------------------|------|---|------|----------------|------|---------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|
| PARÁMETROS (*) | RÍOS | | | | | | EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES | | | | AGUAS COSTERAS | | | | | | SUELO | | HUMEDALES NATURALES (B) | |
| | Uso en riego agrícola (A) | | Uso público urbano (B) | | Protección de vida acuática (C) | | Uso en riego agrícola (B) | | Uso público urbano (C) | | Explotación pesquera, navegación y otros usos (A) | | Recreación (B) | | ESTUARIOS (B) | | 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. | 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 | 0.1 | 0.2 |
| 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 | 0.1 | 0.2 |
| 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 | 1.0 | 2.0 |
| 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 | 4.0 | 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 | 0.5 | 1.0 |
| Mercurio | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005 | 0.01 |
| Níquel | 2 | 4 | 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 | 0.2 | 0.4 |
| Zinc | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |

(*) Medidos de manera total. P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Figura 4. Límites máximos permisibles me metales pesados y cianuro

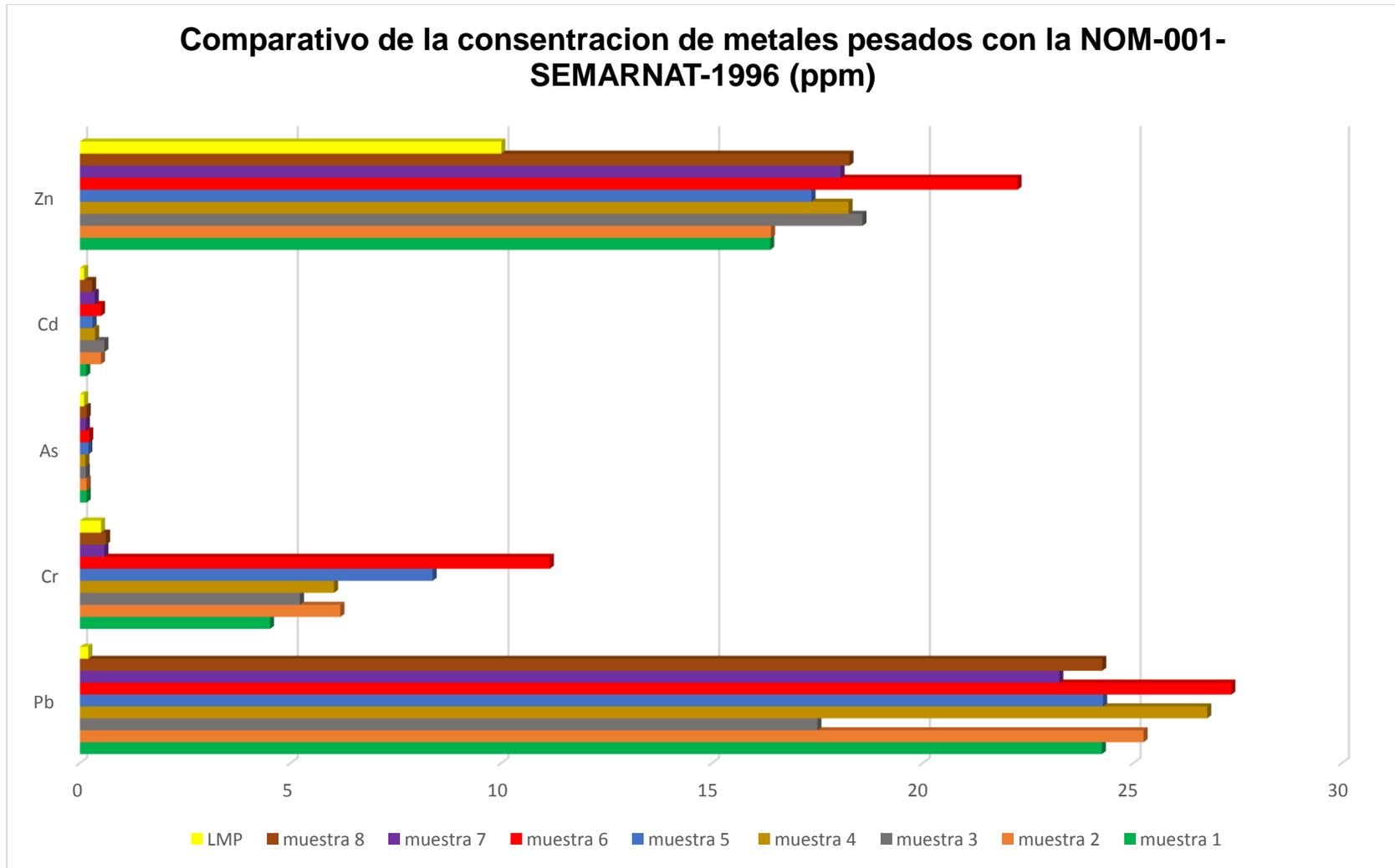


Figura 5. Comparativo de la concentración de metales pesados con la NOM-001-SEMARNAT-1996

7 CONCLUSIÓN.

Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales. Por lo que es importante mantener los valores dentro de lo establecido en las normas.

Se comparó los resultados obtenidos en la determinación de metales pesados en el agua superficial cercana a la mina dolores chihuahua con la NOM-001-SEMARNAT-1996 y se llegó a la conclusión de que ningún elemento analizado se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma.

Al igual que los resultados en los análisis fisicoquímicos que se realizaron y que se compararon con la NOM-127-SSA1-1994, se obtuvo que tanto el magnesio como calcio más magnesio se encontraron fuera de los límites máximos permisibles por la norma.

Por consiguiente se concluye que la industria Minera Dolores Chihuahua es portadora de emisiones de metales pesados a los cuerpos de agua de la zona y la población de Dolores.

8 BIBLIOGRAFIA.

- Abdul, A., J. Sirajudeen y V. Abdul 2012. "Studies on heavy metal pollution of ground water sources between Tamilnadu and Pondicherry, India " Pelagia Research Library 424-429
- Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez 2002. "Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela." *Inerciencia* 27: 686-690.
- Aguilera, R., S. Pérez y A. Marañón 2010. "Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas residuales. Validación del método." Centro de Estudios de Biotecnología Industrial (línea) <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/2794/2306>: 39-44.
- Ahmad, M., S. Islam, S. Rahman, M. Haque y M. Islam 2010. "Heavy Metals in Water, Sediment and Some Fishes of Buriganga River, Bangladesh." *International Journal of Environmental Research* 4: 321-332.
- Aibuedefe, F., O. Faleye y E. Aisien 2010 "Phytoremediation of Heavy Metals in Aqueous Solutions " *Leonardo Journal of Sciences* 37-46.
- Arcega, F., S. Castillo y M. Armienta 2010. "Tetraethyl lead release from sediments in a mine-impacted tropical river." *Rev. Int. Contam. Ambient*: 119-127.
- Argota, G., I. Pérez y H. Argota 2012. "Evaluación ambiental del río San Juan de Santiago de Cuba por exposición bioacumulativa a metales pesados " *MEDISAN*: 8-16.
- Bidone, E., L. Laybauer, Z. Castilhos y J. Maddock 2001. "Environmental risk increase due to heavy metal contamination caused by a copper mining activity in Southern Brazil." *An. Acad. Bras. Cienc.*: 278-286.
- BioOne 2007. "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro." *Journal of the Human Environment*: 62-66.
- Bitton, G., N. Ouazzani y A. Boularbah 2007. "Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: Monitoring metal content and toxicity of soil runoff and groundwater." *Environ Monit Assess*: 147-160.
- Buenfil, M. y N. Flores 2007. "Determinación de metales pesados (As, Cd, Hg y Pb) presentes en el río hondo, Quintana Roo." *Memorias en extenso*: 435-439.

- Carrera, N. y S. Domínguez 2012. "Remoción de metales pesados por métodos fisicoquímicos presentes en agua proveniente de una industria minera." *Revista Sistemas Ambientales* 5: 27 - 40.
- Castañé, P., M. 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*: 13-18.
- CMD 2005. "Manifiesto de Impacto Ambiental ": 1-134.
- Chamizo, H. y D. Mora 2006. "Estudio ecológico de las enfermedades de transmisión hídrica en la cuenca hidrográfica superficial del río grande de Tárcoles." *Revista costarricense de salud pública*: 8-24.
- Edidiong, E. 2011. "La espectrofotometría y su utilización para resolver problemas profesionales del Ingeniero Metalúrgico." *Ciencia & Futuro* 1: 39-46.
- Enguix, A., M. Ternero, J. Jiménez, A. Fernández y F. Barragán 1999. "Assessment of metals in sediments in a tributary of guadalquivir river (spain). heavy metal partitioning and relation between the water and sediment system." *Kluwer Academic Publishers*: 11-29.
- Escobar, J. 2002. "La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar." *Cepal Eclac*: 5-39.
- Farahmand, F., G. Pirumyan y G. Farahmand 2011. "Evaluation of Heavy Metals Pollution in Drinking Water Based on Ground Water Sources." *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*: 891-896.
- Fawell, J. y M. Nieuwenhuijsen 2003. "Contaminants in drinking water." *British Medical Bulletin* 68: 199-208.
- Fuente, A. 2012. "La explotación de los hidrocarburos y los minerales en México: un análisis comparativo." *Heinrich bool stiftung*: 5-19.
- Gama, A. 1990. "Environmental biochemical aspects of heavy metals in acid mine water " *Lidboa* 43-55.
- García, A., M. Reyes, A. Alvarado, L. González, D. Antuna , E. Vázquez, M. Estaban, M. Quintos y A. Herrera 2011. "Cloruros totales en el agua de abastecimiento." *CIIDIR IPN Durango (linea)*
<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8825/clo-ruosnov12.pdf?sequence=1>: 1-3.

- García, D., S. Olivares, J. Santana, L. Lima, L. Ruiz, P. Calderón y I. Ávila 2012. "Evaluación de riesgos a la salud por exposición a metales pesados en cercanías de sitios potencialmente peligrosos con actividad agrícola " Revista Cubana de Salud y Trabajo: 10-18.
- Gaytán, E. y F. Benita 2014. "La industria minera en México: patrones de desempeño y determinantes de eficiencia." Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: 103-131.
- Gómez, A., A. Álvarez, Villalba-A., G. ACOSTA, M. Castañeda y D. Kamp 2004a. "Metales pesados en el agua superficial del río san Pedro." Rev. Int. Contam. Ambient.: 5-12.
- Gómez, A., A. Villalba, M. Castañeda, G. Acosta y D. Kamp 2004b. "Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999." Rev. Int. Contaminacion Ambiental 5-12.
- Gonzalez , C., A. Lopez, L. Moreno, M. Martines y G. Lopez 2003. "Estudio de la influencia de los suelos contaminados por metales pesados en las aguas naturales." Anal. Real Acad. Nal. Farm: 83-111.
- González, F. y A. Camprubí 2010. "La pequeña minería en México." Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 62: 101-108.
- Gutiérrez, M., F. Romero y G. González 2007 "Suelos y sedimentos afectados por la dispersión de jales inactivos de sulfuros metálicos en la zona minera de Santa Bárbara, Chihuahua, México " Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 24: 170-184.
- Guzmán, G., F. Thalasso, E. Ramírez, S. Rodríguez, A. Guerrero y F. Avelar 2011. "Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México." Rev. Int. Contam. Ambient: 89-102,.
- Herrera, J., J. Rodríguez Corrales, J. Coto Campos, V. Salgado Silva y H. Borbón Alpizar 2013. "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro." Tecnología en Marcha: 27-36.
- INEGI 2010. "Archivos historicos de localidades " Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Jiang, M., G. Zeng, C. Zhang, X. Ma, M. Chen, J. Zhang, L. Lu, Q. Yu, L. Hu y L. Liu 2013. "Assessment of Heavy Metal Contamination in the Surrounding Soils and Surface Sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District." Plos One 8.

- Kirschbaum, A., J. Murray, M. Arnosio, R. Tonda y L. Cacciabue 2012. "Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 248-264.
- Laitos, J. y H. Ruckriegie 2011. "The clean water act and the challenge of agricultural pollution." *Vermont Law Review* 1034- 1090.
- Londoño, R. y Y. Parra 2007. "Manejo de vertimientos y desechos en Colombia. Una visión general." *Revista Épsilon*: 89-10.
- López, F. y M. Eslava 2011. "El mineral o la vida." *La legislación minera*: 75-79.
- López, O. y M. Lechuga 2001. "Contaminantes en los cuerpos de agua del sur de Sonora." *Salud pública de México* 43: 298-305.
- Mancilla, O., H. Ortega, C. Ramírez, E. Uscanga, R. Ramos y A. Reyes 2012. ""Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México"." *Rev. Int. Contam. Ambie*: 39-48.
- Mendoza, J. A., Dahlin T. y G. Barmen 2006. "Hydrogeological and hydrochemical features of an area polluted by heavy metals in central Nicaragua " *Hydrogeology Journal*: 777-784.
- Mondragón, V., F. Llamas, G. González, A. Márquez, R. Padilla, M. Durán y B. Franco 2011. "Identification of *Enterococcus faecalis* bacteria resistant to heavy metals and antibiotics in surface waters of the Mololoa River in Tepic, Nayarit, Mexico." *Environ Monit Assess*: 329-340.
- Moran, R. 2001. "Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería." *Ambiente hoy* 17: 59 - 66.
- Navarro, A., J. Carmona y X. Font 1996a. "Contaminacion de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales." *Acta geológica hispánica* 30 49-62
- Navarro, A., J. Carmona y X. Font 1996b. "Contaminacion de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales " *Acta Geologica Hispanica* 49-62.
- Nolasco, S. 2011. "Impactos de la Minería Metálica en Centroamerica " *Ceicom* 4-40.
- Obodai, E., L. Boamponsem, C. Adokoh, D. Essumang, B. Villawoe, D. Aheto y J. Debrah 2011. "Concentrations of heavy metals in two Ghanaian Lagoons." *Scholars Research Library*: 177-187.
- Olivero, J. 2013. "Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana." *En línea*

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/forum_topic/3655/files/efectos_mineria_colombia_sobre_salud_humana.pdf: 1-14.

- Olivero, J. 2013 "Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana." 1-31.
- Öztürk, M., G. Özözen, G. Minareci y E. Minareci 2008. "Determination of Heavy Metals in of Fishes, Water and Sediment from the Demirköprü Dam Lake (Turkey) " *Journal of Applied Biological Sciences* 99-104.
- Pimentel, D., B. Berger, D. Filiberto, M. Newton, B. Wolfe, E. Karabinakis, S. Clark, E. Poon, E. Abbett y S. Nandagopal 2004. "Water Resources: Agricultural and Environmental Issues." *BioScience*: 909-918.
- Popescu, L. y A. Stanca 2008. "Monitoring of Heavy Metals Soil Contents in the Area of Thermal Power Plants in Romania." *Engineering and Technology* 34: 382-386.
- Prieto, J., C. González, A. Román y F. Prieto 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. ." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 29-44.
- Ramos, O., N. Guevara, B. Macias y Y. Ortiz 2005. "Evaluación de riesgo a la salud por la presencia de metales pesados en pescado del "Laguito" de Nuevo Laredo Tamaulipas." *UAT*: 1-8.
- Ramos, O., N. Guevara, B. Macías y Y. Ortiz 2006. "Evaluación de riesgo a la salud por la presencia de metales pesados en pescado de el "laguito" de Nuevo Laredo Tamaulipas " *Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias*: 1-8.
- Rashmi Verma, a. y P. Dwivedi. 2013. "Heavy metal water pollution- A case study " *Recent Research in Science and Technology*: 98-99.
- Ricaldi, E. 2009 "Halos de contaminación en la subcuenca del río Antequera." *Revista Boliviana*: 22-31.
- Rivera, F. 2010. "Análisis ambiental de la normativa aplicada a los planes de cierre de Faenas mineras en Chile." *UCFDPG*: 1-10.
- Romero, A., S. Flores y R. Medina 2008. "Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa." *Revista del Instituto de Investigaciones* 11.
- Saavedra, E. y M. Sánchez 2008. "Minería y espacio en el distrito minero Pachuca-Real del Monte en el siglo XIX." *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 82-102.

- Secretaria de Economia, S. 2012. "Anuario estadístico de la minería Mexicana".
- Secretaria de Economia, S. 2014. "Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Desarrollo Minero." Diario Oficial de la Federación 1-42.
- SEMARNAT 1996. "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales." D.O.F.
- Servicio Geológico Mexicano, S. 2015. "Anuario Estadístico de la Minería Mexicana."
- Szpakowska, B., B. Karlik, W. Krzesiński, P. Goliński, M. Szczęśna y M. Mleczek 2010. "Heavy metal contamination of waters in reservoirs in an urban agglomeration." *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*: 113-120
- Valavanidis, A. y T. Vlachogianni 2003. "Metal Pollution in Ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment in the Marine Environment." *Science advances on Environment, Toxicology and Ecotoxicology issues*: 1-14.
- Venkatarmana, G., N. Sandhya y S. R. 2012. "Heavy Metal Accumulation in Water and Certain Freshwater Fishes of Nanjangud Industrial Area Mysore District, Karnataka." *Journal of Pharmacy Research* 5: 3382-3385.
- Verma, R. y P. Dwivedi 2013. "Heavy metal water pollution- A case study " *Recent Research in Science and Technology*: 98-99.
- Wang, C., N. Zhi, Y. Li, J. Sun y F. Wang 2011. "Study on heavy metal concentrations in river sediments through the total amount evaluation method." *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*: 399-404.
- Wright, I. y S. Burgin 2009. "Effects of organic and heavy metal pollution on chironomids within a pristine upland catchment." *Hydrobiologia*: 15-25.
- Zahir, A. y R. D. 2013. "Assessment of ground water pollution on the bank of river Amaravathi at Karur district, Tamil Nadu." *Pelagia research library*: 6-10.