

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS DE CUERPOS
DE AGUA CERCANOS AL RÍO NAZAS EN LA REGIÓN DE
NAZAS DURANGO**

POR

ALBERTO MIGUEL CRUZ

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS DE CUERPOS DE AGUA
CERCANOS AL RÍO NAZAS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO**

TESIS DEL C. ALBERTO MIGUEL CRUZ QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ DE ASESORÍA:

ASESOR PRINCIPAL



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

COASESOR



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COASESOR


BIOL MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

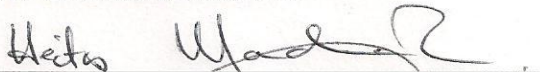
**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS DE CUERPOS DE AGUA
CERCANOS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO**

TESIS DEL C. **ALBERTO MIGUEL CRUZ** QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE



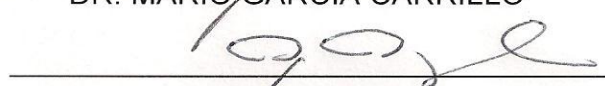
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL SUPLENTE



DR. ALFREDO OGAZ

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2012.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por permitirme la vida, salud y la inteligencia, capacidad y sabiduría para terminar mis estudios de licenciatura, además de la mejor familia.

A mis Abuelos.

Al Sr. Abundio Cruz Santiago y la Sra. Andrea Osorio Victoria por tener la confianza para poder continuar estudiando y alcanzar la superación que siempre en la vida que anhelaban, que el sueño de prepararse y alcanzar la meta para que yo sea un hombre preparado, y gracias por el gran sacrificio que realizaron, por sus consejos que me sirvieron de gran ayuda.

A mi Sra. Madre.

A la señora Luisa Cruz Osorio, por permitirme la vida y por darme el apoyo, para poder prepararme en la vida.

A mi Tío.

Al Joven Felipe Cruz Osorio que más que un tío, es como un hermano para mí, gracias por el apoyo moral y económico para poder terminar mi carrera profesional.

A mi Alma Terra Mater.

Por la oportunidad de realizar mis estudios en las instalaciones y poder tener una carrera profesional, así como las facilidades que me brindaron para poder tener una formación académica y profesional.

A mis Maestros.

Al Doctor Héctor Madinaveitia Ríos por asesorarme en este trabajo de tesis y a todos los maestros que de una manera directa o indirecta compartimos un aula y me brindaron su amistad y confianza.

A mis Amigos.

A mis compañeros que fueron más que mis amigos, a Juan Bacho, Tomas Martínez, Jesús Pliego, Mauricio Olan, Joel Becerra, Wendy Rayón, Felipe García, Tirso Pedro Mendoza, Iván Pérez Zavala , Ana Isabel González Cifuentes, Ismar López, Maribel Gutiérrez, Osmar Narváez, Rey Gervasio, Addier Edgar Rodríguez, por compartir el aula y todos los momentos que pasamos juntos, además de formar un buen equipo de trabajo y se ha culminado la meta que se hizo al iniciar la carrera, ojala y esperemos no defraudar a nuestra alma mater y poner en alto y con honor el nombre de nuestra universidad.

A los compañeros – amigos de las diferentes carreras de la universidad. A Cesar López, Carlos Miguel, Enrique Miguel, Francisco Javier, Yazmin Osorio, Mireya Soledad, Oscar y Gladys Cruz, Enrique y José Belén Méndez, Luis Miguel y José Antonio Moreno, Eligio Cruz, Jesús Villamil, Miguel Chepe, Eliazit Cortez, Emilia Raquel, Luis Enrique, Dario Alvarado, Delmar Alexander, Juan, Jesús Rafael, y a todos los amigos que me permitieron convivir durante mi estancia en la universidad y en esta ciudad de Torreón Coahuila, México.

DEDICATORIAS

A mis Abuelos.

Sr. Abundio Cruz Santiago.

Sra. Andrea Osorio Victoria.

Con el cariño, aprecio, amor y respeto que siempre les he tenido, por tenerme paciencia y confianza, pero sobre todo porque me dieron su apoyo para alcanzar esta meta trazada en la vida, a ellos siempre mis respetos y agradecimientos por toda la vida y por ponernos el ejemplo.

A mi Hermano.

El Ing. Isidro Miguel Cruz por su apoyo moral e incondicional que me ha brindado siempre. Gracias por ese apoyo.

A mis familiares.

Al Sr. Isaías Osorio Victoria (+) y la Sra. Ma. Pilar, por su apoyo que me han brindado para realizar mis estudios, así como a mis primas, Margarita, Erika, Eduardo, Gabriel, por darme su apoyo y entusiasmo para culminar los estudios.

A mi Alma Terra Mater.

Por darme la oportunidad de realizar la carrera profesional, por formarme como profesionalista, gracias UAAAN UL.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIA.....	3
INDICE GENERAL.....	4
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCION.....	8
2. OBJETIVO.....	10
3. HIPOTESIS.....	10
4. REVISION DE LITERATURA.....	11
4.1 EL AGUA.....	11
4.2 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.....	12
4.3 EL AGUA EN LA TIERRA.....	15
4.4 CONTAMINACION DEL AGUA.....	16
4.4.1 CONTAMINACION DEL AGUA POR METALES PESADOS.....	18
4.4.2 LOS MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS.....	20
4.4.2.1 COBRE	20
4.4.2.2 ZINC.....	23
4.4.3 LOS NO BIOELEMENTOS: Pb, Cd y As.....	25
4.4.1.3 PLOMO.....	25
4.4.1.4 CADMIO.....	27

4.4.1.5 ARSENICO.....	29
4.5 LOS ESTEROS.....	32
5. MATERIALES Y METODOS.....	33
5.1 CARACTERISTICAS ECOLOGICAS DE LA REGION DE NAZAS DURANGO.....	33
5.1.1 CLIMA Y VEGETACION.....	33
5.1.2 AGUA SUPERFICIAL Y BOMBEO.....	34
5.1.3 ACTIVIDADES AGROPECUARIAS.....	34
5.2 METODOLOGIA.....	34
5.2.1 MUESTREO DE AGUAS.....	34
5.2.2. DETERMINACION DE METALES PESADOS	35
5.2.2.1 DETERMINACION DE ARSENICO.....	35
5.2.2.2 DETERMINACION DE Cu, Pb, Cd, Zn.	35
5.2.2.3 PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	36
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
6.1 RESULTADO.....	37
6.2 DISCUSIÓN.....	37
7. CONCLUSIONES.....	42
8. RECOMENDACIONES.....	43
9. LITERATURA CITADA.....	44
10. ANEXOS.....	47

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro		PAGINA
1	Distribución del agua en el planeta tierra. Datos obtenidos de CNA, Comisión Nacional del Agua (2005), "Estadísticas del Agua"	16
2	Determinación de la concentración de metales pesados en cuerpos de agua cercanos al río Nazas, en la región de Nazas, Durango. 2010.	36
Tabla	Límites permisibles de acuerdo a la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996	42

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de metales de los bioelementos Zn y Cu, y los no bioelementos As, Cd y Pb que se encuentran en los esteros naturales que son superficiales, muchos de ellos con menos de 1 m de profundidad, en los predios de la región de Nazas, Durango, los mantos freáticos que están cercanos a la orilla del río Nazas.

La hipótesis alternativa considerada fue: la concentración de los metales pesados evaluados rebasan los límites máximos permisibles de acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996

El trabajo de campo se efectuó en noviembre de 2010. En la metodología utilizada se recolectaron muestras de aguas de tres esteros a diferentes profundidades cada uno. El primer estero muestreado a una profundidad de tres metros, fue modificado por la mano del hombre, debido a que es utilizado para el regadío de sus cultivos, se tomaron tres muestras en botellas de 600 ml previamente esterilizadas. El segundo estero tuvo una profundidad de 50 cm, es un estero semisuperficial el cual está rodeado por diferentes plantas, tales como carrizos, sauces, entre otras plantas y está a la intemperie dándole los rayos solares, se tomaron otras tres muestras. El tercer estero también tuvo una profundidad promedio de 50 cm está rodeado de arboles como sabinos, álamos, carrizos, el cual no le permite la entrada de rayos solares en la mayor parte del día. En total fueron 9 muestras las colectadas, que fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la UAAAN UL, se analizaron las muestras y se determinaron las concentraciones de As, Zn, Cu, Cd, y Pb.

Los resultados obtenidos indicaron que el Pb, se encuentra en un 40 % en por arriba del límite máximo permisible. En el primer estero el 100 % de las muestras realizadas se encuentra por arriba de lo permitido por las normas oficiales mexicanas; en el caso del segundo estero, es donde se encuentra la mayor concentración de contaminante. En el caso del tercer estero se encuentra ligeramente por arriba de las muestras oficiales. La media de concentración de Pb está por encima del límite máximo permisible. El Cd se encuentra en concentraciones excesivas en los esteros evaluados, con una media de 1.47 mg/kg^{-1} cuando el LMP debe de estar en $.2 \text{ mg/l}$.

Un factor importante para la contaminación de los esteros es la utilización de productos químicos, fertilizantes, entre otros, y las lluvias que son un factor de arrastre de estos y otros metales, conduce a contaminar los esteros, por lo que se debe tener cuidado con el buen manejo del agua.

Palabras claves: esteros, metales pesados, As, Cd, Pb, Cu, Zn, límites máximos permisibles

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, está ubicada en las zona áridas de México, en la cual los estudiantes de esta universidad cumplimos un papel muy importante en conjunto con los profesores: apoyar a los campesinos por medio de proyectos de desarrollo rural que son de gran ayuda para ellos, ya que de esta forma, se trata de mejorar las condiciones en que viven y el arraigo en sus comunidades.

El agua constituye un elemento vital y articulador de la naturaleza y por tanto su manejo en cantidad y calidad es tema central para la gestión ambiental, ya que permea e interrelaciona los recursos naturales, el medio ambiente y la actividad humana.

En nuestro medio, para conocer la calidad del agua en los casi 2 millones de kilómetros cuadrados del país, es necesario evaluar el recurso en los ríos, lagos o embalses, cuerpos de aguas litorales o lagunas costeras y en los acuíferos que se utilizan para abastecer de agua a las ciudades, industrias y centros de producción agrícola.

Ahora bien, los resultados más recientes de este tipo de valoraciones muestran que las grandes urbes aportan el 80 % del total de contaminantes con materia orgánica y la tarea de evaluación de estos recursos acuíferos es realizada por la Comisión Nacional del Agua (CNA), a través de la Red Nacional de Monitoreo y con el propósito de reducir los altos índices, las autoridades gubernamentales han establecido normas y leyes que evalúan y sancionan a los contaminantes en el país.

Por otra parte, los objetivos que persigue la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua son: cuidar la salud de los cuerpos de agua; cumplir con las Normas

Oficiales Mexicanas en materia de las descargas; y tener la información a disposición del público, de acuerdo a lo que marca la ley.

De un total de 535 cuerpos de agua superficiales solamente el 5 % son de excelente calidad y el 22 % de calidad aceptable, suponiendo que la calidad excelente no tiene ninguna limitación de uso y que la calidad aceptable requeriría de un tratamiento para su potabilización.

Por otra parte, el porcentaje restante de los cuerpos de agua equivalente al 73 % presentan diferentes niveles de contaminación que impiden cualquier uso directo de las aguas.

Las cifras anteriores demuestran que la salud de los cuerpos de agua presentan un deterioro alarmante y preocupante, ya que incide directamente en la disponibilidad del agua superficial en las cuencas hidrológicas y que es producto del incumpliendo de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de calidad de agua.

En relación a la información que el público debe tener a su disposición, para conocer el grado de contaminación de los cuerpos de agua, únicamente se tiene disponibles aspectos generales y no con detalle.

En las descargas de tipo agrícola no se tiene información disponible sobre su naturaleza y composición. No obstante, las parcelas agrícolas generan contaminantes procedentes de los pesticidas y fertilizantes que se utilizan para incrementar la productividad de los productos agrícolas.

En consecuencia, la calidad del agua en los cuerpos de agua son producto de una gama amplia de contaminantes procedentes de las descargas que producen los diferentes tipos de usuarios asentados en una región o cuenca hidrológica y para

tener resultados precisos es necesario medir los contaminantes que predominan en una zona de análisis.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el grado de contaminación producido por la acumulación de metales que son bioelementos y no bioelementos que se encuentran en los cuerpos de agua en la región de Nazas, Durango.

Objetivos específicos

Determinar la concentración de los metales pesados no bioelementos arsénico (As) y cadmio (Cd), y los bioelementos plomo (Pb) zinc (Zn) y cobre (Cu) en ambientes acuáticos contaminados con metales pesados en la región de Nazas, Durango

3. HIPÓTESIS

La concentración de los metales bioelementos y no bioelementos evaluados rebasan los límites máximos permisibles de acuerdo a la norma NOM-001-ECOL-1996

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 El agua

El agua (del latín *aqua*) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. Se considera que el agua es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico o del agua y los humanos poco nos preocupamos por hacerla disponible y aprovechable con tratamientos para eliminarle los contaminantes que le arrojan, por el contrario se fomenta el desperdicio y contaminación de este vital recurso renovable. El agua se presenta principalmente como un líquido de características poco comunes, es un recurso natural indispensable para todos los seres vivos y en general forma parte de toda la materia viva, y el hombre la utiliza para realizar muchas de sus actividades como la agricultura, la industria, el transporte y otras actividades diarias. Se considera al cuerpo humano como un sistema muy complejo y estructurado. El agua es el compuesto químico más abundante en las células vivas, contienen de 65 a 90 % en peso. El agua es la fase dispersante en el estado coloidal de la célula y la fase dispersa la forman las proteínas solubles en el agua. En los organismos vivos los alimentos son transportados a las células en solución o en medio acuoso y los desechos son removidos con la eliminación del agua. El agua no es un alimento, pero se considera como uno de los componentes de la dieta porque es indispensable para muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la naturaleza (Ringuelet, 1962).

4.2 Propiedades físicas y químicas

Las propiedades fisicoquímicas más notables del agua son:

- El agua es insípida e inodora en condiciones normales de presión y temperatura. El color del agua varía según su estado: como líquido, puede parecer incolora en pequeñas cantidades, aunque en el espectrógrafo se prueba que tiene un ligero tono azul verdoso. El hielo también tiende al azul y en estado gaseoso (vapor de agua) es incolora.
- El agua bloquea sólo ligeramente la radiación solar UV fuerte, permitiendo que las plantas acuáticas absorban su energía.
- Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una ligera carga negativa, mientras que los átomos de hidrógeno tienen una carga ligeramente positiva del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. La interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula causa una atracción en red que explica el elevado índice de tensión superficial del agua.
- La fuerza de interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de Van der Waals entre moléculas de agua. La aparente elasticidad causada por la tensión superficial explica la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura. También tiene un alto valor adhesivo gracias a su naturaleza polar.
- La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles.
- Otra fuerza muy importante que refuerza la unión entre moléculas de agua es el enlace por puente de hidrógeno.
- El punto de ebullición del agua (y de cualquier otro líquido) está directamente relacionado con la presión atmosférica. Por ejemplo, en la

cima del Everest, el agua hierve a unos 68 °C, mientras que al nivel del mar este valor sube hasta 100 °C. Del mismo modo, el agua cercana a fuentes geotérmicas puede alcanzar temperaturas de cientos de grados centígrados y seguir siendo líquida. Su temperatura crítica es de 373.85 °C (647,14° K), su valor específico de fusión es de 0,334 kJ/g y su índice específico de vaporización es de 2,23kJ/g.

- El agua es un disolvente muy potente, al que se ha catalogado como el disolvente universal, y afecta a muchos tipos de sustancias distintas. Las sustancias que se mezclan y se disuelven bien en agua —como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases (como el oxígeno o el dióxido de carbono, mediante carbonación)— son llamadas *hidrófilas*, mientras que las que no combinan bien con el agua —como lípidos o grasas— se denominan sustancias *hidrofóbicas*. Todos los componentes principales de las células de proteínas, ADN y polisacáridos se disuelven en agua. Puede formar un azeótropo que es una mezcla líquida de dos o más componentes que posee un único punto de ebullición constante y fijo, y que al pasar al estado vapor (gaseoso) se comporta como un compuesto puro, o sea como si fuese un solo componente. con muchos otros disolventes.
- El agua es miscible con muchos líquidos, como el etanol, y en cualquier proporción, formando un líquido homogéneo. Por otra parte, los aceites son *inmiscibles* con el agua, y forman capas de variable densidad sobre la superficie del agua. Como cualquier gas, el vapor de agua es miscible completamente con el aire.
- El agua pura tiene una conductividad eléctrica relativamente baja, pero ese valor se incrementa significativamente con la disolución de una pequeña cantidad de material iónico, como el cloruro de sodio.
- El agua tiene el segundo índice más alto de capacidad calorífica específica —sólo por detrás del amoníaco— así como una elevada entalpía de vaporización (40.65 kJ mol⁻¹); ambos factores se deben al enlace de hidrógeno entre moléculas. Estas dos inusuales propiedades son las que

hacen que el agua "modere" las temperaturas terrestres, reconduciendo grandes variaciones de energía.

- La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad (0,958 kg/l) cuando llega a los 100 °C. Al bajar la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/l) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. Esa temperatura (3,8 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente (casi nada en la práctica), hasta que a los 0° disminuye hasta 0,9999 kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/l a 0,917 kg/l.
- El agua puede descomponerse en partículas de hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis.
- Como un óxido de hidrógeno, el agua se forma cuando el hidrógeno —o un compuesto conteniendo hidrógeno— se quema o reacciona con oxígeno —o un compuesto de oxígeno—. El agua no es combustible, puesto que es un producto residual de la combustión del hidrógeno. La energía requerida para separar el agua en sus dos componentes mediante electrólisis es superior a la energía desprendida por la recombinación de hidrógeno y oxígeno.
- Los elementos que tienen mayor electropositividad es decir que tiende a ceder electrones mas que el hidrógeno —como el litio, el sodio, el calcio, el potasio y el cesio— desplazan el hidrógeno del agua, formando hidróxidos. Dada su naturaleza de gas inflamable, el hidrógeno liberado es peligroso y la reacción del agua combinada con los más electropositivos de estos elementos es una violenta explosión (Metcalf & Hedy, 1995).

-

- **4.3 El Agua en la tierra**

El 70 % del agua dulce de la Tierra se encuentra en forma sólida (Glaciar Grey, Chile).

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los humanos consumen agua potable. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

El total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrosfera. El agua cubre 3/4 partes (71 %) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El 97 % del agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 % de su volumen es dulce. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido. El 2 % restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

El agua representa entre el 50 % y el 90 % de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75 % del cuerpo humano es agua; en el caso de las algas, el porcentaje ronda el 90 %) (CNA, 2005).

En la superficie de la Tierra hay unos 1.386.000.000 km³ de agua que se distribuyen de la siguiente forma, según el Cuadro 1.

Cuadro 1.

Distribución del agua en el planeta tierra. Datos obtenidos de CNA, Comisión Nacional del Agua (2005), "Estadísticas del Agua"

Distribución del agua en la Tierra				
Situación del agua	Volumen en km ³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300.000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	-	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,05	0,001
Atmósfera	12.900	-	0,04	0,001
Embalses	11.470	-	0,03	0,0008
Ríos	2.120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,003	0,0001
Total agua dulce	35.029.110		100	-
Total agua en la tierra	1.386.000.000		-	100

La mayor parte del agua terrestre, por tanto, está contenida en los mares, y presenta un elevado contenido en sales. Las aguas subterráneas se encuentran en yacimientos subterráneos llamados acuíferos y son potencialmente útiles al hombre como recursos. En estado líquido compone masas de agua como océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, canales, manantiales y estanques.

4.4 Contaminación del agua

El agua no sólo es parte esencial de nuestra propia naturaleza física y la de los demás seres vivos, sino que también contribuye al bienestar general en todas las

actividades humanas. El agua se utiliza mayormente como elemento indispensable en la dieta de todo ser vivo y ésta es uno de los pocos elementos sin los cuales no podría mantenerse la vida. Por todo esto el agua ofrece grandes beneficios al hombre, pero a la vez puede transmitir enfermedades, como el cólera.

El agua que procede de fuentes superficiales (ríos, lagos y quebradas), es objeto día a día de una severa contaminación, producto de las actividades del hombre; éste agrega al agua sustancias ajenas a su composición, modificando la calidad de ésta. Se dice que está contaminada pues no puede utilizarse como generalmente se hace.

Esta contaminación ha adquirido importancia debido al aumento de la población y al incremento de los agentes contaminantes que el propio hombre ha creado.

Las fuentes de contaminación son resultados indirectos de las actividades domésticas, industriales o agrícolas. Ríos y canales son contaminados por los desechos del alcantarillado, desechos industriales, detergentes, abonos y pesticidas que escurren de las tierras agrícolas. El efecto en los ríos se traduce en la desaparición de la vegetación natural, disminuyen la cantidad de oxígeno produciendo la muerte de los peces y demás animales acuáticos.

El petróleo vertido en el mar daña gran parte de la fauna y flora.

Contaminantes del agua

- 1.- Microorganismos patógenos causantes de: fiebre tifoidea, paratífus, hepatitis, disenterías, etc.
- 2.- Detergentes sintéticos y fertilizantes ricos en fosfatos.
- 3.- Pesticidas orgánicos como el DDT, aldrín, dieldrín, etc.
- 4.- Productos químicos inorgánicos como los nitratos, nitritos, fluoruros. arsénico, selenio, mercurio.
- 5.- Petróleo y sus derivados como el alquitrán, aceites, combustibles.

Contaminada, el agua se convierte en un vehículo de agentes infecciosos como hongos, virus, bacterias, protozoarios y helmintos, además de sustancias tóxicas como pesticidas, metales pesados y otros compuestos químicos, orgánicos, que son perjudiciales para la salud.

El agua también se utiliza para irrigar cultivos y para dar a beber a los animales, los cuales a su vez se van a convertir en alimento para los humanos y otros seres vivos, haciendo una cadena alimentaria, de tal manera que si las fuentes utilizadas están contaminadas, también se contaminarán nuestros cultivos, los animales, los humanos, y los peces que forman parte del medio acuático (Sans, Mazon, Carmen 2002).

4.4.1 Contaminación del agua por metales pesados

Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01% (García y Dorronsoro, 2005).

Algunos de los metales pesados son bioelementos, es decir son indispensables para que los seres vivos logren completar su ciclo vital (el Cu, Zn, Al, Mg, etc), mientras que hay metales pesados que son no bioelementos (el As, Pb, Cd, Au).

Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio (Higuera y Oyarzun, 2008).

Los metales pesados son principalmente una preocupación porque no pueden ser destruidos por la degradación. Con frecuencia, la remediación de suelos contaminados, aguas subterráneas, y el agua superficial requiere el retiro de metales tóxicos de áreas contaminadas. Los metales pesados más comunes en sitios contaminados son el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el níquel (Ni) y el zinc (Zn) (Henry, 2000).

El problema de la contaminación por metales tóxicos surge como resultado de actividades humanas, principalmente de la industria, agricultura y de la eliminación de residuos mineros. Estos contaminantes son descargados al medio ambiente alcanzando concentraciones por encima de los valores permisibles por legislaciones internacionales (Who, 1992).

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

La mayoría de los metales son también incluidos en el metabolismo de plantas y animales. Todos los organismos, incluido el hombre, se encuentran involucrados en este sentido por el ciclo geoquímico. Cuando los minerales de las rocas son expuestos a la erosión, los metales se liberan y por varias razones, comienzan a circular en el ambiente (Díaz y Ramírez, 2004).

4.4.2 Los macro y micro nutrientes

Los bioelementos son macro y micro nutrientes que son esenciales para que los seres vivos completen su ciclo vital. Los macro nutrientes pueden ser divididos en nutrientes orgánicos y macro nutrientes inorgánicos. Los macro nutrientes orgánicos formados por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Son los glúcidos (formados por monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos), proteínas (la base de su estructura son los aminoácidos y el grupo carboxilo unidos por enlaces peptídicos) y lípidos (formados por glicerol unida a tres ácidos grasos). Los macro nutrientes inorgánicos son elementos consumidos en relativamente elevadas concentraciones por las plantas, como el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio. Mientras que los micro nutrientes (también llamados oligobioelementos) son requeridos en concentraciones traza, como el cobre, el hierro y el zinc. En este estudio se abordan el cobre y el zinc.

4.4.2.1 Cobre

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo (Lenntech, 2008).

Funciones del cobre en los seres vivos. El Cu se parece algo al Fe, debido que forma quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones

($\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Cu}^+$). Por esta razón, desempeñan un papel comparable al del Fe, en los procesos redox de la fisiología de la planta. Sin embargo, a diferencia del Fe, las enzimas que contienen Cu pueden reaccionar con oxígeno molecular y catalizar preferentemente procesos terminales de oxidación. Varias proteínas que contienen Cu desempeñan un papel fundamental en procesos como fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales, superóxido y lignificación. La reducción del transporte fotosintético de electrones, como consecuencia de menores contenidos de plastocianina, una proteína que contiene Cu, disminuye la tasa de fijación de CO_2 , de modo que el contenido de almidón y de carbohidratos solubles (especialmente sacarosa) también se reduce. Este es el principal factor que provoca la reducción de la producción de materia seca en plantas que sufren de deficiencia de Cu durante el crecimiento vegetativo (Kirkby y Romheld 2007).

Efectos del cobre sobre la salud. El cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de cobre en el ambiente se ha expandido. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún. Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes. (ATSDR. 1999.)

Efectos ambientales del cobre. La producción mundial de cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más cobre termina en el

medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con cobre. El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de fuel. El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de cobre después de que esté sea depositado desde el aire (Wright 2003)

El cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

El cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos. Cuando el cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres. El cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. (Wright 2003)

4.4.2.2 Zinc

Es un bioelemento (esencial) químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentra como isótopo de masa atómica 64.

El zinc es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02 %. Ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos. Su principal mineral es la blenda, marmatita o esfalerita de zinc, (Zn). En la industria los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados (Lenntech, 2008).

La etimología de zinc parece que viene del alemán *Zinc*, este del *Zinken* (en español pico, diente), para indicar el aspecto con filos dentados del mineral calamina, luego fue asumida para el metal obtenido a partir de él, aunque otras fuentes consideran que viene de la palabra persa para piedra (Wikipedia, 2012).

Funciones del zinc en los seres vivos. La función principal del zinc es activar las enzimas dando lugar a algunos procesos del metabolismo que hace que las plantas se desarrollen a un ritmo constante y gradual. Por otra parte influye notablemente en formar los carbohidratos que a su vez cumplen con dar la energía requerida para las distintas funciones que requiere hacer la planta. Entre algunas de las funciones está que ayuda a estabilizar los ribosomas, activa la enzima fructosa-6-fosfato que permite el metabolismo de la fotosíntesis y la respiración (Taiz and Zeiger 1998).

Efectos del zinc en la salud. El zinc es un micro nutriente indispensable para el organismo de los humanos y juega un papel importante en una serie de procesos

metabólicos: participa en el sitio catalítico de varios sistemas enzimáticos; participa como ion estructural en membranas biológicas, y guarda una estrecha relación con la síntesis de proteínas, entre otras cosas. (Rosado, 2008)

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe demasiado poco zinc, éstos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor.

Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del zinc puede incluso producir defectos de nacimiento.

Demasiada cantidad de zinc puede también causar problemas de salud evidentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desórdenes respiratorios (Lenntech, 2008).

Efectos del zinc en el medio ambiente. La mayoría del Zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de Zinc está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más y más Zinc termina en el ambiente. El Zinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto. Las plantas a menudo tienen una toma de zinc que sus sistemas no pueden manejar, debido a la acumulación de zinc en el suelo. En suelos ricos en zinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir.

Esta es la razón por la cual no hay mucha diversidad de plantas cerca de factorías de Zinc. El agua es contaminada con zinc, debido a la presencia de grandes cantidades en las aguas residuales de plantas industriales. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas; cuando el zinc entra en los cuerpos de estos peces, éste es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (Lenntech, 2008).

4.4.3. Los no bioelementos: Pb, Cd y As

Los no bioelementos son elementos químicos que no son requeridos por los seres vivos, que al estar presentes provocan daño a los organismos que incluso pueden conducir a la muerte. Entre ellos están algunos metales pesados como el oro, el cadmio, el plomo, el berilio, en este trabajo se midieron las concentraciones del plomo, cadmio y arsénico en ambiente acuático.

4.4.3.1. Plomo

Elemento químico de símbolo Pb, su número atómico es 82 y su peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16 °C (61 °F)), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad a 327.4 °C (621.3 °F) y hierve a 1725 °C (3164 °F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial. Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva (Lenntech, 2008).

El particulado fino de plomo (10-100 μm) puede ser extremadamente peligroso por las siguientes razones: se adhiere más fuertemente a la piel, es más soluble que el particulado grueso en el tracto gastrointestinal, es fácilmente absorbible a través del sistema respiratorio (Higuera y Oyarzun, 2008).

Efectos del plomo sobre la salud. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65 %), agua (20 %) y aire (15 %). El Plomo

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, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, daño al cerebro, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad (Lenntech, 2008).

El plomo es muy tóxico para los seres vivos. Afecta a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de afectar la piel y los riñones. No es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua, en los hogares y en los expuestos a él. La exposición al plomo, aun a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos, causa convulsiones, colapso e incluso la muerte. La exposición a cantidades muy pequeñas puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aun cuando éstos no muestren síntomas particulares. En los adultos, un nivel bajo de plomo causa incrementos pequeños, pero significativos, en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. La hipertensión causada por la exposición al plomo contribuye a la muerte de miles de personas cada año. También afecta la fertilidad (Valdez, 2001).

El límite máximo permisible de plomo en la sangre según la Norma Oficial Mexicana promulgada en Junio de 1999, es de 10 µg/dL (0.1 ppm). Sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal (Valdés y Cabrera, 1999).

Efectos del plomo en el medio ambiente. El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias (Lenntech, 2008).

Dado que el plomo es acumulativo, éste tiene un movimiento lento dentro de las plantas, pero en altas concentraciones puede ser tóxico para los cultivos, éstos pueden presentar un crecimiento lento o no se llegan a desarrollarse normalmente (Vázquez, 2001).

Las partículas grandes de plomo se precipitan en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. (Higuera y Oyarzun, 2008).

4.4.3.2. Cadmio

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20 °C (68 °F). Su punto de fusión de 320.9 °C (610 °F) y de ebullición de 765 °C (1410 °F) son inferiores a los del zinc. El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa en los Estados Unidos es extraído durante la producción de otros metales como zinc, plomo y cobre. El cadmio no se oxida fácilmente, y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales, y plásticos (Lenntech, 2008).

Efectos del cadmio en la salud. Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea. El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de

exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. En animales a los que se les dio cadmio en la comida, en el agua se observaron aumento de la presión sanguínea, déficit de hierro en la sangre, enfermedades al hígado y lesiones en los nervios y el cerebro. No sabemos si estos efectos ocurren en seres humanos expuestos a cadmio a través de los alimentos o del agua. Contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos (ATSDR. 1999.)

Efectos del cadmio en el medio ambiente. De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias. Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. (Wright 2003)

Parte del cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante es vertido por las compañías productoras. En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua

dulce. Animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro (Emsley 2001).

4.4.3.3. Arsénico

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre). Es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleído estable, $^{75}_{33}\text{As}$; el peso atómico es de 74.922. Se conocen otros 17 nucleídos radiactivos de As, se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita, pilo); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs₂ (löllingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorffita) y CoAs₂ (esmaltita) (Lenntech, 2008).

Efectos del arsénico sobre la salud. 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. Los niveles de arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de arsénico en peces y mariscos puede ser altos, porque los peces absorben arsénico del agua donde viven. Por suerte esto es mayormente la forma de arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana. (Lenntech, 2008).

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de

glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago. (ATSDR. 1999).

Efectos ambientales del arsénico. El arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos soluble en agua o volátil. En realidad el arsénico es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. El arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el arsénico inmóvil se ha movilizó también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

El ciclo del arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de arsénico terminan en el ambiente y en organismos vivos. El arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias

productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. (Lenntech, 2008).

El arsénico como contaminante del agua. El arsénico puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural. Cuando el arsénico entra en contacto con el agua subterránea este puede terminar en el agua de nuestro grifo. El arsénico es un metaloide, lo cual básicamente significa que tiene propiedades de metal y no metal. Como compuesto, el arsénico puede ser tóxico, es por eso que es aplicado comúnmente en el veneno de rata.

El arsénico puede terminar en el ambiente a través de la producción industrial de cobre, plomo y zinc. Y a través de la aplicación de insecticidas en granjas. Adicionalmente, éste es un ingrediente de preservación de las maderas. La toma de grandes cantidades por largo tiempo en el agua potable que contiene arsénico puede causar problemas en la piel y ciertos cánceres, como el de piel y pulmón. La purificación del agua es importante cuando el arsénico está presente. (Lenntech, 2008).

Concentraciones de arsénico en el agua potable. La OMS (Organización Mundial de la Salud) advierte que la máxima concentración segura para la salud es de 10 ppb. Aunque el arsénico puede encontrarse en las aguas superficiales, las aguas subterráneas son la principal fuente de arsénico en agua. Consecuentemente, concentraciones por encima de 10ppb pueden ser encontradas en aguas subterráneas de forma natural.

Eliminación de As del agua. El arsénico puede ser eliminado del agua de varias maneras. Por ejemplo por técnicas de purificación de agua que consisten en la coagulación con hierro y aluminio, adsorción por alúmina activa, intercambio iónico y filtración por membrana. El As (V) se elimina más fácil que el As (III). El As (III) puede eliminarse tras ser pre-oxidado a As (V) (Wright 2003)

4.5 Los esteros

El término **estero** se utiliza en varios contextos ecológicos y geográficos para designar condiciones de pantano generalmente en zonas planas con drenaje imperfecto.

Como estero también se designa a una extensión pantanosa de gran tamaño que suele llenarse de agua por la lluvia (anegación) o por desborde de un río o laguna durante las crecientes (inundación).

Asimismo se puede considera que un estero, se encuentran en algunas de las regiones tropicales y subtropicales, de escasa profundidad (< 3 m), permanente o semipermanente, con poca superficie de agua libre y sin movimiento, estratificación térmica con capa superficial más caliente, con oxígeno disuelto escaso hasta nulo, abundantes vegetación acuática sumergida y emergida circundante, con abundante sedimento en descomposición y pobre población planctónica, sobre todo de fitoplancton (Yáñez, 1993).¹

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el ejido La Perla ubicado en el municipio de Nazas, Durango. En noviembre del 2010.

5.1. Características ecológicas de la región de Nazas Durango

5.1.1. Clima y vegetación

Su clima de verano va desde semicálido a cálido seco y en invierno desde semifrío a frío. Los meses de lluvia son de mediados de junio a mediados de octubre. El resto del año se considera seco con temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 224.6 mm. Koeppen lo califica dentro del tipo desértico y Thronthwaite lo califica como árido. (Santibañez, 1992).

Las condiciones climáticas determinan que los tipos de vegetación predominantes sean de matorral xerófilo con todas sus variantes (Rzedowski 1983). Los índices de evaporación son elevados, por lo que la vegetación natural existente solo es apropiada para la recolección forestal no maderable y para el pastoreo de ganado de diversa utilidad. Otro tipo de vegetación que predomina en la región es la vegetación de galería caracterizada por la presencia de sabinos, álamos y sauces.

5.1.2. Agua superficial y de bombeo

La utilización del agua de los ríos en la agricultura, es el sistema más antiguo en la región. El agua proviene del río Nazas, que actualmente cuenta con una compleja infraestructura hidráulica para su aprovechamiento, misma que cuenta con dos presas: la Lázaro Cárdenas (que es almacenadora) y la Francisco Zarco (que es reguladora), y una amplia red de canales principales y secundarios revestidos de cemento, derivadoras, drenes, etc.

El agua de bombeo, es una fuente de agua principalmente es explotada por pequeños propietarios que cuentan con cultivos perennes como la alfalfa. Cabe mencionar que las áreas de cultivo cercanas al río, muchas tienen mantos freáticos poco profundos pueden ser tan superficiales como de 30 a 50 cm de profundidad.

5.1.3. Actividades agropecuarias

La principal actividad socioeconómica de la región es la agricultura, los principales cultivos son: el nogal, para la producción de nuez, la alfalfa para la producción de forrajes, cacahuate, cultivos básicos como el maíz y el frijol, chile, algunas otras hortalizas como jitomate, calabazas, etc.

5.2 Metodología

5.2.1 Muestreo de aguas

El estudio se realizó en tres esteros cercanos a un predio agrícola ubicado en el ejido La Perla del municipio de Nazas, Durango. Se tomaron tres muestras de agua de cada estero, el primer estero tuvo una profundidad de tres metros, es un estero modificado por la mano del hombre se encuentra rodeado por diferentes plantas, en la cual se tomaron tres muestras de agua se almacenaron en botellas previamente esterilizadas de 600 ml.

El segundo estero tuvo una profundidad de alrededor de 50 cm. Se recolectaron tres muestras de agua y se almacenaron en botellas.

El tercer estero tuvo una profundidad de 50 cm, se recolectaron tres muestras de agua en botellas.

Para hacer el análisis de las muestras de agua, estas se trasladaron al laboratorio del Departamento de Suelos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Unidad laguna ubicada en el Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe. Torreón, Coahuila México.

En total fueron 9 muestras y cada muestra fue analizada para determinar la concentración de As, Zn, Pb, Cu y Cd.

5.2.2. Determinación de Metales pesados

5.2.2.1 Determinación de As

Para determinar el Arsénico se utilizó el método de tiras reactivas de la marca Merck el cual tiene un Intervalo de medida .1-.5 mg/l AS.

El procedimiento utilizado con este método fue el siguiente: con una jeringa se tomó 5 ml de la muestra de agua recolectada, se añadió en un tubo de ensaye con un volumen de 60 ml. y se le agregó el reactivo AS-1 con una microcuchara rasa, la cual es la medida proporcionada por el mismo set del método de tiras reactivas, se agitó ligeramente hasta que el reactivo se disolvió, posteriormente a la tapa del tubo se le colocó una tira reactiva con un fijador, al tubo de ensaye se le añadió el reactivo AS-2 con la misma medida la cual fue una microcuchara rasa, luego el tubo se cerró de inmediato. Se dejó reposar 20 minutos y se agitó dos o tres veces en forma circular.

Una vez que terminó el tiempo de reposo se retiró la tira, se secó y posteriormente se tomó la lectura que coincidiera con la escala de medición en mg/l proporcionada en el set del Método de tiras reactivas.

5.2.2.2 Determinación de Zn, Cu, Pb y Cd.

Para determinar estos metales, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de flama de la marca Perkin-Elmer 2380.

El procedimiento para la preparación de las muestras de agua fue el siguiente: se colocaron 100 ml de agua de cada muestra en un vaso de precipitado de 150 ml. Posteriormente se colocaron en una placa de calentamiento para que se evaporaran 75 ml de la muestra, sin que llegara a la ebullición, dejando un total de 25 ml. Las muestras se dejaron enfriar y luego se agregó 1 ml de ácido nítrico. Se colocaron en vasos de precipitados de 50 ml para posteriormente tomar las lecturas en el aparato de absorción atómica el cual fue calibrado para posteriormente tomar la lectura correspondiente de cada una de las muestras para determinar la concentración de los elementos.

5.2.2.3 Procesamiento estadístico de los datos

Los resultados obtenidos se emplearon para determinar la media de las muestras, y la desviación estándar por cada metal analizado. Estos valores fueron comparados con los límites máximos permisibles según normas mexicanas vigentes.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se muestran los resultados de las concentraciones calculadas en los diferentes esteros cercanos al cauce principal del río Nazas.

La concentración de As de acuerdo a los resultados, se puede ver que no hay problema de excesiva concentración de este metaloide, debido a que los esteros son prácticamente superficiales. Aunque en el estero 3, las 3 muestras están ligeramente por arriba de los límites permisibles, obteniendo el promedio del estero la concentración encontrada está dentro de los límites máximos permisibles (LMP), de acuerdo a la norma: NOM-001-ECOL-1996

Lenntech (2008) menciona que la exposición a As puede ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga As. Los niveles de arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben arsénico del agua donde viven. Por suerte mayormente la forma de arsénico orgánico es menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana. (Lenntech, 2008).

La concentración de zinc de acuerdo a las muestras tomadas, es prácticamente nula de acuerdo a los límites permisibles de la NOM-001-ECOL-1996, el elemento se encuentre en un promedio de $.42 \text{ mg/kg}^{-1}$ de concentración, de este metal no está libre totalmente de este contaminante.

Rosado, (2008) describe al zinc como un nutrimento indispensable para el organismo de los humanos y juega un papel importante en una serie de procesos metabólicos: participa en el sitio catalítico de varios sistemas enzimáticos; participa como ion estructural en membranas biológicas, y guarda una estrecha relación con la síntesis de proteínas, entre otras cosas.

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Entre algunas de las funciones está que ayuda a estabilizar los ribosomas, activa la enzima fructosa-6-fosfato que permite el metabolismo de la fotosíntesis y la respiración (Taiz and Zeiger 1998).

Cuando la gente absorbe poco zinc, éstos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, al sabor y al olor, además puede producir defectos de nacimiento.

El plomo en las concentraciones obtenidas de las muestras tomadas en promedio, se encuentran en un 40 % en por arriba del límite máximo permisible, en el primer estero el 100 % de la muestras realizadas se encuentra por arriba de lo permitido por las normas oficiales mexicanas., en el caso del segundo estero, es donde se encuentra la mayor concentración de contaminante correspondiéndole el 33.3 % de las muestras tomadas. En el caso del tercer estero se encuentra ligeramente por arriba de las muestras oficiales con un 66.6 % de las muestras tomadas. La media de concentración de Pb está por encima del límite máximo permisible.

Lenntech, (2008) determinó que el plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65 %), agua (20 %) y aire (15 %). Además 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, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, daño al cerebro, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad

Valdés y Cabrera, (1999) dicen que el límite máximo permisible de plomo en la sangre según la Norma Oficial Mexicana promulgada en Junio de 1999, es de 10

$\mu\text{g/dL}$ (0.1 ppm). Sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal.

En el caso del Cu en promedio la concentración a que se encuentra está dentro del LMP de las NORMAS OFICIALES MEXICANAS de acuerdo Wright (2003), los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con cobre. El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de fuel.

Kirkby y Romheld (2007) mencionan que el Cu influye en la reducción del transporte fotosintético de electrones, como consecuencia de menores contenidos de plastocianina, una proteína que contiene Cu, disminuye la tasa de fijación de CO_2 , de modo que el contenido de almidón y de carbohidratos solubles (especialmente sacarosa) también se reduce. Este es el principal factor que provoca la reducción de la producción de materia seca en plantas que sufren de deficiencia de Cu durante el crecimiento vegetativo.

El cobre en el aire permanecerá por un periodo de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover, este como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de cobre después de que esté sea depositado desde el aire, sus efectos en la salud. ATSDR (1999) menciona que exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. También una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre existe una disminución de la inteligencia en adolescentes.

En cuanto al Cd, se encuentra muy por arriba de los LMP, obteniendo un promedio en los esteros de 1.47 mg/kg^{-1} cuando debe de estar en $.2 \text{ mg/l}$. De acuerdo a ATSDR (1999), ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea, además puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos

niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración.

Wright. J (2003) describe que el Cd es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes, también por las actividades humanas, como es la manufacturación. Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales, donde sabes que en la región es muy usada para la actividad agrícola.

Cuadro 2. Concentración de metales pesados (As, Zn, Pb, Cu y Cd) en cuerpos de agua cercanos al río Nazas, en la región de Nazas, Durango. 2010.

Variables		As	LMP*	Zn	LMP*	Pb	LMP*	Cu	LMP*	Cd	LMP*
Estero	Muestras	Mg/l	Mg/l	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹	Mg/kg ⁻¹
1	1	0	.2	.45	10	.73	.5	2.21	4	1.48	.2
	2	0	.2	.43	10	.55	.5	2.23	4	1.46	.2
	3	0	.2	.38	10	.7	.5	2.25	4	1.47	.2
	1	0	.2	.4	10	.65	.5	2.25	4	1.46	.2
2	2	0	.2	.42	10	.78	.5	2.27	4	1.47	.2
	3	0	.2	.42	10	.83	.5	2.28	4	1.46	.2
	1	.1	.2	.42	10	.55	.5	2.28	4	1.48	.2
3	2	.4	.2	.42	10	.5	.5	2.27	4	1.5	.2
	3	.3	.2	.36	10	.73	.5	2.25	4	1.49	.2
Media		.08		.42		.7		2.25		1.47	.
Desv Est.		.153		.027		.113		.023		.014	

*Según NOM-001-ECOL-1996.

7. CONCLUSIONES

La concentración del As en el estero 3 tiene una concentración de .26 en promedio, ligeramente por encima del límite máximo permisible (LMP), en los otros dos esteros es prácticamente nulo.

En el caso del Zn se encuentra en muy bajas concentraciones, comparado con el LMP.

En el caso del Pb el 88.8 % de las muestras se encuentran por arriba del LMP.

El Cu se encuentra dentro de los LMP

El Cd se encuentra en concentraciones en un 735 % excesivas en los esteros.

La calidad de agua de estos esteros son diferentes en cada uno de ellos debido a que la actividad principal en esta región es la agricultura convencional y consecuentemente es un factor importante para la contaminación de estos, la utilización de productos químicos, fertilizantes, entre otros, y las lluvias que son un factor de arrastre de estos y otros metales, conduce a contaminar los esteros, por lo que debemos de tener cuidado con el buen manejo del agua.

8. RECOMENDACIONES

Las concentraciones de los metales no nutrientes (contaminantes, no bioelementos), son excesivas por lo cual se recomienda primero detectar las fuentes de contaminación, que pudieran ser los fertilizantes inorgánicos, la actividad minera. Segundo favorecer las actividades de técnicas agroecológicas (uso de compostas, control biológico de plagas, control manual de malezas, evitar monocultivos).

Aumentar el número de muestreos en los esteros, el número de esteros, hacer muestreos en distintas épocas del año.

Se recomienda tener precaución, ya que en el metal pesado Cd, se encuentra sobre los límites permisibles por la norma oficial mexicana.

Se recomienda también realizar muestreos de suelo ya que esta agua la utilizan para uso agrícola y se tendría que observar la manera que ha influido estos metales sobre los suelos agrícolas.

Los metales nutrientes (bioelementos) se encuentran dentro de los LMP.

9. LITERATURA CITADA

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades)., 1999. Reseña Toxicológica. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html#bookmark05> (Consultada noviembre 2010)

CNA., Comisión Nacional del Agua. 2005. Estadísticas del Agua en México. Un producto del Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), México. http://www.ctv.es/clean_world/ (Consultada en noviembre 2010).

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

Emsley J. 2001. Las piezas de construcción de la naturaleza (Nature's Building Blocks). 45 p.

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

García I. y C. Dorronsoro C. 2005. Contaminación por metales pesados. En: Tecnologías de suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. P.74-78.

Henry R. J. 2000. (En línea). National Network of Environmental Management Studies(NNEMS) Fellow. U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation office. Washington, D.C. <http://clu-in.org> (Consultada el día 15 de Abril del 2011).

Higuera P. y R. Oyarzun. 2008. (En línea). Metales Pesados. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad Politécnica de Almeda. España.

http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema08/Minerales_salud_2.htm
(Consultada el día 29 de Marzo del 2012).

Kirkby E., V. Romheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. The International Fertilizer Society, P.O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom. 543 p.

Lenntech.2011.<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm#ixzz1MCoje200>
(consultada febrero 2011).

Metcalf & Hedy, Inc . 1995. Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización, 1995 p. 275 – 400.

NOM Normas ecológicas.1996.http://enviro.lclark.edu:8002/rid=1216239337224_1570360035_1086/NOM_001_ECOL. (Consultada en noviembre de 2010).

Olmos G. C., 2000 Eutrofización en embalses de altura, Incachaca-jhampaturi. Problemática del siglo XXI. 112 p.

Ringuelet, R.A. 1962. Ecología acuática continental. EUDEBA, Buenos Aires, Argentina. 167 p.

Rosado J. L. 2008. Deficiencia de Zinc y sus Implicaciones Funcionales. Vol. 6 No. 4 2005, México, DF. 433 p.

Rzedowski, J.1983. Vegetación de México. Segunda reimpresión. Ed. Limusa Mex. D.F. 364 p.

Santibáñez, E. 1992. La Comarca Lagunera. Monografía. Torreón Coah. (Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2011).

Sans, Mazon, Carmen; Tratamiento Biológico de Residuos, 2002. 320 p.

Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. P. O. Box 407. 23 Plumtree Road, Sunderland, MA, 01375 U.S.A. 792 p.

Valdés P., F. y V.M. Cabrera 1999. La Contaminación por Metales Pesados en Torreón, Coahuila, México 1a Ed. Texas Center for policy studies, CILADHAC, Torreón, Coahuila, México.

Valdez. 2001. (En línea). Contaminación por Metales Pesados en Torreón, Coahuila. <http://www.jornada.unam.mx/2001/04/30/eco-valdez.html>. (Consultada el día 7 de Septiembre de 2011).

Vázquez M. D 2001. (En línea). Uso de especies vegetales para controlar superficies contaminadas. Ecotropia. www.ecotropia.com. (Consultada el día 29 de Octubre del 2010).

WHO. 1992. Cadmium. Environmental Aspects. WHO Finlandia. 86 p.

Wright, J. 2003. Química medioambiental (Environmental Chemistry). Autor: John Wright. 2003. 94 p.

Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/> (consultada diciembre 2010).

Yáñez Cosío, Fabian. Lagunas de Estabilización, Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento, 1993, 204 p.

Anexos

Tabla de límites permisibles para metales pesados y cianuros de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	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.