

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”.
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS.



**CONTAMINACION POR METALES PESADOS DE LA PRESA
FRANCISCO ZARCO EN EL ESTADO DE DURANGO.**

POR

RIGOBERTO ALVAREZ DE LOS SANTOS.

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

Contaminación por metales pesados de la presa Francisco Zarco en el Estado de Durango.

TESIS DEL C. **RIGOBERTO ALVAREZ DE LOS SANTOS** QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE

DR. MARIO GARCIA CARRILLO.

VOCAL:

DR. HECTOR MADINA VEITIA RIOS.

VOCAL:

DR. ALFREDO OGAZ.

VOCAL:
SUPLENTE

ING. JOEL LIMONES AVITIA



ING. VICTOR MARTINEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAH.

NOVIEMBRE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

Contaminación por metales pesados de la presa Francisco Zarco en el Estado de Durango.

TESIS DEL C. **RIGOBERTO ALVAREZ DE LOS SANTOS** QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

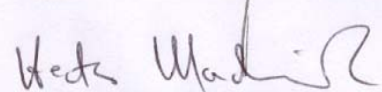
APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



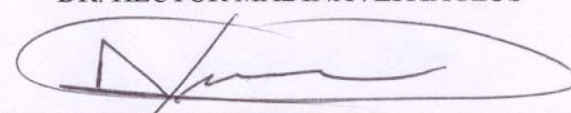
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:



DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

ASESOR:



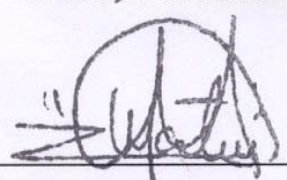
DR. ALFREDO OGAZ.

ASESOR:

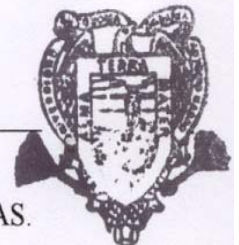


ING. JOEL LIMONES AVITIA.

SUPLENTE



ING. VICTOR MARTINEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS.



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE 2009

DEDICATORIAS

A mis padres. Sr. Ramón Álvarez Alpuche y Rosa de los Santos de los Santos.

Por la vida y el derecho de existir en este mundo.

A mis hermanos. Dora Alicia, Rafael, Ramón, María del Carmen, Rosa María.

Por ser mi razón de ser y existir, por ser mi inspiración para seguir adelante y cumplir el sueño que todos nosotros teníamos.

A mis abuelos paternos María de Jesús que en paz descansa y dios la tenga en su gloria y José Álvarez Bautista por darme la crianza a mis hermanos y a mí y por su amor infinito.

A mi hermanita dora Alicia Álvarez por tener la confianza en mí y darme alas para Volar y cumplir mi sueño de tener una carrera te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.- Por la vida, por la fortaleza que me ha dado para seguir adelante en mi vida y haberme permitido culminar uno de mis sueños y por su amor infinito gracias por que siempre supo ponerme en buenas manos.

A MI ALMA TERRA MATER. Por cobijarme en tu seno y darme las herramientas necesarias para poder prepararme y culminar la carrera.

A MIS PADRES. Por la vida y el amor que se que me tienen.

A MIS HERMANOS. A cada uno de ustedes. Por ser la razón de mi vida y ser mi inspiración para seguir adelante.

A MIS ABUELITOS. Paternos por cobijarnos en su regazo y forjarnos el carácter y coraje que tenemos para enfrentar la vida por el amor que me han dado durante toda mi vida.

A MIS ASESORES.

Especialmente al Dr. MARIO GARCÍA CARRILLO por brindarme su confianza y apoyo incondicional para que fuera posible concluir con mi tesis así también al ing. Joel limones Avitia, Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, Dr. Alfredo Ogaz Gracias por haberme dado la oportunidad de realizar la investigación con ustedes y por todo su apoyo para que la investigación fuese posible.

QFB. NORMA por brindarme su apoyo y amistad y por ayudarme a realizar los cálculos necesarios en laboratorio.

AL Ing. JESUS MANUEL LUNA DAVILA por darme su apoyo incondicional y brindarme su infinita amistad muchas gracias por que en el encontré un padre y gracias por que nunca me abandono siempre estuvo conmigo y me alentaba a seguir adelante y nunca me dejo caer.

Al Ing. JOEL LIMONES AVITIA por sus enseñanzas y por sus sugerencias durante la revisión de mi tesis.

A TODA LA FAMILIA SANTOS NAVARRETE especialmente a mi novia hermosa Dulce Marisol y mi princesa Sofía Marisol por alentarme y llegar en un momento que alegraron mi vida, a sus padres Juan Antonio y Fany por su confianza, por su apoyo incondicional y sus consejos, a mis cuñados Paola y Marco Antonio por su amistad.

AL Dr. FRANCISCO JAVIER CARRILLO MORALES por su adopción y brindarme su apoyo y confianza y apoyarme en momentos difíciles.

A mis compañeros de Generación de Procesos Ambientales. Gracias por su amistad, por todas las experiencias que viví junto a cada uno de ustedes y por adoptarme en su grupo.

A mis amigas Adriana, kika, cristina por su valiosa amistad y a todos aquellos que por razones de espacio no pueda mencionar en este momento pero que han intervenido de alguna u otra forma en mi vida y que me extendieron su mano en los momentos difíciles. Gracias por todo.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN-----	VII
I.- INTRODUCCION-----	1
1.1- OBJETIVOS-----	2
1.1.1 - OBJETIVOS GENERALES -----	2
1.1.2- OBJETIVO ESPECIFICO.-----	2
1.1.3- HIPOTESIS-----	2
II.- REVISION DE LITERATURA-----	3
2.1.- ANTECEDENTES GENERALES.-----	3
2.2.- PLOMO (Pb)-----	4
2.2.1- EFECTOS DEL PLOMO SOBRE LA SALUD-----	4
2.2.2- EFECTOS DEL PLOMO EN EL MEDIO AMBIENTE-----	7
2.3.- CADMIO (Cd)-----	10
2.3.1- EFECTOS DEL CADMIO EN LA SALUD-----	10
2.3.2- EFECTOS DEL CADMIO EN EL AMBIENTE-----	11
2.4.- ARSENICO (As)-----	12
2.4.1- EFECTOS DEL ARSENICO EN LA SALUD-----	12
2.4.2- EFECTOS DEL ARSENICO EN EL AMBIENTE-----	13
2.5.- ZINC (Zn)-----	16
2.5.1- EFECTOS DEL ZINC EN LA SALUD-----	17
2.5.2- EFECTOS DEL ZINC EN EL AMBIENTE---	18

2.6- NITRATOS -----	19
2.6.1- EFECTO DE LOS NITRATOS SOBRE LA SALUD---	20
2.6.2- EFECTO DE LOS NITRATOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE-----	20
2.7- NORMA OFICIAL MEXICANA-----	28
 III.- MATERIALES Y METODOS-----	 29
3.1- LOCALIZACION DE LA PRESA FRANCISCO ZARCO---	29
3.2- UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO-----	32
3.3- MUESTREO DEL AGUA-----	33
3.4- TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA-----	33
3.5- ANALISIS DEL AGUA -----	33
3.6- METODOS UTILIZADOS-----	33
 IV.- RESULTADOS Y DISCUSION -----	 35
 V.- CONCLUSION -----	 40
 VI.- RECOMENDACIONES -----	 41
 VII.- BIBLIOGRAFIA-----	 42

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1.- 2.7.- NORMA OFICIAL MEXICANA NO-127-SSA1- 1994-----	28
3.2.- UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO-----	32
CUADRO 2.- RESULTADOS DEL ANALISIS DE METALES PESADOS Y NITRATOS EN EL PRIMER MUESTREO (PRIMAVERA DEL AÑO 2007)-----	36
CUADRO 3.- RESULTADOS DEL ANALISIS DE METALES PESADOS Y NITRATOS EN EL SEGUNDO MUESTREO (OTOÑO DEL AÑO 2007)-----	38

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- PRESA FRANCISCO ZARCO VISTA NORTE-----	29
FIGURA 2.- PESA FRANCISCO ZARCO ENTRADA POR PEDRICEÑA-----	30
FIGURA 3.- PRESA FRANCISCO ZARCO VISTA PANORAMICA--	31

RESUMEN

La concentración de nitratos y metales pesados en el agua subterránea y superficial es un problema a nivel mundial, por lo cual nuestro país y concretamente la comarca lagunera no son la excepción, es por esto, la necesidad de realizar investigaciones al respecto ya que los metales pesados y nitratos provocan enfermedades en los seres humanos. Esto es importante debido a que la presa Francisco Zarco es una fuente de abastecimiento de agua para el riego de cultivos agrícolas en municipios, tanto de Coahuila como del estado de Durango.

El presente estudio se llevo acabo en la presa Francisco Zarco durante la primavera-otoño 2007, los metales determinados fueron los siguientes: plomo, cadmio, zinc, arsénico y nitratos, obteniendo diferentes resultados en la comparación de dos muestreos realizados en diferentes estaciones del año.

De acuerdo a la NOM 127 DE LA SSA1-1994, los elementos como el plomo y cadmio se encuentran arriba del limite que marca la norma, siendo las concentraciones máximas permisibles de plomo 0.025 ppm y del cadmio 0.005 ppm; Mientras que para el zinc el máximo permisible es de 5.00 ppm el cual se encuentra dentro de la norma al igual que los nitratos, para los cuales la concentración máxima permisible es de 10.00 ppm, conforme a los resultados obtenidos en el primer muestreo el arsénico no fue detectado para el cual su limite máximo es de 0.05 ppm. En el segundo muestreo realizado, el arsénico tuvo presencia pero en cantidades considerables de acuerdo a la norma establecida en cuanto al plomo y cadmio fueron encontrados cantidades considerables parecidos al primer muestreo.

PALABRAS CLAVE: metales, contaminación, concentración, evaluación, agua.

I.- INTRODUCCION

En los últimos años, la investigación hidrogeológica se ha centrado en los problemas de contaminación del agua por metales pesados y nitratos. En la mayoría de los casos, no se trata ya de encontrar agua, sino de estudiar el contenido de la misma. Las principales actividades humanas que generan contaminación de las aguas superficiales y subterráneas se engloban en: residuos sólidos urbanos normalmente depositados en superficie, los líquidos que proceden de los propios residuos o bien el agua de lluvia que se infiltra a través de ellos que conllevan contaminantes orgánicos e inorgánicos alcanzan la superficie freática. La concentración de nitratos y metales pesados en el agua subterránea y superficial es un problema a nivel mundial, por lo cual nuestro país y concretamente la comarca lagunera no son la excepción, es por esto, la necesidad de realizar investigaciones al respecto ya que los metales pesados y nitratos provocan enfermedades en los seres humanos. Esto es importante debido a que la presa Francisco Zarco es una fuente de abastecimiento de agua para el riego de cultivos agrícolas en municipios, tanto de Coahuila como del estado de Durango.

1.1.- OBJETIVOS

1.1.1.- OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el grado de contaminación del agua de la presa Francisco Zarco en el estado de Durango.

1.1.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la concentración de metales pesados tales como: plomo, zinc, cadmio y arsénico en la presa Francisco Zarco.
- Evaluar el nivel de nitratos en el agua superficial de la presa Francisco Zarco.
- Comparar la concentración de metales pesados y nitratos con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

1.1.3.- HIPOTESIS

- El agua de la presa Francisco Zarco está contaminada por metales pesados
- El agua de la presa Francisco Zarco esta contaminada por altas concentraciones de nitratos.
- La concentración de metales pesados y nitratos rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- ANTECEDENTES GENERALES

Los efectos de la intoxicación por plomo fueron descritos por Hipócrates en la antigua Grecia. Benjamín Franklin también describió el efecto de la ingesta de este metal entre los trabajadores de su imprenta, especialmente los que fabricaban y manipulaban los linotipos hechos de plomo. A pesar de tener referencias tan antiguas, el problema del plomo no se ha atendido como se debiera. Hasta hace unos treinta años es que ha interesado a la toxicología y a las instituciones de salud, por ejemplo, los textos de toxicología hasta la década de los setenta no dedicaban mayor atención a este problema, aunque si registraban los casos de envenenamiento por cadmio en Japón en los cincuentas y por metilo de mercurio tanto en Japón en los cincuentas y en Irak en 1972. (Valdés *et al.*, 1999). Desde mediados de los años setenta, las autoridades de salud de los Estados Unidos reconocieron al envenenamiento por plomo en niños como un problema grave al que llamaron una epidemia silenciosa. Una vez reconocido el problema, las autoridades de salud emitieron normas cada vez más estrictas sobre los niveles de este metal en la sangre, mientras que las autoridades del medio ambiente prohibieron el uso de las pinturas basadas en plomo en 1978 y se empezó a sustituir paulatinamente el plomo en las gasolineras a partir de la década de los setenta. Al mismo tiempo, la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) señalaba límites máximos para la concentración del plomo en el aire. (Valdés *et al.*, 1999).

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil a estos elementos tóxicos, que los encontramos tanto en agua superficial como subterránea tales como plomo, arsénico, cadmio, y zinc e incluso en el suelo y en el aire, como es el caso de plomo. El envenenamiento por plomo no es un problema exclusivo de una ciudad. En otros lugares puede presentarse la

contaminación por plomo pero las fuentes emisoras pueden ser distintas. (Valdés *et al.*, 1999).

A continuación se describen algunos metales pesados, sus efectos sobre la salud y algunas medidas de prevención que pueden tomarse en el ámbito personal y familiar. Es claro que un problema de contaminación requiere de medidas en otro nivel (industrial, social), pero también es cierto que en el ámbito inmediato y personal es donde el individuo tiene mayor influencia.

2.2.-PLOMO (Pb)

El plomo es un metal pesado, azulado, suave y maleable, es usado en varios procesos industriales. Existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. La exposición al plomo, aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos.

2.2.1.- EFECTOS DEL PLOMO SOBRE LA SALUD

En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte. La exposición a cantidades sumamente pequeñas de plomo puede causar a largo plazo daños notables e irreversibles en niños, aún cuando éstos no muestren síntomas particulares. Se ha encontrado que una concentración de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre ($\mu\text{g/dL}$) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. El plomo en la sangre de los niños

puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual (donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño. Para poner estos datos en perspectiva, debemos especificar que un microgramo es una millonésima parte de un gramo y un decilitro es la décima parte de un litro. El límite máximo permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana promulgada en junio del año (1999), es de 10 $\mu\text{g/dL}$, sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal, ni es deseable. Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal. El plomo causa anemia en los niños y en los adultos al impedir la formación de moléculas que transportan el oxígeno. En los adultos, la exposición a niveles sumamente bajos de plomo causa incrementos pequeños pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. También en los adultos, el plomo causa enfermedades renales y afecta la fertilidad. La alta presión arterial (hipertensión) causada por la exposición al plomo, contribuye a que mueran miles de personas cada año, especialmente personas entre las edades de 35 y 50 años. Se cree que el uso generalizado que le daban en la antigua Roma (en recipientes, tubería, etc.) tuvo que ver con la decadencia de su civilización. Los romanos usaban incluso el acetato de plomo, por su dulzura, como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación a quien lo bebía. Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo (que se dejaron de usar en México en 1997). En nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o Environmental Defense Fund¹⁵, el plomo aparece como un material que es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más

peligrosos para la salud humana. Es recomendable vigilar los niveles del plomo en la sangre para valorar la exposición a este peligroso metal. Se recomienda tener hábitos de higiene estrictos, sobre todo en los niños para evitar que el plomo entre por la boca. Puede uno protegerse evitando fumar, reduciendo la ingestión de bebidas alcohólicas (el alcohol favorece la absorción del plomo) y consumiendo cereales, frutas y hortalizas de cultivo orgánico. Se debe evitar el uso de loza de barro vidriado, sobre todo para cocinar o guardar alimentos con alta acidez. Ingerir vitamina D es una buena idea así como tomar alimentos ricos en calcio y hierro (leche, yoghurt, frijoles, tortillas, etc.). Si la persona afectada vive cerca de una fuente emisora de ese metal como fundidoras, fábricas de pigmentos o de baterías, es recomendable cambiar de domicilio. (Valdés *et al.*, 1999).

El cuerpo humano contiene aproximadamente 120 mg de plomo. Alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Los síntomas de la exposición al Plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis. Generalmente los efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos. El plomo orgánico causa necrosis de neuronas. El plomo inorgánico crea degeneración axónica. Ambas especies de plomo causan edema cerebral y congestión. Los compuestos orgánicos del plomo se absorben rápidamente y por lo tanto suponen un mayor riesgo. Los compuestos orgánicos del plomo pueden ser cancerígenos. Las mujeres son generalmente más susceptibles al envenenamiento que los hombres. El plomo causa alteraciones menstruales, infertilidad y aumenta el riesgo de aborto. Los fetos son más susceptibles al envenenamiento por plomo que las madres, e incluso los fetos protegen a la madre del envenenamiento por plomo. En tiempos pasados el plomo se aplicaba como medida del control de la natalidad, por ejemplo como espermicida y para inducir el aborto. Los niños absorben mayores cantidades de plomo por unidad de masa corporal que los adultos (hasta un 40%). Por lo tanto los niños son generalmente más susceptibles al envenenamiento por plomo que los adultos. Los síntomas incluyen inferiores cambios de comportamiento y desorden en la concentración. El plomo se acumula en los tejidos, el tipo más severo de envenenamiento causa encefalopatía. La toxicidad del plomo tiene lugar cuando los iones de plomo

reaccionan con grupos tiol en proteínas, como enzimas, y éstas se quedan activadas. Además el plomo puede interactuar con otros iones metálicos. La eliminación de plomo en el agua se lleva a cabo mediante coagulación, filtración de arena e intercambio iónico. Adicionalmente, pueden aplicarse tecnologías de carbón activo y ósmosis inversa.

(National Alliance for Hispanic Health 2002)

En cuanto a la salud humana, los efectos del plomo son los mismos así se le inhale o se le ingiera. El plomo es uno de los metales tóxicos más ubicuos. No cumple ninguna función nutritiva, bioquímica ni fisiológica. En dosis extremadamente bajas, el plomo puede provocar lesiones irreversibles en el sistema nervioso central y reducir la inteligencia (Needleman *et al.*, 1990).

Si los niveles de exposición son mayores, puede provocar anemia, así como también lesiones renales graves. Los niños tienen una susceptibilidad especial con respecto a la intoxicación por plomo debido a que absorben y lo retienen más en relación a su peso que los adultos (ATSDR, 1997).

Actualmente se plantea una recomendación según la cual no habría ningún nivel de plomo en sangre que no produzca efectos tóxicos, en especial en el sistema nervioso central en desarrollo (Goyer, 1993).

2.2.2.- EFECTOS DEL PLOMO EN EL MEDIO AMBIENTE

El agua de mar contiene concentraciones traza de plomo (2-30 ppt). Los ríos contienen una media de 3 a 30 ppb. El fitoplancton contiene aproximadamente 5-10 ppm de plomo (en base seca), los peces de agua dulce aproximadamente 0.5-1000 ppb, y las ostras 500 ppb aproximadamente. La organización mundial de salud (WHO) estableció en 1995 como límite legal 50 ppb de plomo, este límite decrecerá hasta 10 ppb en el 2010. En condiciones normales el plomo no reacciona con el agua. Sin embargo, cuando el plomo se pone en contacto con aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta. En la superficie del metal se forma una pequeña capa de óxido de plomo (PbO); en

presencia de oxígeno y agua, el plomo metálico se convierte en hidróxido de cromo.

El plomo elemental no se disuelve en agua en condiciones normales (20°C y presión de 1 bar). Sin embargo, la reacción tiene lugar cuando está disuelto en agua en la forma de PbCO_3 . Un ejemplo bien conocido de compuesto de plomo soluble en agua es el azúcar de plomo (acetato de plomo), cuyo nombre deriva de su naturaleza dulce. El plomo se une frecuentemente al azufre en forma de sulfuro (S^{2-}), o al fósforo en forma de fosfato (PO_4^{3-}). En estas formas el plomo es extremadamente insoluble, y se presenta formando compuestos inmóviles en el medio ambiente. Los compuestos de plomo son generalmente solubles en agua blanda y levemente ácida. El plomo se utilizó como material de fontanería en épocas anteriores, y todavía está presente en construcciones antiguas. El plomo de las tuberías puede disolverse parcialmente en el agua que pasa a su través. El plomo se une al carbonato, por lo tanto inferiores cantidades de plomo se disuelven en agua dura. En el interior de las tuberías, se forma una capa de carbonato de plomo apenas soluble. Esta capa funciona como un recubrimiento de protección para el plomo subyacente de las tuberías. Los romanos solían llenar las tuberías con vino, causando la disolución de la capa y la formación de "azúcar de plomo". A pesar de su toxicidad, el mencionado azúcar de plomo o acetato de plomo, se aplicó en el siglo XIX para endulzar el vino además de otras bebidas y alimentos. El agua contaminada con compuestos de plomo procedía de minerales de la industria minera, esto fue advertido por el arquitecto Vitruvio, en el año 20 A.C., cuando dio a conocer sus efectos sobre la salud. En Roma el plomo se liberaba como un subproducto de la minería de la plata. El plomo blanco, un carbonato de plomo ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), es un pigmento. Ya no se aplica debido a su extrema toxicidad. La venta de tubos de plomo blanco está prohibida en la Unión Europea. El plomo orgánico se aplica en la producción de petróleo, por ejemplo, compuestos inorgánicos para la producción de baterías y de pintura. La mayor parte del plomo procesado industrialmente se aplica para fabricar pantallas de TV. El tetraetilplomo se aplica como aditivo. Este compuesto orgánico de plomo se convierte rápidamente en plomo inorgánico y acaba en el agua, incluso en aguas de

consumo humano. Afortunadamente este modo de emisión de plomo se está reduciendo cada vez más. En la arquitectura el plomo se aplica en tejados y en cristales de ventanas. Generalmente el plomo disuelto o en suspensión en el agua residual proviene de calles, tuberías y suelos. El plomo y los compuestos de este son generalmente contaminantes tóxicos. Las sales de plomo II y los compuestos orgánicos del plomo son dañinos desde un punto de vista toxicológico. Las sales de plomo tienen en el agua un peligro de clase 2, y por lo tanto son dañinas. Lo mismo se aplica a otros compuestos como el acetato de plomo, óxido de plomo, nitrato de plomo y carbonato de Plomo. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas. No obstante las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500 ppm. Concentraciones más altas perjudican el crecimiento de las plantas. Mediante la absorción por parte de las plantas, el plomo se introduce en la cadena alimenticia. Consecuentemente, la aplicación de pesticidas de plomo está prohibida en la mayor parte de los países. El plomo se acumula en los organismos, en los sedimentos y en el fango. Este metal en el agua residual proviene principalmente de los tejados y de las calles. Las concentraciones de plomo halladas en sedimentos no contaminados van aproximadamente de <10 mg/Kg. a 50 mg/Kg. (Goncalves *et al.*, 1992).

En Argentina, se hallaron niveles que van de 30 a 70 mg/kg en el río de la plata, Buenos Aires (Verrengia-Guerrero y Kesten 1993). En éste estudio se llegaron a encontrar niveles de 236 mg/kg, en una muestra del canal este. Pese a que el plomo no se considera uno de los metales más móviles en el medio ambiente, a menudo unido fuertemente a las partículas en suspensión y a los sedimentos (Berg *et al.*, 1995., Hapke 1991), hay evidencias considerables de que el plomo de los sedimentos se encuentra disponible para las especies que se alimentan en ellos (Bryan y Langston, 1992).

En suelos y sedimentos, el destino del plomo se ve afectado por procesos similares que a menudo llevan a la formación de complejos metálicos orgánicos relativamente estables. La mayor parte del plomo queda retenido y muy poco se transporta a las aguas superficiales o subterráneas. Sin embargo, es posible que se produzca un reingreso a las aguas superficiales como

resultado de la erosión de partículas de suelo con contenido de plomo o mediante la conversión en sulfato de plomo, forma relativamente soluble, en la superficie del suelo o sedimento (ATSDR 1997, Sadiq 1992, Alloway 1990). Asimismo, el plomo puede descender por lixiviación del suelo a las aguas subterráneas (ATSDR, 1997).

2.3.- CADMIO (Cd)

El cadmio, en algunos aspectos es similar al zinc, es un metal blanco que se puede cortar con un cuchillo, de color azulado pierde el lustre metálico en ambientes húmedos, y es dúctil y maleable aunque se vuelve quebradizo al calentarse a 80°C. La toxicidad que presenta es similar a la del mercurio; posiblemente se enlace a residuos de cisteína. La metalotioneína, que tiene residuos de cisteína, se enlaza selectivamente con el cadmio. Su estado de oxidación más común es el +2. Puede presentar el estado de oxidación +1, pero es muy inestable. (Valdés *et al.*, 1999).

2.3.1.- EFECTOS DEL CADMIO EN LA SALUD

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas. El envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños. Está presente en suelos contaminados, en algunas tuberías antiguas, en algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio puede ser adquirido por comer polvo contaminado, por el uso de utensilios de plástico en la alimentación, por inhalar humo de tabaco y por ingerir agua contaminada. Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en las zonas donde exista este metal en el polvo; no fumar; beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar, guardar o servir alimentos; evitar que los niños mordisqueen juguetes de plástico, bolígrafos, etc.; evitar los mariscos y las vísceras pues acumulan el cadmio. También ayuda tomar

megadosis de vitamina C (varios gramos al día); tomar alimentos ricos en bioflavonoides (centeno germinado, polen de abeja, por ejemplo); tomar levadura de cerveza que contiene el complejo B y selenio. (Valdés *et al.*, 1999).

En 1965 se informó en Japón de la muerte de más de 100 personas por contaminación por cadmio, el cual afecta principalmente a los huesos. El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en el aparato digestivo, en riñones y en los huesos (produce descalcificación y lesiones en la médula ósea). La inhalación de sus vapores produce severas lesiones en los pulmones. Además se ha observado que el cadmio tiene relación con la hipertensión arterial, la que origina enfermedades cardiacas. Como medida de seguridad, se recomienda que los trabajadores no sean expuestos por más de 8 horas a concentraciones mayores de 40 mg/m³ de cualquiera de sus compuestos del cadmio en el aire.

(http://www.sagangea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html, 2002).

2.3.2.- EFECTO DEL CADMIO EN EL AMBIENTE

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio y níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas, la electrodeposición o las aleaciones de hierro, en la producción de hierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares. Los alquil y aril cadmios se usan como catalizadores y sus sales de los ácidos orgánicos (laurato, estearato, palmitato, fenolato, naftenato y benzoato de cadmio) como estabilizadores térmicos y de luz.

(http://www.sagangea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html, 2002).

En China realizaron un estudio de campo para investigar la contaminación por metales en suelos y vegetales y evaluar el posible riesgo a la salud de la población local, a través de la transferencia en la cadena alimenticia de Cd, Pb, Zn, Cu en el sureste de China. Los resultados muestran que los suelos y vegetales de las Villas 1 y 2 (V1 y V2, a 1500 m y 500 m de la fundidora) fueron fuertemente contaminados, comparadas con una Villa a 50

Km. de la fundidora. Concentraciones medias de Cd, y Pb en vegetales para V1 y V2, respectivamente, fueron 0.15 y 0.24 mg de Cd por Kg. y 0.45 y 0.38 mg de Pb por Kg. (en base a peso fresco); la absorción oral de Cd y Pb a través de los vegetales representa un alto riesgo para la salud de los residentes locales (Cui, *et al.*, 2004).

2.4.- ARSENICO (As)

El Arsénico se encuentra en dos formas comunes: una gris y de aspecto metálico y otra no metálica y amarillenta. Se usa para librar al vidrio de los tonos verdosos y se agrega al plomo para volverlo más duro. También se le emplea en la elaboración de diversos insecticidas. Antes del advenimiento de los antibióticos se le empleaba como medicamento en dosis sumamente pequeñas para tratar padecimientos como la sífilis. (Das, *et al.*, 2004).

2.4.1.- EFECTOS DEL ARSENICO EN LA SALUD

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta. Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen la fatiga, los dolores musculares, la pérdida del cabello, el zumbido de los oídos, la cicatrización difícil, la depresión, la laxitud, las alucinaciones visuales y la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte. La pintura verde del papel tapiz de la casa donde estuvo cautivo Napoleón en la isla de Santa Helena -la pintura llamada "verde de París", con alto contenido de arsénico- fue el veneno que terminó con su vida. Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo de tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallinas criadas en régimen industrial (se les da arsénico para combatir los parásitos) y los mariscos. Para protegerse de los

daños se pueden tomar dosis de yodo orgánico, megadosis de vitamina C y comer diversos germinados. (Valdés *et al.*, 1999).

La máxima concentración de arsénico en aguas de tanques de almacenamiento de agua pluvial recolectada a través de arroyos que drenan el sitio en áreas cercanas a las potenciales fuentes de contaminación (265 mg/L), exceden más de 5 veces el límite máximo permisible (50 mg/L) establecido por la NOM de calidad de agua de uso y consumo humano (NOM- 127-SSA1-1994). La concentración de arsénico en el agua en estos tanques y en los sedimentos de los arroyos disminuye conforme se incrementa la distancia desde las potenciales fuentes de contaminación. (Monroy *et al.*, 2002).

El valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha reducido de 50 a 10 µg/L de arsénico total.

2.4.2.- EFECTOS DEL ARSENICO EN EL MEDIO AMBIENTE

El arsénico es un elemento habitual en la atmósfera, suelos, rocas, aguas naturales y organismos vivos. Su movilidad en el ambiente es debida tanto a procesos naturales como a actividades humanas (Matschullat, 2000). La mayor parte de los problemas ambientales del arsénico son el resultado de la movilización por causas naturales (actividad volcánica, reacciones de degradación por la acción de la atmósfera, actividad biológica), pero otros factores promovidos por la actividad humana, como la combustión de combustibles fósiles, la actividad minera, el uso de fertilizantes y herbicidas en la agricultura, o el uso de aditivos arsenicales en piensos animales o como conservantes de la madera, son responsables de problemas de contaminación por arsénico al menos a escala local. De las diferentes fuentes ambientales de arsénico, la que tiene mayor efecto en la salud humana es la presencia de éste en aguas de bebida. El límite establecido en la C.E. (Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano), USA y Japón es de 10 mg/l al igual que la (OMS). Para que aparezcan elevadas concentraciones de arsénico en aguas son necesarios tres factores:

1.- Debe existir una fuente de arsénico. Este puede ser de origen geológico: muchos minerales contienen diferentes formas de As, los sulfuros y los óxidos y oxohidróxidos metálicos presentan cierta capacidad de adsorción de arsenitos y arseniatos, especialmente los óxidos de Fe, aunque también los de Al y Mn. Ciertas actividades humanas, como se ha descrito anteriormente, también pueden constituir una fuente de As. (Goldberg, 2002).

2.- Movilización. Las piritas y otros sulfuros, principales fuentes naturales de arsénico, se forman preferentemente en zonas con fuertes condiciones reductoras. Estos compuestos no son estables en sistemas aerobios, y se oxidan liberando sulfatos, óxidos de hierro y diversos metales que, de esta forma, pasan a las aguas. También se produce la movilización del arsénico en forma de arsenitos o arseniatos en función de las condiciones del medio. La concentración de estos oxoaniones en el agua está regulada entonces por los procesos de adsorción-desorción sobre óxidos metálicos, especialmente óxidos de hierro. Estos fenómenos de adsorción dependen del estado de oxidación del arsénico, de su concentración, del pH y de la competencia con otros aniones presentes, como el fosfato. (Violante y Pigna, 2002; Livesey y Huang, 1981; Cai, *et al.*, 2002).

Existen, también, varios trabajos en los que se muestra la liberación de arsénico de suelos cuando éstos se encuentran en condiciones reductoras (p.ej. inundados y con desarrollo de condiciones anaerobias). Esta liberación se ha asociado a la disolución de los óxidos de hierro. (McGeehgan, 1996; McGeeghan *et al.*, 1998).

3.- Transporte. Está directamente relacionado con los procesos de adsorción/desorción. Se ha comprobado que la velocidad de transporte es diferente para arsenito y arseniato, dependiendo además de factores como el pH y potencial redox (Gulens *et al.*, 1979).

Los casos de aguas subterráneas contaminadas por niveles altos de arsénico, no aparecen en zonas con elevada concentración de este metal en las rocas o en el suelo. Los problemas de contaminación de aguas subterráneas por arsénico son diferentes en medios oxidantes y reductores, y también son diferentes en zonas húmedas y secas. En el año 2000 se detectaron concentraciones de arsénico en el agua de abastecimiento de Iscar (Valladolid) superiores a 50 µg/L. Sucesivos muestreos delimitaron una superficie afectada de unos 1700 km², dedicada fundamentalmente a la agricultura. Ante la gravedad del problema, las primeras medidas fueron enfocadas al suministro de agua potable a la zona afectada mediante aljibes con agua procedente de zonas no contaminadas (aguas superficiales de los ríos Adaja y Eresma). En julio de 2002 entró en funcionamiento la planta potabilizadora de Coca con lo que se redujeron los niveles de arsénico en el agua potable hasta valores inferiores a 10 µg/L. Sin embargo, las aguas de los pozos de la zona se siguen utilizando para el riego de los cultivos, lo que podría plantear problemas de seguridad alimentaria. (Smedley *et al.*, 2001).

En Bangladesh determinaron el nivel de contaminación por arsénico en 100 muestras de cultivos, vegetales y peces de agua dulce colectadas en 3 regiones diferentes de Bangladesh. 11 muestras de agua y 18 muestras de suelo, excedieron los límites esperados de arsénico. Ninguna muestra de grano de arroz (*Oryza sativa* L.) presentó concentraciones de arsénico más allá del límite recomendado de 1.0 mg/kg. Sin embargo, plantas de arroz, especialmente las raíces tuvieron una concentración significativamente alta de arsénico (2.4 mg/kg) comparado con los tallos (0.73 mg/kg) y los granos de arroz (0.14 mg/kg). El contenido de arsénico en vegetales varió; aquellos que excedieron los límites de seguridad de alimentos incluyó en kachu sak (*Colocasia antiquorum*) (0.09 – 3.99 mg/kg n=9), papas (*Solanum tuberosum*) (0.07 – 1.36 mg/kg n=5) y kalmi sak (*Ipomoea reptans*) (0.1 – 1.53 mg/kg n=6). Estos resultados indican la concentración de algunos alimentos por arsénico en Bangladesh. (Das, *et al.*, 2004).

2.5.- ZINC (Zn)

La solubilidad del zinc depende de la temperatura y del pH del agua en cuestión. Cuando el pH es casi neutro, el zinc es insoluble en el agua. La solubilidad del zinc en el agua aumenta con la acidez. Por encima del pH 11, la solubilidad también aumenta. El zinc se disuelve en agua como $ZnOH^+$ (aq) o Zn^{2+} (aq). El $ZnCO_3$ aniónico tiene una solubilidad de 0.21 g/L. Como ejemplos de solubilidad de los derivados de zinc se proponen: cloruro de zinc ($ZnCl_2$) 4320 g/L, y óxido de zinc (ZnO) y vitriolo blanco u óxido de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), 580 g/L. Los minerales del zinc más significativos son la esfalerita (ZnS) y smithsonita ($ZnCO_3$). Estos compuestos van a parar al agua cuando se encuentran cercanos minerales de este tipo. Alrededor de 3/4 partes del suministro total de zinc se usa en forma metálica. El resto se aplica en la industria en forma de derivados del zinc. Las aguas residuales industriales que contienen zinc, suelen proceder de procesos de la industria galvánica, producción de pilas, etc. Los compuestos del zinc se aplican con muchos propósitos distintos.

El cloruro de zinc se aplica para la producción de pergamino, el óxido de zinc es un constituyente de pinturas y catalizadores mientras que el vitriolo blanco se utiliza como fertilizante, y la bacitracina zinc se usa como estimulante de crecimiento en ganadería. La contaminación de los cuerpos de agua superficiales por metales pesados implica la incorporación de ellos a las cadenas alimenticias y a su bioacumulación en los organismos. En este sentido; en el 2004, investigaron el contenido de metales pesados y su fraccionación en muestras de sedimentos y en 3 especies de peces comestibles, obteniendo buenos valores de recuperación para el contenido de metales en sedimentos y peces. Grandes fracciones de zinc, cadmio y cobre fueron asociados con la fracción móvil de sedimentos y mostraron la mayor bioacumulación en los peces, mientras que el níquel fue menos movilizable. Los resultados indicaron claramente que el pescado del lago Kollero está contaminado con metales y no es apto para el consumo humano. (Sekhar, *et al.*, 2004),

2.5.2.- EFECTOS DEL ZINC EN LA SALUD

El zinc es un mineral alimenticio para seres humanos y animales. La ingestión de cantidades excesivas de zinc pueden perjudicar la salud de ambos, por encima de cierto nivel resulta ser tóxico. La toxicidad suele ser baja para animales y personas, pero no debe descartarse la fitotoxicidad. El zinc puede acumularse en ciertos organismos. El cuerpo humano contiene 2.3 g de zinc y tiene valor alimenticio como elemento traza. Sus funciones incluyen principalmente procesos enzimáticos y réplica de ADN. La hormona insulina contiene zinc y desempeña un papel fundamental en el desarrollo sexual. Un consumo inferior a 2-3 g, previene las deficiencias y sus efectos. El cuerpo humano sólo absorbe del 20-40% del zinc presente en la comida, así que mucha gente bebe agua mineral rica en zinc, los síntomas causados por su carencia son la pérdida del gusto y la falta de apetito. Puede afectar al sistema inmunológico y enzimático de los niños. Aplicaciones con altas concentraciones de zinc resulta proteger del envenenamiento por cadmio, también disminuye la adsorción del plomo. Por otra parte, la relación cobre/zinc en el cuerpo humano es muy importante. Puede darse que las personas absorban sobredosis de zinc pero ésto no suele ser muy frecuente. Los síntomas incluyen náuseas, vómitos, diarreas, cólicos y fiebre, y en la mayor parte de los casos estos síntomas se dan tras consumos de 4-8 g de zinc. Los consumos de 2 g de sulfato de zinc provocan toxicidad aguda como dolores de estómago y vómitos.

Sorprendentemente, el zinc pertenece al mismo grupo de elementos en la tabla periódica que el cadmio y el mercurio, ambos altamente tóxicos. Algunos ejemplos de efectos en la salud atribuidos al zinc incluyen infección de las mucosas por cloruro de zinc (dosis letal 3-5 g), y envenenamiento por vitriolo (dosis letal 5 g). (Lenntech, 2007)

Una excesiva exposición, tanto en humanos como en animales, puede provocar agotamiento gastrointestinal y diarrea, daño pancreático y anemia. Especialmente tóxico a los organismos, varias veces se libera en el ambiente acuático y en cantidades apreciables, el zinc puede tener un efecto dañino directo en la membrana celular externa o paredes celulares de los organismos, resultando en una rápida mortandad. Sin embargo, varios estudios reportan

que el zinc no sólo es dañino en altas concentraciones, sino que también en concentraciones subletales más bajas, especialmente después de una exposición prolongada. (UNEP, 1993).

2.5.1.- EFECTOS DEL ZINC EN EL AMBIENTE

La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en zinc. Los neumáticos de coches que contienen zinc y los aceites de motores que provienen de tanques de zinc liberan compuestos de este elemento a las carreteras. Los compuestos del zinc están presentes en insecticidas, y por lo tanto tarde o temprano van a parar al agua. Cuando se toman medidas de seguridad inadecuadas, el zinc puede liberarse como consecuencia de derrames en vertederos de desechos. Al zinc no se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua, puesto que no supone un gran peligro. No obstante, ésto sólo se refiere al zinc elemental, ya que algunos derivados del zinc, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos. El lodo que proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales se aplica en agricultura, horticultura y silvicultura, y por lo tanto las concentraciones de zinc no deben sobrepasar los límites de 3 g/kg. Las pruebas ecotoxicológicas establecen como niveles de zinc disuelto, concentraciones de 50 µg/L, es decir concentraciones totales de 150-200 µg/L de zinc en agua. Este valor representa la concentración máxima con la cual no se producen efectos en el medioambiente (Predicted No Effect Concentration). Las emisiones industriales de zinc disminuyeron considerablemente en las décadas pasadas. Los valores actuales del zinc no suponen un gran riesgo ambiental. En el suelo, el zinc permanece fuertemente adsorbido, y en el ambiente acuático se asocia principalmente con materia en suspensión antes de acumularse finalmente en el sedimento (ATSDR, 1997; Bryan and Langston, 1992; Alloway, 1990). Sin embargo, la resolubilización a una fase acuosa, más biodisponible, es posible bajo ciertas condiciones físico-químicas. El zinc es un elemento esencial, presente en los tejidos de animales y plantas incluso a concentraciones ambientales normales. Sin embargo, si las plantas y animales se exponen a altas concentraciones biodisponibles de zinc,

una bioacumulación significativa puede resultar, con posibles efectos tóxicos (ATSDR, 1997).

Los estudios en plantas han mostrado que aunque sea un elemento esencial para las plantas superiores, en altas concentraciones, el zinc puede ser considerado como fitotóxico, afectando directamente la producción de cultivos y la fertilidad del suelo. (UNEP, 1993).

2.6.- NITRATOS

Durante 1996 a 1999 se tomaron 50 muestras de aguas superficiales y 355 de aguas subterráneas en zonas agrícolas del suroeste del Uruguay., su objetivo fue evaluar el nivel de nitrato y coliformes en las mismas, así como identificar las fuentes de contaminación. En todas las muestras se determinó la concentración de nitrato, y en 144 muestras de aguas subterráneas se analizó además la concentración de coliformes totales y fecales. Se registraron algunas características de los pozos, como profundidad, antigüedad, tipo de construcción, y distancia a posibles fuentes localizadas de contaminación. Las aguas superficiales tuvieron siempre concentraciones de nitrato muy inferiores a 10 mg, el nivel crítico por debajo del cual el agua se considera apta para el consumo humano. Las aguas subterráneas tuvieron concentraciones de nitrato entre 1 y 93 mg, y la variable más asociada con este resultado fue la distancia del pozo a fuentes localizadas, siendo los pozos más cercanos los más contaminados. Las otras características de los pozos estuvieron menos relacionadas con el nivel de contaminación. Un resultado similar se obtuvo para los coliformes fecales, aunque en los pozos contaminados la relación entre coliformes y nitrato fue inverso esto implica que la probabilidad de un pozo de estar contaminado con uno u otro polutante es mayor de lo que se podría inferir de estudios basados en solo uno de estos. Al menos para las zonas de estudio, las altas concentraciones de nitrato en algunos pozos parecen originarse de fuentes localizadas y no de fuentes agrícolas. (Perdomo *et al.*, 2001).

2.6.1.- EFECTO DE LOS NITRATOS SOBRE LA SALUD

En el Uruguay existen reportes frecuentes sobre niveles elevados de nitratos (NO_3) en aguas de consumo humano, sin embargo, no existen estudios de la magnitud del problema ni del origen de esta contaminación. Una situación similar ocurre para la contaminación de aguas por coliformes y tampoco existen estudios publicados sobre la relación de ambas fuentes de contaminación. La contaminación de aguas por NO_3 puede provocar toxicidad aguda en los seres humanos, sobre todo en infantes, esta enfermedad es conocida como metahemoglobinemia o enfermedad del niño azul. (Perdomo *et al.*, 2001).

El acuífero del estado de Yucatán es altamente vulnerable a todo tipo de contaminación. El contaminante más común en el agua subterránea y superficial, es el nitrato, debido a su estabilidad química. Su presencia en concentraciones mayores a 45 mg/L es potencialmente peligrosa, ya que puede causar metahemoglobinemia infantil y posibles desarrollos de cáncer. Asimismo, las enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias patógenas, constituyen un problema de salud pública, en especial en niños menores de un año. (Perdomo *et al.*, 2001).

2.6.2.- EFECTO DE LOS NITRATOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Para conocer el grado y extensión de la contaminación por nitratos y bacterias en el agua subterránea, se seleccionaron 112 pozos. Los resultados mostraron que las concentraciones de nitratos y coliformes fecales tuvieron una gran variación, que su distribución sigue de manera general la dirección preferencial del flujo regional y que respecto a la profundidad, su comportamiento es inverso. Asimismo, la concentración de estos contaminantes se relaciona de manera directa con los diferentes usos del suelo. La concentración de nitratos y bacterias coliformes fecales en el agua subterránea, típicamente muestran una variabilidad significativa en muchas direcciones: con la profundidad, con la ubicación espacial y con las actividades humanas que se desarrollan y a menudo, esas variaciones están relacionadas. El reconocimiento de esta variabilidad es importante para entender la extensión

del problema y diseñar programas para mitigarlo. No es fácil conocer la ocurrencia y distribución de nitratos y coliformes fecales para una región; sin embargo, para el estado de Yucatán, el tamaño de la región y la poca diversidad en el uso del suelo así como en el clima y la hidrogeología, hacen factible tal propósito. Diversos estudios acerca de la contaminación por nitratos en aguas subterráneas han mostrado que generalmente existe una relación inversa entre las concentraciones de nitratos y la profundidad por debajo de la superficie, o por debajo del nivel freático. Esta relación puede considerarse en función del tiempo y de las actividades; por ejemplo, en muchas áreas, este tipo de contaminación data de hace algunas décadas cuando el empleo de fertilizantes nitrogenados se incrementó como una consecuencia al incremento de la producción agrícola. En muchos acuíferos, las tasas de transporte vertical y lateral son bajas y los solutos derivados de la superficie, como es el caso de los nitratos, pueden acumularse en la porción superior del acuífero con un movimiento gradual lento hacia abajo por difusión o dispersión hidrodinámica. (Cherry, 1979; Libra *et al.*, 1990; Ritter y Chirnside, 1984).

Algunos aspectos de la variabilidad espacial son los relacionados con los usos de la tierra, que de manera implícita involucran las diferentes cargas de nitrógeno al subsuelo a través de las principales actividades antropogénicas que se desarrollan en cada área. Así, los problemas de contaminación por nitratos y bacterias en pozos rurales, han sido atribuidos a sistemas sépticos inapropiados, mala construcción o ubicación de los pozos y otros problemas locales como es el uso de fertilizantes o la cría de animales (Walker, 1973).

Asimismo, el desarrollo de unidades intensivas de cría de animales, ganado vacuno y porcícola, ha generado problemas muy localizados debido a que el volumen de excreta generado es mayor que el utilizado en otras actividades. Esta situación es de importancia en lugares en los que se tienen suelos con buen drenaje, porque se facilita la lixiviación del nitrato hacia el nivel freático. Aún cuando se pueden distinguir claramente las fuentes locales (puntuales) para una región determinada, frecuentemente estas fuentes no pueden explicar la amplia contaminación regional por nitratos que ocurre en un acuífero (Hallberg, 1989).

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se manifiesta un problema de salud. A menudo es difícil precisar el origen de la contaminación debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el intemperismo de los minerales y descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1985).

El problema con los nitratos, es que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la subsuperficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Freeze y Cherry, 1979).

Mientras que la contaminación por fuentes puntuales se origina de diversos medios tales como efluentes de tanques sépticos y depósitos de excretas, la contaminación no puntual se distribuye en amplias áreas como son los campos donde los fertilizantes nitrogenados han sido aplicados (Hurlburt, 1988).

El único control del nitrato por debajo de la superficie es la reducción del nitrato o desnitrificación. La reducción del nitrato es una reacción natural en la cual el nitrato es reducido a gases de nitrógeno, menos peligrosos, por la acción de bacterias. En donde esta reducción no ocurre, los nitratos que persisten en los abastecimientos de agua son un riesgo; así, áreas con alto

riesgo incluyen acuíferos bajo agricultura intensiva y la vecindad de campos con alta densidad de tanques sépticos. Por su naturaleza, los acuíferos son lentos para contaminarse pero una vez que sean contaminados, difícilmente se autodepuran. La única opción para evitar futuras contaminaciones por nitratos en acuíferos someros susceptibles, es iniciar con el control del uso del suelo (Hendry, 1988).

El ion nitrato es la forma termodinámica estable del nitrógeno combinado en los sistemas acuosos y terrestres oxigenados, de forma que hay una tendencia de todos los materiales nitrogenados a ser convertidos a nitratos en estos medios. Las pequeñas cantidades de nitrógeno que contienen las rocas ígneas pueden proporcionar algún nitrato a las aguas naturales en el proceso de meteorización.

Todos los compuestos del nitrato son altamente solubles en agua y cualquiera de ellos que se forme en este proceso, se encontrará en solución. Los minerales que contienen nitratos son muy raros, solamente los salitres (nitrato de sodio y nitrato de potasio) son los más difundidos. Los yacimientos de nitrato de sodio en Chile, tienen importancia mundial. Una parte del óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno presentes en el aire se producen por procesos naturales, inducidos por los rayos, las erupciones volcánicas y la actividad bacteriana del suelo, pero las concentraciones resultantes en el aire son virtualmente insignificantes. Estos compuestos se convierten en fuentes naturales de nitrato, ya que la principal forma de eliminación atmosférica de los óxidos de nitrógeno se realiza mediante su oxidación a ácido nítrico, y este es mucho más hidrosoluble y se absorbe más fácilmente en la superficie de la materia particulada en suspensión. Los nitratos también existen en forma natural en algunos alimentos, particularmente en algunos vegetales. Los nitritos se forman por la oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en el medio acuático o terrestre, o por la reducción bacteriana del nitrato. Son productos intermedios del ciclo completo de oxidación-reducción y sólo se encuentran presentes en condiciones de baja oxidación. El nitrito en comparación con el nitrato, es menos soluble en agua y menos estable (García *et al.*, 1994).

Las descargas de desechos municipales e industriales constituyen fuentes concentradas de compuestos de nitrógeno que, en gran medida, son depositadas directamente en las aguas superficiales. La cantidad de nitrógeno en los desechos humanos se estima en unos 5 Kg. por persona por año (Comité de estudios sobre la acumulación de nitratos, 1972). Aun tratados, estos residuos representan una intensa carga de contaminación a las aguas, tanto superficiales como subterráneas, pues el tratamiento secundario elimina menos de la mitad del nitrógeno (aproximadamente el 20%). Los iones amonio en el efluente de tanques sépticos se pueden convertir rápidamente en nitratos, que pueden penetrar hasta cierta distancia del tanque. Los cienos en las instalaciones de tratamiento y tanque sépticos, también se deben de evacuar y representan otra fuente significativa de contaminación por nitrógeno. Los procedimientos de evacuación de residuos sólidos, especialmente los terraplenes sanitarios y vaciaderos, pueden constituir una fuente de contaminación del agua por compuestos del nitrógeno. Es fundamental la diferenciación entre la contaminación por fuentes puntuales fácilmente identificables y la contaminación difusa. La principal preocupación es la carga contaminante al subsuelo asociada con saneamiento sin alcantarillado que emplea en áreas residenciales, tanques o fosas sépticas y letrinas. El riesgo potencial de contaminación por nitratos proviene de las unidades de descomposición de excretas in situ, ésto se hace evidente, si consideramos que el promedio del nitrógeno que llega al agua subterránea proveniente de una familia formada por cuatro personas que descarga sus tanques sépticos en suelos arenosos es de aproximadamente 7.5 Kg. cada año, lo que representa el 35 al 40% del total depositado. En dependencia con las condiciones hidrogeológicas, estos valores pueden fluctuar desde el 25 al 60%. Por lo tanto, una población de 20 personas/Ha representa una descarga de hasta 100 Kg. /Ha /año que si fuera oxidada y lixiviada con 100 mm/año de infiltración, pudiera resultar en una descarga local de aguas subterráneas que alcancen una concentración de 440 mg/l, por lo que puede hacerse una estimación del grave problema ecológico al que se enfrentan las áreas a las que llegan las aguas residuales de los grandes asentamientos humanos. Se considera que la oxidación del amoníaco de las descargas de tanques sépticos es la principal fuente de contaminación del agua subterránea en Buenos Aires, en donde

cerca de un 60% de la población continúa sin alcantarillado. A ello, se suma la descarga al suelo de desechos nitrogenados de la industria alimentaria y la infiltración de las aguas servidas por fugas de áreas con alcantarillado. Por otra parte, la gran mayoría de las lagunas de estabilización presentan fugas equivalentes a una infiltración de más de 10 a 20 mm/día, resultando en otra fuente de contaminación de nitratos para las aguas subterráneas. (García *et al.*, 1994).

El contenido de nitrógeno de los desechos industriales es sumamente variable; las industrias del combustible y la elaboración de alimentos y las refinerías del petróleo, pueden constituir fuentes importantes de contaminación por nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno descargados a la atmósfera por fuentes artificiales, como los automotores, el consumo de combustibles fósiles y los procesos industriales, ascienden a cerca de 50 millones de toneladas por año en escala global (OPS, OMS., 1980). Otras fuentes locales pueden ser: la fabricación de ácido nítrico, la galvanoplastia y los procesos de fabricación de explosivos. Tal como ocurre con los originados de forma natural, una parte considerable de estos óxidos es eliminada de la atmósfera y el nitrógeno vuelve a la superficie terrestre en forma de nitratos, aunque puede señalarse que generalmente ésta es una fuente de poca importancia (García *et al.*, 1994).

En Iowa, en el año de 1982 estudiaron las concentraciones de nitratos en aguas superficiales y pozos someros. Concentraciones mayores a 45 mg/l fueron comunes durante los períodos de bajo flujo del río en el otoño y el invierno. La infiltración de nitratos en acuíferos someros fue evidente, incrementándose de forma inesperada debido al uso de amoníaco anhidro. El agua subterránea en pozos más profundos tuvo niveles de nitratos mucho más bajos que el agua subterránea proveniente de pozos someros, sugiriendo que la concentración no ha alcanzado los acuíferos más profundos, (Splinter, 1982).

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas es un problema ambiental generalizado que se atribuye, en la mayoría de ocasiones, a las actividades agrarias. En la horticultura de regadío, trabajando mayoritariamente con cultivos exigentes en nitrógeno, es cuando esta problemática toma mayor trascendencia (Ramos *et al.*, 2002).

La patata es un cultivo muy sensible al déficit de nutrientes. El nitrógeno suele ser el principal elemento mineral limitante de la producción (Westermann y Kleinkopf, 1985; Prunty y Greenland, 1997; Meyer y Marcum, 1998). Para producciones óptimas de patata se dispone de referencias que van desde 45 kg N/ha (siguiendo una rotación, después de trébol (*Trifolium pratense*)) hasta 400 kg N/ha (Laurer, 1986; Porter y Sisson, 1991). Los valores más habituales para las condiciones similares a las de las Islas Baleares van de 150 a 275 kg N/ha (Meyer y Marcum, 1998). La falta de nitrógeno en un momento crítico, al inicio de la tuberización, puede ocasionar pérdidas considerables de producción (Errebhi *et al.*, 1998).

La dosis, forma y distribución de las aplicaciones de fertilizantes varían mucho en función de las condiciones edáficas y climáticas, el manejo del cultivo y los objetivos de la producción. En algunos casos se realiza una única aplicación de fondo antes de la plantación pero mayoritariamente se recomienda el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en varias aportaciones durante el cultivo (Gunasena y Harris, 1971; Errebhi *et al.*, 1998).

La optimización y racionalización del proceso productivo exige poner al alcance de los cultivos las dosis de fertilizante necesarias para su correcto desarrollo al mismo tiempo que se tienen que reducir al mínimo las repercusiones sobre el medio ambiente. El nitrógeno aplicado en forma de nitrato asegura una mayor disponibilidad para las plantas aunque su elevada solubilidad hace que sea altamente vulnerable al arrastre del agua que circula a través del suelo (Meyer y Marcum, 1998).

La presencia de nitratos en el suelo en momentos en los que se produce un excedente hídrico, tanto por lluvias como por riego en exceso, provoca un lavado de estas moléculas ocasionando la consecuente contaminación de las aguas subterráneas. El uso de fertilizantes en forma de urea o amoniacales reduce, en un primer momento, el riesgo de ser arrastrados por el agua percolante hasta que pasan a formas oxidadas (nitratos) debido a la acción de los microorganismos del suelo (nitrosomonas y nitrobacter). La aportación de

materia orgánica disminuye los riesgos de pérdidas de nitratos, ya que el nitrógeno se libera de forma progresiva, además de contribuir en otras propiedades del suelo. No obstante, en cultivos exigentes en nitrógeno difícilmente puede satisfacer la demanda, siendo necesaria la complementariedad con la fertilización mineral si se pretenden obtener producciones máximas. En los últimos años han aparecido los fertilizantes de liberación lenta. Estos fertilizantes van liberando de forma difusa las formas nitrogenadas para evitar que, en un momento dado, haya una gran concentración de formas susceptibles de ser lavadas. En este sentido existen moléculas como la diciandiamida (DCD) y el 3,4-dimetilpirazolfosfato (DMPP) que inhiben la nitrificación (paso de amonio a nitrato), actuando sobre las bacterias nitrosomonas. La aplicación de estos inhibidores juntamente con nitrógeno en forma amoniacal reduce el riesgo de lixiviación de nitratos durante las primeras semanas posteriores a la fertilización (Guyot *et al.*, 1990).

La concentración de nitratos a nivel de pecíolo es un buen indicador de la relación entre la nitrogenización y la producción final de patatas y se usa frecuentemente para evaluar las necesidades de nuevas aplicaciones de fertilizante a medio cultivo. En el estudio utilizaron el sulfato amónico como fuente de nitrógeno mineral, siendo la forma habitualmente utilizada en la zona de estudio, y un fertilizante con inhibidor (DMPP). Para cada tipo de fertilizante se usaron dos dosis de aplicación, resultando un total de cuatro tratamientos. Para conocer el estado nutricional del cultivo se realizó un seguimiento del contenido de nitrato en el pecíolo en los momentos críticos. También se cuantificaron los volúmenes de agua infiltrada hacia el acuífero, así como las concentraciones de nitratos, para conocer los niveles de recarga y eventual contaminación. (Meyer y Marcum, 1998).

2.7.- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua para riego, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE (mg/l)
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Ph (potencial de hidrógeno) en unidades de Ph	6.5-8.5
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO4=)	400.00
Zinc	5.00
Nitratos	10.00

(Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, 2008)

III.- MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1.- LOCALIZACION DE LA PRESA FRANCISCO ZARCO

La presa Francisco Zarco se encuentra ubicada en el estado de Durango rodeada por los municipios Lerdo, Gómez Palacio entre otros como se muestra en las figs. 1,2 y 3.



Fig.1 Presa Francisco zarco vista norte



Fig.2 Presa Francisco Zarco entrada por Pedriceña



Fig. 3.-Presa Francisco Zarco vista panorámica.

3.2.- UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO

En el cuadro 1, se encuentra la ubicación geográfica de cada punto de muestreo en la presa Francisco Zarco en el estado de Durango.

Cuadro 1.- Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

MUESTRA	GEOREFERENCIA		ALTURA M.S.N.M
	N	W	
01	25°16' 00.5"	103°46'51.3"	1203
02	25°16' 04.3"	103°47'10.5"	1201
03	25°16' 06.6"	103°47'22.6"	1202
04	25°16' 10.1"	103°47'10.5"	1200
05	25°16' 15.0"	103°47'55.9"	1199
06	25°16' 17.7"	103°48'07.3"	1201
07	25°16' 20.0"	103°48'17.4"	1199
08	25°16' 10.9"	103°48'10.0"	1199
09	25°15' 55.8"	103°48'01.2"	1202
10	25°15' 41.9"	103°47'56.7"	1201
11	25°15' 35.5"	103°47'43.4"	1199
12	25°15' 33.5"	103°47'26.9"	1200
13	25°15' 33.1"	103°47'10.0"	1198
14	25°15' 31.1"	103°46'50.5"	1200
15	25°15' 30.1"	103°46'37.6"	1205
16	25°15' 36.8"	103°46'31.7"	1202
17	25°15' 46.7"	103°46'33.2"	1201
18	25°16'10.2"	103°46'32.1"	1198

3.3.- MUESTREO DEL AGUA

El agua fue muestreada en forma longitudinal y transversal a la presa, la cantidad de muestras analizadas fue de 18 unidades, cada una de ellas fue tomada a una profundidad de 50 cm aproximadamente. El muestreo se realizó por duplicado, es decir, durante la primavera y otoño del año 2007, una vez tomadas las muestras se etiquetaron y se georeferenciaron cada punto de muestreo, utilizando un GPS. (Sistema de posicionamiento global).

3.4.- TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA

Una vez realizado el proceso de muestreo las muestras fueron colocadas en hieleras y transportadas al laboratorio de suelos de la UAAAN-UL en donde se mantuvieron a una temperatura aproximadamente de 4°C hasta el momento de su análisis.

3.5.- ANALISIS DEL AGUA

A cada muestra de agua se le determinaron sus características físicas y químicas así como la concentración de metales pesados tales como plomo, zinc, cadmio, arsénico y el contenido de nitratos.

3.6.- METODOS UTILIZADOS

1.-determinación de nitratos (método calorimétrico).

1.1-procedimiento.

- Pesar 10 gr. de agua en un matraz erlenmeyer de 125 ml.
- Agregar 20 ml de solución extractora $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ al 0.2%] y agitar 15 min. en agitador mecánico.
- Filtrar a través de un papel medio cuantitativo whatman.
- Pipetear 1 ml del filtrado en un matraz erlenmeyer de 125 ml, agregar 4 ml de solución desarrolladora de color (ácido salicílico al 5% en ácido sulfúrico).

- Añadir 95 ml de solución de NaOH 1.7 N, agitar y permitir que se enfríe a temperatura ambiente.
- Conjuntamente se hará una curva de calibración de 10 a 100 ppm, manejando los estándares igual que los filtrados. No olvide preparar un blanco, en el que pondrá solución extractora en lugar de muestra y siga con el desarrollo de color.
- Ya frías las muestras, leerlas junto con la curva de calibración en el espectrofotómetro a 405 nm en absorbancia colocando el blanco como cero.

1.1.1- Cálculos

$$\text{ppm de N-NO}_3 = (\text{ppm de muestra}) (\text{dil.en masa}) (\text{dil.en volumen}) 20/10$$

2.- determinación de metales pesados (plomo, zinc, cadmio).

- directo del aparato de absorción atómica.

Como no hubo dilución se toma la lectura directa del aparato, ppm de la concentración de la muestra.

3.- determinación del arsénico

- Se determinó utilizando un Kit. marca MERCK.

- Método: varillas analíticas.

- Procedimiento.

- Introducir la varilla indicadora con la zona reactiva hacia abajo en la ranura de la tapa de cierre de la probeta, de modo que quede dividida en dos partes del mismo largo aproximadamente.
- Pasar 5 ml de la solución problema a la probeta, añadir una cucharada de dosificación del reactivo 1 y agitar.
- Añadir 10 gotas del reactivo 2 y cerrar inmediatamente la probeta con la tapa de cierre.
- Agitar ligeramente dos o tres veces durante 30 minutos, sacar la varilla indicadora, sumergirla brevemente en agua, sacudir el líquido en exceso y comparar la zona de reacción con la escala de colores.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 2 se presentan los resultados de 18 muestras obtenidas en el primer muestreo que se llevó a cabo en el agua de la presa Francisco Zarco durante la primavera correspondiente al año 2007. Los parámetros determinados fueron los siguientes: plomo, cadmio, zinc, arsénico y nitratos.

De acuerdo a la NOM 127 DE LA SSA1-1994, los elementos evaluados como el plomo y cadmio se encuentran arriba del límite que marca la norma, siendo las concentraciones máximas permisibles de plomo 0.025 ppm y del cadmio 0.005 ppm; Mientras que para el zinc el máximo permisible es de 5.00 ppm el cual se encuentra dentro de la norma al igual que los nitratos, para los cuales la concentración máxima permisible es de 10.00 ppm, conforme a los resultados obtenidos en el primer muestreo el arsénico no fue detectado para el cual su límite máximo es de 0.05 ppm.

Las altas concentraciones de plomo y cadmio en la presa Francisco Zarco, representan un riesgo ambiental y de salud pública ya que al incorporarse en la cadena trófica, pueden provocar daños irreversibles en el ser humano ya que peces de consumo se alimentan de estos residuos generados; al igual que el uso de esta agua en cultivos agrícolas provocando acumulación de estos minerales en el suelo desarrollando mayor absorción por los vegetales posteriormente consumidos por otros seres vivos incluyendo al ser humano, que en cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere en el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte.

Cuadro 2.- resultados del análisis de metales pesados y nitratos en el primer muestreo (primavera del año 2007).

# DE MUESTRAS	PARAMETROS (PPM)				
	ZINC	PLOMO	CADMIO	ARSENICO	NITRATOS
1	0.02	0.15	0.09	ND	3.15
2	0.02	0.12	0.10	ND	0.52
3	0.03	0.04	0.10	ND	2.1
4	0.02	0.06	0.11	ND	ND
5	0.02	0.01	0.12	ND	ND
6	0.04	ND	0.12	ND	ND
7	0.04	ND	0.10	ND	1.05
8	0.03	0.02	0.05	ND	1.57
9	0.03	0.06	0.05	ND	1.57
10	0.03	0.01	0.06	ND	1.05
11	0.01	ND	ND	ND	ND
12	0.02	0.09	0.06	ND	ND
13	0.04	0.09	0.06	ND	ND
14	0.02	0.07	0.04	ND	2.10
15	0.01	0.03	ND	ND	ND
16	0.02	0.05	0.03	ND	ND
17	0.03	0.07	0.04	ND	2.63
18	0.02	0.06	0.04	ND	ND
MEDIA	0.025	0.052	0.63	ND	0.874

ND: no detectado

Como se puede observar el zinc, arsénico y los nitratos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que marca la NOM 127 DE LA SSA1-1994, siendo dichas concentraciones de 5.00 ppm para el zinc, 0.05 ppm para el arsénico y 10.00 ppm para los nitratos. Mientras que el plomo y cadmio rebasan dicha concentración permisible de acuerdo a la normatividad, la cual marca un valor máximo para el cadmio de 0.005 ppm y para el plomo de 0.025 ppm.

Los resultados obtenidos en el estudio realizado en la presa Francisco Zarco coinciden con Bryan y Langston (1992). En Argentina en donde realizaron un estudio en el río de la Plata en Buenos Aires en donde encontraron altos niveles de metales pesados entre ellos el plomo que se presentó un nivel de 236 mg/kg en una de las muestras del canal analizado al este del río.

Las concentraciones más elevadas de los metales pesados, específicamente plomo y cadmio que son los que se encuentran por encima del límite que marca la norma, están especificados en el cuadro 3 que corresponde al segundo muestreo que fue realizado en la época de otoño del año 2007, a diferencia del primer muestreo estos metales mostraron mayor concentración debido a que fue realizado en época de lluvia provocando así escurrimientos superficiales que desgastan la corteza y atraviesan minas llevando consigo residuos de metales pesados como el plomo, cadmio, zinc, arsénico depositándolos en la presa provocando así una dilución en las partes más profundas y acumulando residuos en las partes bajas de la misma.

Cuadro 3.- resultados del análisis de metales pesados y nitratos en el segundo muestreo (otoño del año 2007).

# DE MUESTRA	PARAMETROS (PPM)				
	ZINC	PLOMO	CADMIO	ARSENICO	NITRATOS
1	0.42	2.24	0.025	0.05	ND
2	0.44	0.19	0.022	0.05	0.022
3	0.41	0.35	0.025	0.05	ND
4	0.43	0.23	0.010	0.05	0.004
5	0.43	0.27	0.010	0.05	0.012
6	0.42	0.37	0.024	0.05	0.006
7	0.43	0.28	0.020	0.05	0.012
8	0.43	0.40	0.013	0.05	ND
9	0.42	0.36	0.020	0.05	0.028
10	0.42	0.27	0.023	0.05	0.018
11	0.44	0.32	0.010	0.05	0.004
12	0.42	0.30	0.023	0.05	0.002
13	0.43	0.38	0.019	0.05	0.002
14	0.42	0.42	0.013	0.05	0.002
15	0.44	0.37	0.012	0.05	ND
16	0.43	0.19	0.010	0.05	0.004
17	0.43	0.47	0.027	0.05	0.002
18	0.45	0.20	0.012	0.05	ND
MEDIA	0.428	0.422	0.017	0.05	0.006

La variación de resultados entre los 2 muestreos realizados, es debido a la época que fueron tomadas las muestras de los puntos analizados en el vaso de la presa ya que los parámetros en su análisis fueron muy inferiores y algunos no determinados como fue el caso del arsénico en el primer muestreo, a diferencia del segundo que todos fueron detectados algunos dentro del límite máximo permisible y otros fuera de norma establecida como fue el caso del plomo y cadmio.

Los resultados obtenidos de las 18 muestras analizadas en el laboratorio están dentro de la NOM-001-ECOL-1996, zinc es de 20 ppm, arsénico 0.4 ppm. A excepción del plomo y el cadmio que se encuentran en mayor concentración según lo establecido.

Continuación del cuadro 3 □ De acuerdo a Holguín *et al.* concentraciones de algunos elementos se encuentran en n

De acuerdo a Holguín *et al.* pueden provocar daños al ser humano a mediano y/o largo plazo. De acuerdo a Holguín *et al.*, 2006 las concentraciones de medida que se esté en contacto en forma cotidiana con algunos elementos se encuentran en niveles que

pueden provocar daños al ser humano a mediano y/o largo plazo en la medida que se esté en contacto en forma cotidiana con dichos elementos.

La presencia de metales pesados y nitratos en el agua de la presa Francisco Zarco, se debe a que el río Nazas a su paso por la presa Lázaro Cárdenas, arrastra dichos metales y nitratos; así mismo por la acción de fenómenos naturales como la lluvia que provoca escurrimientos superficiales hasta depositarlos en el vaso de la presa Francisco Zarco, además del uso de productos químicos en el sector agropecuario a los alrededores de la presa.

El agua se considera un elemento por naturaleza muy erosivo, el cual por la misma acción de su movimiento desgasta la corteza terrestre, ocasionando el desgaste de las rocas y arrastra los metales que posteriormente se depositan en el fondo de los arroyos o se mezclan en las aguas de estos que al saturarse se desbordan, lo que ocasiona la presencia de los metales pesados en las aguas almacenadas en la presa Francisco Zarco.

V.- CONCLUSION

- Con base a los resultados obtenidos durante la realización del presente proyecto, se detectó la presencia de valores considerables de metales pesados, tales como el plomo que presento un nivel que va desde 0.020 hasta 2.24 PPM siendo su máximo permisible de 0.025 y el cadmio presento una concentración que oscila entre 0.012 y 0.027 PPM teniendo como limite máximo 0.005 PPM, en las 18 muestras recolectadas en los diferentes puntos de muestreo de la presa Francisco Zarco estos dos metales presentaron una elevada cantidad a diferencia de los otros metales analizados como fue el caso del arsénico zinc y los nitratos.

- Los niveles de zinc, arsénico y nitratos encontrados en las muestras de agua que se analizaron, fueron inferiores a lo establecido por la norma oficial mexicana NOM-127-DE LA SSA1-1994, que establece los limites máximos permisibles de los metales pesados en el agua.

- Por lo tanto, el agua de la presa Francisco Zarco se encuentra contaminada tan solo por dos metales pesados como es el plomo y el cadmio ya que éstos se encuentran en una concentración mayor a lo que la norma establece, en cuanto a los metales arsénico, zinc y los nitratos encontrados en el agua están presentes en niveles bajos, ésto significa que se encuentran dentro del rango que exige la normatividad.

VI.- RECOMENDACIONES.

- 1.- Darle continuidad a esta investigación en la presa para llevar a cabo nuevos proyectos.
- 2.- Muestrear en temporada de lluvia para verificar en que cantidades es el arrastre de metales a través de los ríos y arroyos.
- 3.- Reforestar a las orillas de ríos y arroyos con plantas capaces de absorber los metales pesados presentes en el agua (fitorremediación).
- 4.- Realizar un muestreo en los canales de riego con la finalidad de conocer la concentración con la que llegan estos metales al campo agrícola con la finalidad de darle un tratamiento previo a utilizarse.

VII.-BIBLIOGRAFIA

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

Cai, Y; Cabrera, J.C; Georgiadis, M; Jayachandran, K. (2002). The Science of Total Environment, 291: 123-134. 96-94

Das, H.K., Mitra, A.K., Sengupta, P.K., Hossain, A., Islam, F. And Rabani, G.H. 2004. Arsenic concentrations in rice, vegetables and fish in Bangladesh: A preliminary study. Environment international. Vol. 30 p.p. 383-387.

Errebhi, M., C.J. Rosen, S.C. Gupta y D.E. Birong 1998: "Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management", Agronomy Journal, vol. 90, 10-15. Gunasena, H.P.T. y P.M.

Garcia et al., 1994 ; Goncalves et al., 1992 ; Goyer, 1993 ; Goldberg, 2002 ; Gulens et al., 1979 ; Gunasena y Harris, 1971.

GESAMP. "Cadmium, lead, and tin in the marine environment". Cap.II. p.6-30. UNEP, Nairobi, Kenya, 1993.

Gunasena, H.P.T. y P.M. Harris (1971): "The effect of CCC, nitrogen and potassium on the growth of two varieties of potato", J. Agric. Sci. vol. 76, 33-52. (Citado en: Errebhi et al., 1998).

Guyot, P., W. Zerulla y H. Knittel 1990: "Effet du dicyandiamide en tant qu'inhibiteur de nitrification sur l'utilisation de l'azote et le rendement du blé d'hiver", en Nitrates – Agriculture – Eau. International Symposium organized by Institut National Agronomique Paris – Grignon, Paris – La Défense (France), 7-8 november.

Harris (1971): "The effect of CCC, nitrogen and potassium on the growth of two varieties of potato", J. Agric. Sci. vol. 76, 33-52. (Citado en: Errebhi et al., 1998).

International Symposium organized by Institut National Agronomique Paris – Grignon, Paris – La Défense (France), 7-8 november.

http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html, 2002.

Laurer, D.A. 1986: "Russet Burbank yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer", *Am. Potato J.* vol. 63, 61-69. (Citado en Meyer y Marcum, 1998).

Livesey, N.T; Huang, P.M. (1981) Adsorption of arsenate by soils and its relation to selected chemical properties and anions. *Soil Science*,131:88-
Manning, B.A; Goldberg, S. (1997) Adsorption and stability of arsenic (III) at the clay mineral-water interface. *Environmental Science and Technology*, 31:2005-2011.

Matschullat, J. (2000). Arsenic in the geosphere. A review. *The Science of Total Environment*, 249:297-312.

McGeehan S.L. (1996) Arsenic sorption and redox reactions: relevance to transport and remediation *Journal of environmental science and health A31* (9):2319-2336

McGeehan S.L; Fendorf, S.E; Naylor, D.V. (1988) Alteration of arsenic sorption in flooded-dried soils. *Soil Sci. soc. Am.J.* 62:828-833.

Meyer, R.D. y D.B. Marcum 1998: "Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen", *Agronomy Journal*, vol. 90, 420-429.

National Alliance for Hispanic Health 2002; 1501 16th Street, NW, Washington, DC 20036-1401 <http://www.hispanichealth.org>.

Pacheco, A. J., Freeze y cherry, Sauri, R. M y Cabrera, S. A. 1997. Impacto de la porcicultura en el medio ambiente. Ingeniería. Revista académica de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. México.

Perdomo C. H.1, Casanova 2001: O. N.1y Ciganda V. S.1 Recibido: 2/10/00 Aceptado: 26/7/011 Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Av. Garzón 780. Montevideo. Uruguay. *Agrociencia*. Vol. V N° 1 pág. 10-22

Prunty, L. y R. Greenland 1997: "Nitrate leaching using two potato-corn N-fertilizer plans on sady soil", *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 65, 1-13.

Ramos C., A. Agut, A.L. Lidón 2002: "Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain)", *Environmental pollution*, vol. 118, 215-223.

Sadiq, M. (1992). Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong. ISBN 0824786475

Smedley, P; Kinnibourgh, D Milne, C; Ihtishamul, H; (2001). Changes with time: grouondwater monitoring. In: D. G. Kinnibourgh, and P.L. Smedley (Editors). Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. Vol. 2 Final Report, 175-185.

Sekhar, Chandra, K., Chary, N.S.; Kamala, C.T., Suman, Raj, D.S. and Rao, Sreenivasa, A. 2004. Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru Lake by edible fish. Environment international. Vol. 29 p.p. 1001-1008.

Sisson 1991 "Response of Russet Burbank and Shepody potatoes to nitrogen fertilizer in two cropping systems", Am. Potato J. vol. 68, 425-443. (Citado en Meyer y Marcum, 1998).

Violante. A; Pigna, M (2002) Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils, soil sci. soc, Am. J.

Westermann, D.T. y G.E. Kleinkopf 1985: "Nitrogen requirements of potatoes", Agronomy Journal vol.77, 616-621. (Citado en: Errebhi et al., 1998).