

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO
NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Determinación de los niveles de arsénico en leche bovina procesada y
envasada.**

TESIS

**Que presenta DANIEL MENDOZA EMILIO
como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES.**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

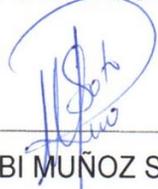
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL (LA) C. **DANIEL MENDOZA EMILIO**, QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:



ING. RUBI MUÑOZ SOTO

VOCAL:



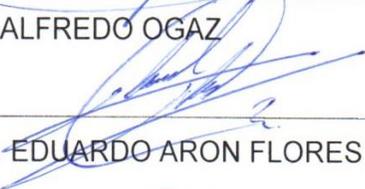
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:

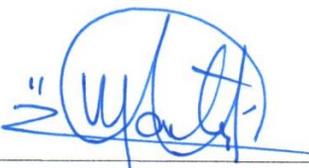


DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:



M.C. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Determinación de los niveles de arsénico en leche bovina procesada y envasada.

POR:

DANIEL MENDOZA EMILIO

TESIS:

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

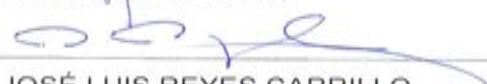
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL:


ING. RUBI MUÑOZ SOTO

ASESOR:


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

ASESOR:


DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:


M.C. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.



AGRADECIMIENTOS.

Al personal de laboratorio de Riego, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, por su entera disposición en la realización del trabajo que por efectos no se pudieron llevar a cabo en sus instalaciones y con su equipo.

Al personal laboratorista del departamento de Suelos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, por la facilidad y mejor disposición que demostraron al proyecto y concluyéndola satisfactoriamente.

Al equipo de asesores que dieron sus aportaciones y enriquecieron el presente trabajo Ing. Rubí Muñoz Soto, Dr. José Luis Reyes Carrillo, Dr. Alfredo Ogaz y M.C. Eduardo Arón Flores Hernández.

Al departamento Deportivo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por el gran apoyo brindado. C.D. Alejandro Gallegos, Federico Miñana, Berenice.

DEDICATORIAS.

Primeramente a mi Hermano José Antonio M. Emilio, ni tormenta ni muralla nos detiene en la batalla –Equipo Delta.

A mi madre Ubalda E.T, por ser una base que con arduo esfuerzo y dedicación logran el culminar de una de las misiones planteadas.

A mi hermana Edaena M.E., que es pieza estratégica de cada proyecto a realizar –Equipo Delta- C. Alejandro M, M –Equipo Delta.

Reconocimiento importante a la base de tíos, tías, primos y primas que día a día con su trabajo logra ser una fuerza de motivación con lo cual ayudan a mi formación profesional y crecimiento como persona. Mi más sincero respeto a cada uno de ustedes, nombrar su función me llevaría mucho pero cada uno sabe lo importante que es y lo que logra en mi persona.

A los compañeros que hicieron la estancia de la Universidad un mejor lugar en donde compartieron tiempo y mostraron diferentes facetas emocionales durante cada día, personas a las que estimo y les agradezco el tiempo que otorgaron (B, P, Y, A, A, A, E).

A mis compañeros de Team Gym Buitres (M, C, A, A, A, Z, B).

A Jacke, Mony.

RESUMEN.

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración del Arsénico (As) en ocho marcas de leche bovina (procesada y envasada), mediante método colorimétrico de tiras de ensayo y reactivos 0.02 - 0.05 - 0.1 - 0.2 - 0.5 mg/l As usando el *Arsenic* test con un campo de aplicación trivalente (estado de oxidación tres, como en los arsenitos) y pentavalente (estado de oxidación cinco, como en los arseniatos). Las muestras fueron obtenidas de diversos puntos de venta de la Ciudad de Torreón, Coahuila. Los análisis se trabajaron durante cuatro semanas, con la finalidad de procesar un total de 32 muestras. El trabajo de análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Se encontró que para todas y cada una de las muestras los resultados fueron en relación al metaloide analizado, fue de 0.00 mg/l de As y con ello se desecha la hipótesis de que la leche entera (procesada, envasada) y comercializada en la Ciudad de Torreón está contaminada del metaloide Arsénico (As).

Palabras clave: Arsenitos, Arseniatos, Lácteos, Trivalente, Pentavalente.

ABSTRACT.

The objective of this research was to determine the concentration of Arsenic (As) in eight brands of bovine milk (processed and packaged), using a method of colorimetric test strips and reagents 0.02-0.05-0.1-0.2-0.5 mg/l As using the Arsenic test with a trivalent field of application (oxidation state three, as in the Arsenites) and pentavalent (oxidation state five, as in the Arsenates). The samples were obtained from various points of sale of the city of Torreón, Coahuila. The analyses were worked for four weeks, in order to process a total of 32 samples. The work of analysis of the samples was carried out in the soil Laboratory of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. It was found that for each and every one of the samples the results were in relation to the analyzed metalloid, it was of 0.00 mg/l of As and with this the hypothesis is discarded that the whole milk (processed, packaged) and commercialized in the city of Torreón is contaminated of the metalloid Arsenic (As).

Key words: Arsenate, Arseniates, Milky, Trivalent, Pentavalent.

ÍNDICE GENERAL.

AGRADECIMIENTOS..... |

DEDICATORIAS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. CONTAMINACIÓN.....	3
2.2. METALES PESADOS.....	4
2.3. EL AMBIENTE Y LOS METALES PESADOS.....	5
2.3.1. Agua.....	6
2.3.2. Suelo.....	9
2.4. RELEVANCIA DE LOS METALES PESADOS EN ALIMENTOS.....	12
2.4.1. Los alimentos y los metales pesados.....	13
2.4.2. Metales pesados en leche.....	17
2.5. ARSÉNICO (As).....	21
2.5.1. Efectos del arsénico en la salud.....	26
2.5.2. Problema de arsénico en México.....	30
2.5.3. Contexto geológico.....	31
2.5.3.1. Rocas sedimentarias del mesozoico.....	31
2.5.3.2. Rocas ígneas volcánicas e intrusivas del cenozoico.....	32
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	34
3.1. MATERIALES.....	35
3.2. METODO.....	35

3.2.1. Procedimiento para la determinación de arsénico (As).	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	37
5. CONCLUSIÓN.....	41
6. LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Contenido de organismos (NOM-127, 1994).	7
Cuadro 2. Características físicas y organolépticas (NOM-127, 1994).	7

Cuadro 3. Contenido de constituyentes químicos (NOM-127, 1994).	7
Cuadro 4. Contenido de constituyentes radiactivos (NOM-127, 1994).	9
Cuadro 5. Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	12
Cuadro 6. Casos de intoxicación por metales pesados a nivel mundial	14
Cuadro 7. Efectos crónicos en la salud por exposiciones de As, Cd, Cr y Pb en agua potable	16
Cuadro 8. Productoras y marcas de leche comercializadas en la Ciudad de Torreón, Coahuila.	34
Cuadro 9. Datos obtenidos al inicio del muestreo.	37
Cuadro 10. Resultados obtenidos en el muestreo.	38

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. La dinámica de los contaminantes en el suelo y las interacciones entre plantas-animales-hombres-medioambiente.....	3
Figura 2.	11
Figura 3. Vías de ingreso y eliminación del plomo en el organismo humano	15
Figura 4. Proceso de la leche	19
Figura 5. Principales mecanismos de transformación de arsénico y resistencia en bacterias	20
Figura 6. Ciclo del arsénico	22
Figura 7. Bio-transformación del arsénico inorgánico	27
Figura 8. Diferentes mecanismos de acción de trióxido de arsénico en la leucemia promielocítica	29
Figura 9. Marco conceptual que muestra las vías de toxicidad del arsénico y sus consecuencias entre los seres humanos	30
Figura 10. Fuentes a través de las cuales los seres humanos se exponen al arsénico	33

1. INTRODUCCIÓN.

Los metales tóxicos en los alimentos se han convertido en una gran preocupación pública a nivel mundial en las últimas décadas debido a su toxicidad y bioacumulación (Yu *et al.*, 2015).

Los animales criados para consumo y alimentados con forrajes contaminados suelen convertirse en una fuente continua de residuos de metales pesados presentes en tejidos comestibles y leche. La contaminación por metales pesados en la carne y tejidos comestibles es motivo de gran preocupación para la inocuidad de los alimentos y la salud humana (Aslam *et al.*, . 2011). En los últimos años, la contaminación de la leche es considerada como uno de los principales aspectos peligrosos (Pilarczyk *et al.*, . 2013). Ya que es un alimento importante y esencial en la cocina (Hyseni y Musaj, . 2014).

Sin embargo, la leche y los productos lácteos pueden contener diversas cantidades de sustancias y microorganismos que afectan su seguridad sanitaria (Gougoulias *et al.*, 2014). Los patógenos de transmisión alimentaria pueden causar diarrea grave o infecciones debilitantes, como la meningitis. La contaminación por sustancias químicas puede provocar intoxicaciones agudas o enfermedades de larga duración como el cáncer. Las enfermedades transmitidas por los alimentos pueden causar discapacidad persistente y muerte (OMS., 2015).

En todo el mundo, se han hecho estudios de metales pesados reportándose altas concentraciones de estos elementos en muchas regiones situadas cerca de los complejos industriales urbanos y áreas mineras, así como en zonas con altos insumos agrícolas (Meshref *et al.*, 2014). En estos lugares, se distinguen aumentos anormales en concentraciones de As, Zn, Co, Cr, Ba, y otros metales pesados en suelos, como resultado de procesos como las disposiciones atmosféricas a la intemperie, la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, urbanización, sistemas de riego, y la eliminación de aguas residuales industriales en suelos, ríos, y lagos produciendo riesgos que son a menudo desconocidos (Bezerra *et al.*, 2014).

La cantidad de los diferentes metales pesados en el ambiente ha ido aumentando con el avance de la civilización humana y es probable que aumenten más con la explotación de los recursos geológicos, tales como el desarrollo de la minería y de combustibles fósiles (Temiz y Soylu, . 2012).

Por lo tanto, para garantizar la salud de los consumidores, es necesario determinar las concentraciones residuales de los metales presentes en la leche y evaluar correspondientemente sus riesgos para la salud (Yu *et al.*, 2015).

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de arsénico (As) en leche bovina procesada y envasada. Se llevó a cabo en la ciudad de Torreón, Coahuila., para conocer su posible concentración y los efectos que podrían traer a la salud. Los análisis se realizaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la Unidad Laguna, en el laboratorio de Suelos, con la aplicación del *Arsénic* test de la marca Merckoquant a partir del método colorimétrico de tiras de ensayo y reactivos con un campo de aplicación trivalente (estado de oxidación tres, como en los arsenitos) y pentavalente (estado de oxidación cinco, como en los arseniatos).

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. CONTAMINACIÓN.

La contaminación se puede correlacionar con parámetros químicos o físico-químicos medibles, para lo cual se establecen valores de referencia, conocidos como patrones ambientales. Surge entonces una definición operacional que caracteriza a la contaminación como la introducción en el medio ambiente de cualquier forma de materia o energía que puede afectar, negativamente la salud humana u otros organismos (Garcia *et al.*, 2016).

Se pueden distinguir diferentes fuentes de contaminación dependiendo de su origen. En ocasiones, la propia naturaleza del material originario y su alteración son los responsables de la contaminación; en este caso, se denomina contaminación endógena. Otras veces los aportes contaminantes son externos, frecuentemente como resultado de actividades antropogénicas, denominándose contaminación exógena. La contaminación de origen natural es significativamente menos importante que la de origen antropogénico (Fernández, 2003).

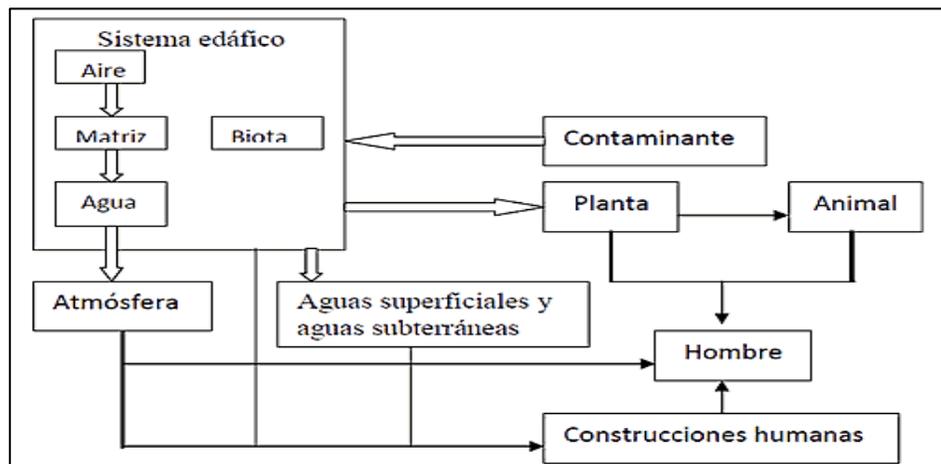


Figura 1. La dinámica de los contaminantes en el suelo y las interacciones entre plantas-animales-hombres-medioambiente son factores todos ellos a tener en cuenta a la hora de evitar problemas de contaminación (Fernández, 2003).

2.2. METALES PESADOS.

El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas (Prieto *et al.*, 2009). Son compuestos que pueden afectar la salud humana si se toman en grandes cantidades. Todos ellos están naturalmente presentes en niveles bajos en el medio ambiente. La ingestión (por beber o comer) y la inhalación (a través de la respiración) son las principales vías de exposición humana (Younus *et al.*, 2016). La rápida urbanización y el desarrollo industrial han causado contaminación ambiental en todo el mundo. El progreso técnico, las diversas actividades industriales y el aumento del tráfico en las carreteras produjeron un aumento significativo de la contaminación ambiental (Bigucu *et al.*, 2016).

Las características tóxicas se muestran como sigue:

1. La toxicidad puede durar durante un largo tiempo en la naturaleza;
2. Algunos metales pesados, incluso se podrían transformar a partir de especies de baja toxicidad pertinentes en formas más tóxicas en un determinado medio ambiente, el mercurio es un caso de este tipo;
3. La bio-acumulación y bio-aumentación de metales pesados por la cadena alimentaria podrían dañar la actividad fisiológica normal y poner en peligro la vida humana, finalmente. Podemos entender por:
 - Bio-acumulación: aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Prieto *et al.*, 2009).
 - Bio-aumentación: en la que se inoculan al suelo microorganismos (nativos o exógenos) con capacidad comprobada para degradar los contaminantes presentes (Windevoxhel *et al.*, 2011).
4. Los metales solamente se pueden transformar y cambiar en valencia, pero no pueden ser degradados por cualquier método incluyendo bio-tratamiento.

5. La toxicidad de los metales pesados se produce incluso en condiciones de poca concentración de aproximadamente 1,0 a 10 mg/L (Albulescu *et al.*, 2011).

2.3. EL AMBIENTE Y LOS METALES PESADOS.

La explotación humana de los recursos puede provocar numerosos problemas en el medio ambiente (Ahmad *et al.*, 2014). La rápida urbanización y el desarrollo industrial han causado la contaminación del medio ambiente en todo el mundo. Como resultado, muchos de los elementos o compuestos peligrosos, como dioxinas, pesticidas, metales y metaloides, se acumulan a lo largo de la cadena alimentaria (Temiz y Soylu, 2012).

Las sustancias que plantean más riesgos para la salud son las toxinas naturales y los contaminantes ambientales (OMS., 2015). La tierra se convirtió en un espacio para la producción agraria y ganaderas, ambas valoradas como importantes actividades contaminantes a nivel mundial (Garcia *et al.*, 2016). La producción agropecuaria tiene unos profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Son la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También son la mayor fuente de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso (FAO., 2006).

La actividad ganadera figura entre los sectores más perjudiciales para los cada día más escasos recursos hídricos, contribuyendo entre otros aspectos a la contaminación del agua, la eutrofización (proliferación de biomasa vegetal debido a la excesiva presencia de nutrientes). En tanto la agricultura afecta la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria (FAO., 2006).

El exceso de acumulación de metales pesados en los suelos es tóxico para los seres humanos, flora y fauna (Hong *et al.*, 2011). Las personas se están dando cuenta de la complejidad de la naturaleza y el delicado equilibrio que existe dentro del ecosistema global (Ata *et al.*, 2013). Los metales pesados son especies químicas no degradables. Por tal motivo, una vez arrojados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire - agua - suelo, a veces

cambiando su estado de oxidación e incorporarse a los seres vivos (Madero y Marrugo, 2011). Aunque los metales pesados en general permanecen en el agua subterránea y en el suelo, en determinadas zonas tienden a un aumentar de nivel y se acumulan a niveles tóxicos en tejidos humanos y animales que se derivan a partir de alimentos, agua y suelo (Aslam *et al.*, 2011).

2.3.1. Agua.

Debido al aumento de la población humana y de las actividades antropogénicas, la calidad de las aguas subterráneas, en especial las aguas subterráneas poco profundas, se ven amenazadas en gran medida (Lou *et al.*, 2017). Los efluentes vertidos de las industrias y las aguas residuales urbanas pueden encontrar su camino en los cuerpos de agua superficiales a través de canales y la escorrentía superficial. Estos cuerpos de agua, tales como lagunas, estanques, lagos reciben contaminantes y se vuelven vulnerables (Mohamed *et al.*, 2011).

Por lo tanto, es importante evaluar y realizar un seguimiento de la abundancia de estos metales pesados. Es bien sabido que la toxicidad de metales y la biodisponibilidad depende de otras especiaciones, ya sea en agua o sedimento. Especiación química se puede definir como la identificación y cuantificación de las diferentes especies químicas, formas o fases presentes en el sedimento (Taghinia *et al.*, 2011).

En general, se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del sedimento y siendo lixiviados a los horizontes sub-superficiales en muy pequeñas cantidades (Cervantes *et al.*, 2011). Una fracción de contaminantes de metales pesados puede llevar a intoxicación severa si contaminan las aguas subterráneas que se usan para beber o para irrigar (Lou *et al.*, 2017). Por tal razón, la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial resulta un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica (Cervantes *et al.*, 2011).

Un agua potable segura y de calidad es la base para una buena salud humana. El agua proporciona elementos esenciales para los seres humanos y otros

organismos vivos, pero cuando se encuentra contaminado, se convierte en una fuente indeseable y peligrosa para la vida (Ata *et al.*, 2013). El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas (NOM-127, 1994).

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización (NOM-127, 1994).

Cuadro 1. Contenido de organismos (NOM-127, 1994).

CARACTERÍSTICAS	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

Cuadro 2. Características físicas y organolépticas (NOM-127, 1994).

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptaran aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Cuadro 3. Contenido de constituyentes químicos (NOM-127, 1994).

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
-----------------------	--------------------------

Aluminio	0,20
Arsénico (nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F)	1,50
Hidrocarburos aromáticos microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00

Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4- D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Solidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO4)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Cuadro 4. Contenido de constituyentes radiactivos (NOM-127, 1994).

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE BQ/L
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

2.3.2. Suelo.

El suelo, una interfaz entre el aire, el agua, la roca y los organismos vivos, es un componente crítico de los entornos. Recientemente, ha habido una creciente preocupación por la contaminación del suelo. El exceso de acumulación de arsénico y metales pesados en los suelos es tóxico para los seres humanos y otras biotas. Ambas actividades naturales y artificiales pueden resultar en la contaminación de suelos urbanos y agrícolas (Hong *et al.*, 2011).

La acumulación en los suelos agrícolas de metales pesados puede provocar no sólo la contaminación del suelo, sino también consecuencias para la calidad y seguridad alimentaria (Garcia *et al.*, 2016).

En los suelos se pueden encontrar diferentes metales, formando parte de los minerales propios; como son silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca),

sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg). También puede encontrarse manganeso (Mn), que generalmente se presenta en el suelo como óxido y/o hidróxido, formando concreciones junto con otros elementos metálicos. Algunos de estos metales son esenciales en la nutrición de las plantas, así son requeridos algunos de ellos como el Mn, imprescindible en el fotosistema y activación de algunas enzimas para el metabolismo vegetal (Prieto *et al.*, 2009).

En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Prieto *et al.*, 2009).

En el suelo, los metales pesados como iones libres, pueden tener acción directa sobre los seres vivos lo que ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales (Prieto *et al.*, 2009).

Es por eso que la contaminación de los suelos dedicados a la agricultura y a otras actividades ya es un hecho comprobado. Cuando esta contaminación es con metales pesados, la gran mayoría de la carga se encuentra en la capa superficial donde es trasladada a las aguas subterráneas, y puede ser absorbida por las plantas (Marti *et al.*, 2011). Los metales traza están presentes en el suelo a través de las aportaciones de fertilizantes o después de la deposición atmosférica, sino también de la erosión natural de la roca madre (Maas *et al.*, 2010).

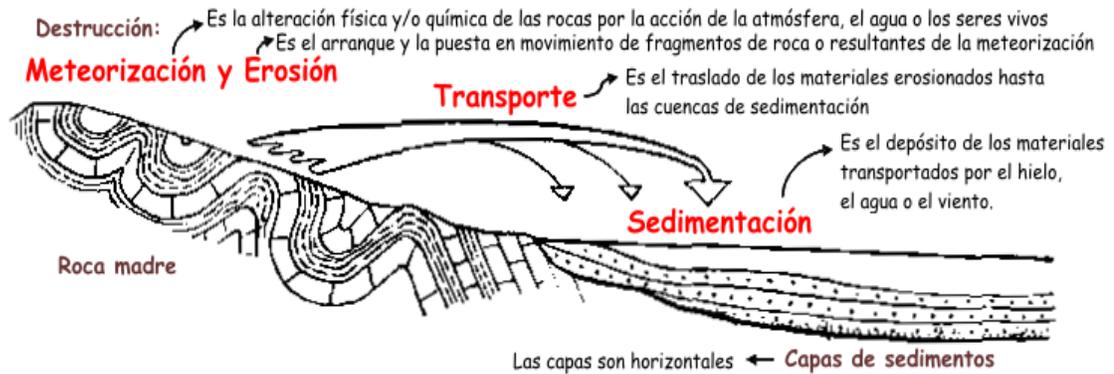


Figura 2. Disponible en:

http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/geologia4/e_interna_relieve_20.htm

Los niveles de contaminación por metales pesados que se encuentran asociados a los suelos y aguas de riego como resultado de las deposiciones atmosféricas, aditivos, enmiendas orgánicas o aplicación de compuestos fitosanitarios o plaguicidas, no siempre son conocidos y la determinación de estos contaminantes en los productos agrícolas no es sistemática, salvo raras excepciones (García *et al.*, 2016).

El grado de perturbación que puede presentar un ecosistema es variado. Si la perturbación es leve, el ambiente pudiera recuperarse espontáneamente. A partir de un cierto nivel de degradación, la recuperación espontánea del medio no tiene lugar o solamente se da en un plazo muy largo, a partir de que la fuente contaminante sea retirada o reducida. En la mayoría de los casos se impone una acción correctiva del hombre (García *et al.*, 2016).

En la legislación mexicana (PROY-NOM-138-Semarnat-2003) el término remediación de suelos se entiende como el conjunto de acciones necesarias para recuperar y reestablecer sus condiciones, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable para la zona respectiva. En la citada norma, el término remediación se utiliza como sinónimo de restauración, reversión, saneamiento, limpieza, rehabilitación y regeneración (INECC., 2007).

Antes de considerar la aplicación de cualquier tecnología de remediación, es fundamental conocer ciertas características, tanto del suelo (ambientales), como del contaminante y de los organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) presentes en el sitio, con potencial metabólico para degradar los contaminantes. Las tecnologías de remediación pueden clasificarse de diferentes maneras: con base en su estado de desarrollo (tradicionales e innovadoras), al lugar en donde se realizan (*in situ* y *ex situ*) y, en el caso de la contaminación por metales, con base en la alteración de propiedades del contaminante (separación/inmovilización o disolución/movilización) (INECC., 2007).

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación *in situ* y *ex situ* (INECC., 2007).

	<i>In situ</i>	<i>Ex situ</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar ♦ Potencial disminución en costos 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Menor tiempo de tratamiento ♦ Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Mayores tiempos de tratamiento ♦ Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo ♦ Dificultad para verificar la eficacia del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Necesidad de excavar el suelo ♦ Aumento en costos e ingeniería para equipos ♦ Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

2.4. RELEVANCIA DE LOS METALES PESADOS EN ALIMENTOS.

Muchos radionucleidos naturales, elementos o compuestos tales como metales y metaloides, se acumulan a lo largo de la cadena alimentaria. Sus concentraciones en el medio ambiente crecen con el aumento de las emisiones urbanas, agrícolas e industriales. La presencia de contaminantes metálicos, como el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), entrada en la cadena alimentaria y por lo tanto aumentan los efectos de toxicidad de los alimentos en humanos y la dieta de los animales (Ademola *et al.*, 2015).

Los animales para consumo criados con alimentos contaminados se convierten en una fuente continua de residuos (Aslam *et al.*, 2011). Los Forrajes

suministrados a los animales se consideran importantes contribuyentes de contenido mineral. Las plantas forrajeras acumulan estos contenidos a partir del suelo y agua. La vaca, cuando come este forraje, recoge estos elementos y los asimila en su cuerpo (Batool *et al.*, 2016).

2.4.1. Los alimentos y los metales pesados.

Ante el crecimiento de la población mundial, se ha intensificado la industrialización de la agricultura y la producción ganadera para satisfacer la creciente demanda de alimentos y plantean a la vez oportunidades y dificultades para la inocuidad de los alimentos (OMS., 2015).

La contaminación de los alimentos con metales tóxicos, incluso en cantidades traza ha atraído considerable atención en la era global. El monitoreo de la contaminación de alimentos necesita ser más desarrollado para reducir o eliminar las cantidades de elementos tóxicos en el medio ambiente (Siddiki *et al.*, 2012). La realización de evaluaciones científicas independientes sobre los riesgos microbiológicos y químicos, que constituyen el fundamento del conjunto de normas, directrices y recomendaciones internacionales sobre los alimentos que se conocen como el Codex Alimentarius, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos, sea cual sea su procedencia (OMS., 2015).

La comida es una fuente principal de metales, por lo que los seres humanos son bastante conscientes sobre la concentración. Y prefieren alimentos ricos en nutrientes y seguros para la salud, es decir que tengan una concentración de metales dentro del límite de seguridad según lo prescrito por la OMS (Batool *et al.*, 2016). La Comisión del Codex Alimentarius, gestionada conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece normas internacionales de inocuidad y calidad de los alimentos a fin de fomentar la producción de alimentos más sanos y nutritivos para los consumidores en todo el mundo. Las normas del Codex sirven en muchos casos para fundamentar la legislación nacional y como criterio de referencia en materia de inocuidad de los alimentos en el ámbito del comercio internacional de estos (OMS., 2013).

Por tal razón los reguladores, los productores de alimentos, los minoristas y los consumidores tienen interés en proteger los alimentos y garantizar que son seguros, genuinos y de la más alta calidad (Handford *et al.*, 2016). Los metales pesados en las dietas humanas provienen principalmente de la leche, la carne y los otros productos consumidos con frecuencia. La investigación sobre el nivel de metales pesados en los productos alimenticios ha sido monitoreada en numerosas regiones del mundo y ha dado lugar a una creciente preocupación mundial (Ademola *et al.*, 2015).

Cuadro 6. Casos de intoxicación por metales pesados a nivel mundial (Londoño *et al.*, 2016).

Año	Sitio	Caso	Muertos	Heridos
1900	Manchester, Inglaterra	Arsénico en la cerveza	70	6.000
1945	Japón	Intoxicación masiva con cadmio, por consumo de arroz y agua contaminada	300	>1.000
1960	Tailandia, India, Bangladesh, Taiwán	Uso de aguas subterráneas para agricultura contaminada con altos niveles de As		>70 millones
1960	Bahía Minamata Japón	Peces contaminados con metilmercurio	3.000	>10.000
1968	Irack	Contaminación organomercurial en el pan (cereales)	500	>5.000
1970	Japón	Enfermedad Itai-Itai por cadmio	180	7.000

1975	USA	Niños-diversos grados de intoxicación pinturas con plomo	200	800 daño cerebral >400.000
1984	Bhopal, India	Fuga de metil isocianato	>2.500	>10.000

La toxicidad de metales pesados es el resultado de sus interacciones con los sistemas enzimáticos de las células animales o de algunos componentes de las membranas celulares. Los metales pesados y los elementos habituales de la dieta (Cu, Zn, Fe, Ca y Se) juegan un papel importante en la toxicidad aguda y crónica. La población puede ser envenenada por metales pesados a través de la ingestión de alimentos o agua contaminada (Bonic *et al.*, 2013).

Estos metales pesados pueden ser tóxicos para los seres humanos cuando no son metabolizados por el cuerpo y son acumulados en los tejidos blandos (Bigucu *et al.*, 2016).

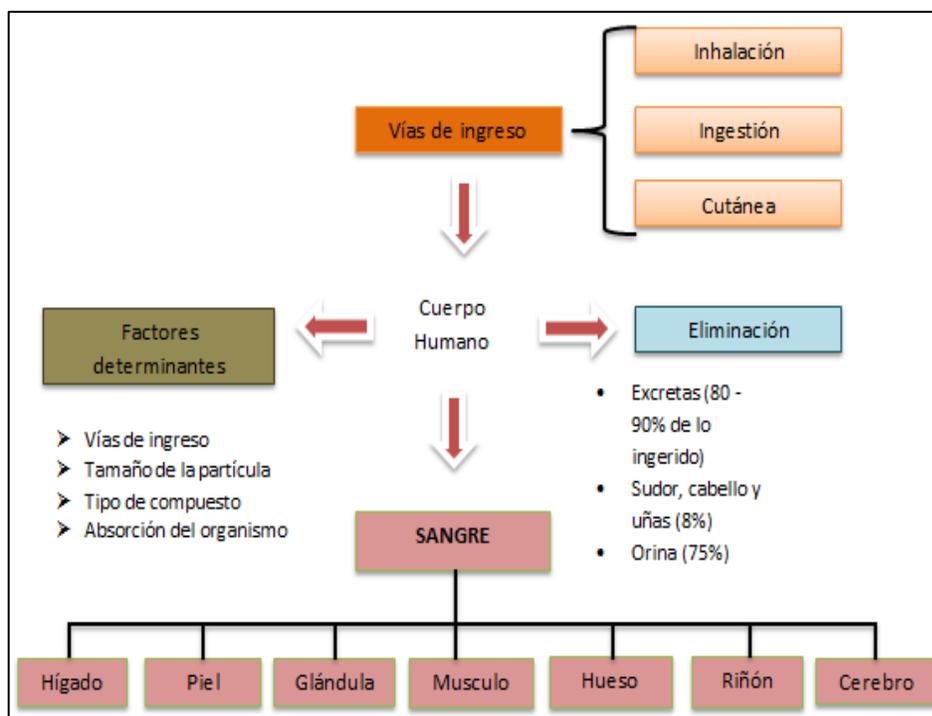


Figura 3. Vías de ingreso y eliminación del plomo en el organismo humano (MINSA., En Línea).

Los metales pesados con efectos adversos para la salud en el metabolismo humano (incluyendo el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), cobre (Cu), níquel (Ni), Zinc (Zn) y cromo (Cr)) presentan preocupaciones obvias debido a su persistencia en el medio ambiente y el potencial documentado por las consecuencias graves de salud (Zhang *et al.*, 2015).

Cuadro 7. Efectos crónicos en la salud por exposiciones de As, Cd, Cr y Pb en agua potable (Prieto *et al.*, 2009).

Elemento	MNMC ¹ (mg/L)	NMC ² o TT ³ (mg/L)	Posibles efectos sobre la salud	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Arsénico	ninguno	0.05	Lesiones en la piel, trastornos circulatorios, alto riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales, aguas de escorrentías de huertos, aguas con residuos de la fabricación de vidrios y electrónicos.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales	Corrosión de tubos galvanizados, erosión de depósitos naturales, efluentes de refinerías de metales, líquidos de escorrentías de baterías usadas y de pinturas.
Cromo (total)	0.10	0.10	Dermatitis alérgica	Efluentes de fábricas de aceros y papel, erosión de depósitos naturales.
Plomo	0.00	Nivel de acción = 0.015	En bebés y niños, retardo en desarrollo físico o mental; podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. En adultos trastornos renales e hipertensión	Corrosión de cañerías en el hogar, erosión de depósitos naturales

1. Meta de Nivel Máximo Contaminante (MNMC): Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos obligatorios de la Salud Pública.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NMC): Es el máximo nivel permitido de un contaminante en el agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando la mejor tecnología de tratamiento posible. Los NMC son normas de obligatorio cumplimiento.
3. Técnica de Tratamiento (TT): Proceso obligatorio cuya finalidad es reducir el nivel de contaminante dado en el agua potable.

Se necesitan algunos metales pesados como: Cu, Fe, Mn y Zn para la actividad metabólica de los organismos, pero estos metales muestran toxicidad cuando sus concentraciones superan un cierto nivel en los organismos. Otros metales pesados como As, Cd, Cr, Ni y Pb son extremadamente tóxicos incluso a bajas concentraciones en condiciones determinadas (Zhang *et al.*, 2014).

El cobre es un nutriente fundamental para los seres vivos, todos lo necesitamos para crecer, desarrollarnos y vivir. Además interviene en un sin fin de funciones corporales vitales como respiración, la producción de energía y la formación de los huesos y la piel (infoCOBRE., 2004). El zinc participa en una gama de procesos bioquímicos relacionados con el metabolismo humano y no es extraño que múltiples funciones fisiológicas y metabólicas se vean alteradas cuando ocurre su deficiencia (López *et al.*, 2010).

En su rol estructural el zinc estabiliza la estructura terciaria de enzimas, dándoles una forma conocida como "dedos de zinc", las cuales se unen al ADN para la transcripción y expresión génica. Aproximadamente el 83% del zinc en el cuerpo está en músculo y hueso y el 95% se encuentra a nivel intracelular. No existe un lugar anatómico específico que funcione como reserva de zinc y por ende no hay reservas convencionales en tejidos que puedan ser liberadas o almacenadas en respuesta a variaciones en la dieta (López *et al.*, 2010).

2.4.2. Metales pesados en leche.

Entre los diferentes tipos de alimentos, la leche es un indicador fiable de la ingesta de la población general de ciertos radionucleidos, metales y metaloides, ya que es consumida por un gran segmento de la población (Ademola *et al.*, 2015). La leche de vaca puede ser utilizada para determinar la transferencia de estos elementos desde el suelo a la leche y finalmente a los seres humanos (Batool *et al.*, 2016). Por lo tanto, la determinación de los niveles de metales pesados y radionucleidos naturales en la leche y los productos lácteos son importantes para controlar los niveles de toxicidad de nuestras dietas y es necesario establecer reglas y regulaciones relacionadas con el procesamiento y la fabricación de estos productos (Ademola *et al.*, 2015).

Es necesario analizar el nivel de estos metales en la leche para sugerir una posible vía de adsorción (Batool *et al.*, 2016). La presencia de agentes contaminantes en la leche y sus productos, es causada por diferentes actividades agrícolas (Siddiki *et al.*, 2012). Puede ocurrir como resultado de la deposición

directa de radionucleidos y metales pesados en las plantas y los tubérculos de frutas, la absorción de la tierra a través de la raíz o agua contaminada y los animales que ingieren plantas, suelo o agua contaminada (Ademola *et al.*, 2015). La leche y los productos lácteos son componentes básicos de una dieta diaria de los consumidores contemporáneos (Bigucu *et al.*, 2016). La leche ha sido descrita como un alimento completo, ya que contiene nutrientes vitales, incluyendo proteínas, ácidos grasos esenciales, lactosa, vitaminas y minerales en proporciones equilibradas. Desde el punto de vista nutricional, los metales contenidos de leche y productos lácteos se pueden agrupar en elementos esenciales (hierro, cobre y zinc) a dosis bajas y los no esenciales o tóxicos (plomo y cadmio) (Meshref *et al.*, 2014).

En muchas zonas rurales del mundo, la leche se considera la principal y quizá la única fuente de nutrición, especialmente para los niños (Younus *et al.*, 2016). La exposición a estos contaminantes puede causar cambios en el crecimiento y el desarrollo cognitivo del niño (Cardoso *et al.*, 2014). La contaminación global del medio ambiente con metales pesados conduce a un mayor interés en los productos alimenticios (Elbarbary y Hamouda, 2013). El número de investigaciones que sugieren vínculos entre ellos es bastante limitado, especialmente en los países emergentes. Además, existe una brecha importante en torno a la información disponible sobre los niveles de contaminación en áreas urbanas donde los episodios de contaminación son históricos, y son inexistentes (Cardoso *et al.*, 2014).

El contenido de metales tóxicos de leche y productos lácteos depende de varios factores, en particular de las condiciones ambientales, el proceso de fabricación y la posible contaminación durante varias etapas de los procesos de fabricación (Temiz y Soyly, 2012). Sin embargo, a nuestro entender, muy poco se sabe actualmente sobre los niveles de metales pesados y elementos traza en la leche y los productos lácteos (Meshref *et al.*, 2014).

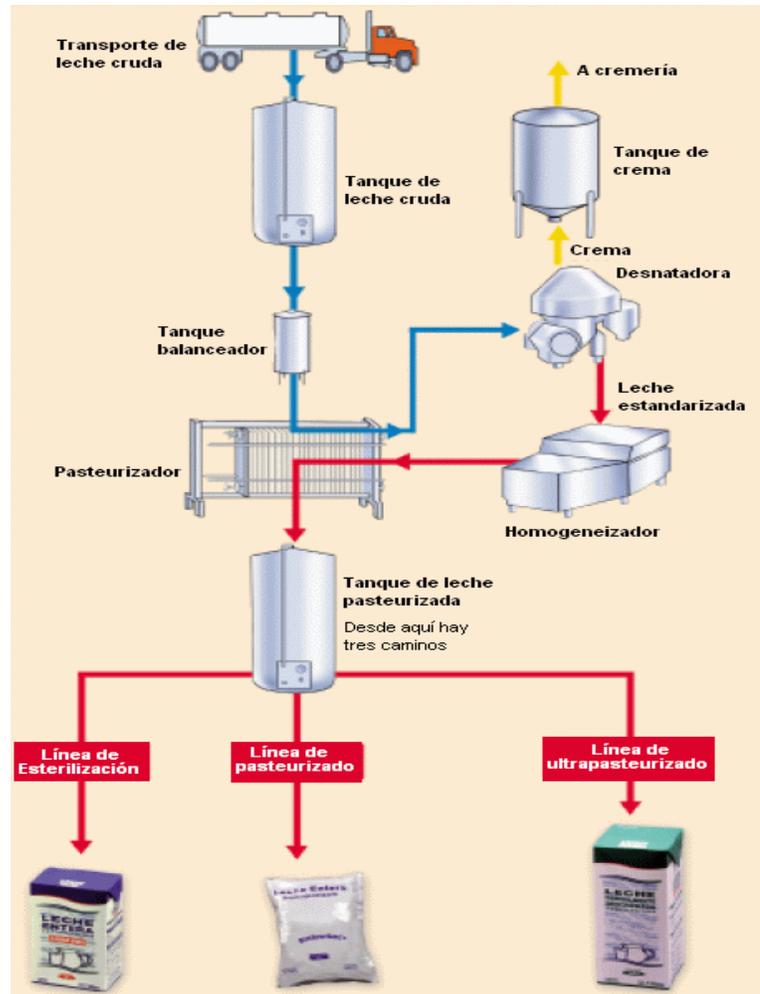


Figura 4. Proceso de la leche (Blogspot, 2011).

La acción tóxica de estos contaminantes se manifiesta de forma diversa. En general, participan en procesos metabólicos vitales, provocando daños en cualquier eslabón de la cadena alimenticia. El metal pesado puede sustituir componentes de enzimas específicas y otros metales catalizadores, produciéndose alteraciones bioquímicas que afectan en mayor o en menor grado el sistema biológico, debido a la inestabilidad estructural y funcional del mismo. Dichos metales, al pasar a lo largo de la cadena de consumo, la que está asociada con la vida animal y vegetal, lo hacen en concentraciones no dañinas, pero al incrementarse su nivel, afectarían a los miembros superiores de una cadena alimenticia (Marti *et al.*, 2011).

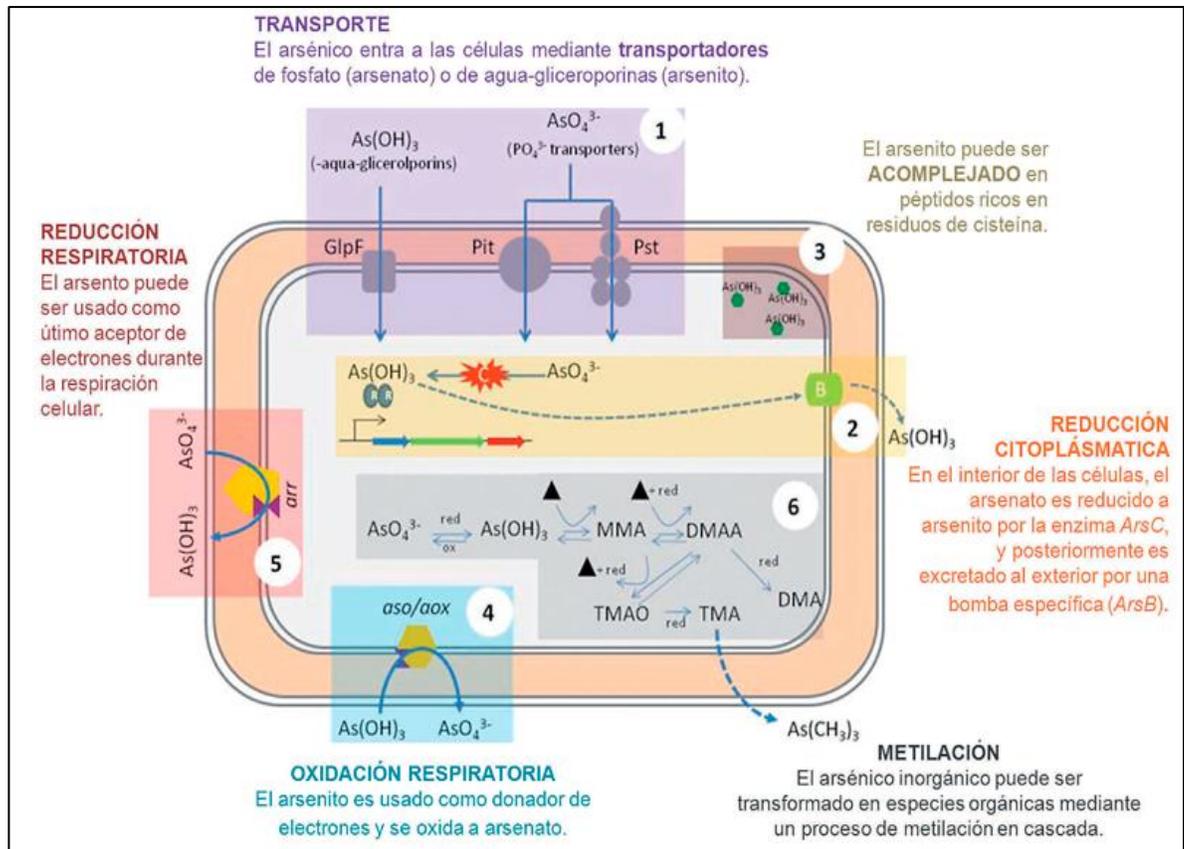


Figura 5. Principales mecanismos de transformación de arsénico y resistencia en bacterias. (1) El arsénico entra en la célula a través de los canales de fosfato (arsenato) o de agua-gliceroporinas (arsenito). (2) Una vez en el interior de las células, el arsenato es reducido a arsenito a través de *ArsC*, para posteriormente ser expulsado a través de *ArsB*. (4) El arsenito puede servir como donador de electrones, oxidándose a arsenato. (6) El arsenato puede utilizarse como aceptor final de electrones durante la respiración celular. (3) El arsénico inorgánico puede acomplejarse con residuos de cisteína de los péptidos o transformarse en especies orgánicas a partir de complejos con cascadas de metilación (MAPFRE., 2013).

Y esto se da por la contaminación de los recursos hídricos, suelos, sedimentos y biota (Zhang *et al.*, 2014). Por lo tanto, se han hecho esfuerzos para ejercer el control en todas las etapas de la producción de leche que ayuda a evitar o razonablemente disminuir la contaminación de la leche con diversos contaminantes. Como la leche es una de las rutas principales a través de las cuales varios residuos químicos ganan la entrada en el sistema humano, es esencial controlar la presencia de estos metales pesados a intervalos regulares

a fin de garantizar que la salud pública no está en peligro (Dhanalakshmi y Gawdaman, 2013). Un área de trabajo importante del Codex es el establecimiento de límites de seguridad y el suministro de orientación, a lo largo de la cadena alimentaria, acerca de la prevención y la reducción de la contaminación (OMS., 2013).

2.5. ARSÉNICO (As).

Se le conoce desde la antigüedad. Aristóteles c.500 AC fue el primero en mencionarlo. Mil años después, Olympiodorus de Tebas aísla el trióxido de arsénico. Agrícola, en su tratado *De Re Metallica*, 1 556, escribió sobre lo dañino del entonces llamado cobalto arsenical, reconociendo ya relación entre la enfermedad y la manipulación del As por los fundidores. En el siglo XIX y hasta c.1940, el arsénico fue prescrito como amebicida, antisoriásico (licor de Fowler) y tónico. En 1888, Hutchinson detalla el riesgo carcinógeno para piel. En 1901, Erlich descubre el compuesto 606 (*Salvarsan o Arsfenamina*) y luego el Neosalvarsan (compuesto 914) para el tratamiento de la sífilis. Parece ser que Napoleón Bonaparte al morir estaba siendo tratado o habría sido envenenado con arsénico. Cerca de la Primera Guerra Mundial se introduce la lewisita (2-clorovinil dicloroarsina) como un potente gas vesicante e incapacitante para uso bélico, pero no se le emplea en la Gran Guerra porque la humedad del ambiente europeo lo neutraliza (Ramírez, 2013).

El arsénico es un componente o elemento natural de la corteza terrestre (COFEPRIS, 2016). Ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal (ATSDR., 2016). Puede encontrarse en forma de sulfuro en una gran variedad de minerales que contienen cobre, plomo, hierro, níquel, cobalto y otros metales (COFEPRIS, 2016). Los componentes del arsénico se usan para preservar la madera, como plaguicidas y en ciertas industrias (MedlinePlus., 2017).

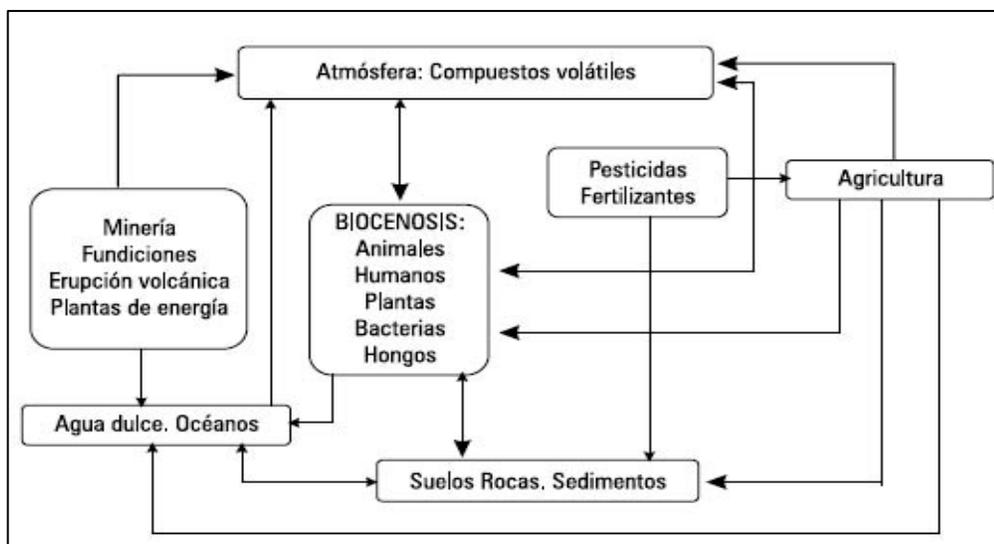


Figura 6. Ciclo del arsénico (Ramírez, 2013).

Actualmente, aproximadamente 90% del arsénico que se produce es usado como preservativo para madera, para que ésta no se deteriore o se pudra. El preservativo es el arsenato cromado de cobre (CCA) y a la madera tratada se le refiere como madera presurizada. Los productos de madera presurizada con CCA continúan siendo usados en aplicaciones industriales. No se sabe en qué grado los productos de madera presurizada contribuyen, si lo hacen del todo, a la exposición del arsénico (ATSDR., 2016). La toxicidad para los humanos de un compuesto con arsénico depende en gran medida de su forma química (Montoya *et al.*, 2015).

El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico (ATSDR., 2016). Siendo esta (inorgánica) altamente tóxica (COFEPRIS, 2016). El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico (ATSDR., 2016). Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales (MedlinePlus., 2017).

El arsénico inorgánico está naturalmente presente en altos niveles en las aguas subterráneas de diversos países, entre ellos la Argentina, Bangladesh, Chile, China, la India, México y los Estados Unidos (OMS., 2016).

En el pasado, los compuestos inorgánicos de arsénico se usaron predominantemente como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales. Actualmente, los compuestos inorgánicos de arsénico no se pueden usar en la agricultura. Sin embargo, los compuestos orgánicos de arsénico, específicamente el ácido cacodílico, el arsenato de metilo bisódico (DSMA) y el arsenato de metilo monosódico (MSMA), aun se usan como plaguicidas, principalmente en algodón. Algunos compuestos orgánicos de arsénico se usan como suplementos en alimentos para animales. Cantidades pequeñas de arsénico metálico se agregan a otros metales para formar mezclas de metales o aleaciones con mejores características físicas (ATSDR., 2016).

El uso más extenso de las aleaciones de arsénico es en baterías para automóviles. Otro uso importante de los compuestos de arsénico es en semiconductores y en diodos que emiten luz (ATSDR., 2016).

Este metal en particular se considera más tóxico cuando está en sus formas inorgánicas, aparecen sobre todo, en aguas, donde se encuentran principalmente en forma de pentóxido de arsénico (As_2O_5) o trióxido de arsénico (As_2O_3) (Montoya *et al.*, 2015). O por ejemplo, arsenito de sodio ($NaAsO_2$), tricloruro de arsénico ($AsCl_3$) y ácido arsenioso (H_3AsO_3) (Das *et al.*, 2017).

La exposición a niveles de arsénico inorgánico ocurre naturalmente en el suelo y rocas, especialmente en minerales que contienen cobre o plomo. Cuando estos minerales se calientan en hornos, la mayor parte del arsénico se elimina a través de la chimenea en forma de un polvo fino que entra a la atmósfera. Las fundiciones pueden recuperar este polvo y remover el arsénico en la forma de un compuesto llamado trióxido de arsénico (As_2O_3) (ATSDR., 2016).

La toxicidad de estos compuestos depende del estado de oxidación, estado físico, solución o tamaño de las partículas de polvo, la velocidad de absorción en las células, la velocidad de eliminación y la solubilidad en el medio biológico

(Montoya *et al.*, 2015). El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico (ATSDR., 2016).

La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, en general entre aproximadamente 1 y 40 partes por millón (ppm) de arsénico en el suelo con un promedio de 3 a 4 ppm. Sin embargo, los suelos cerca de depósitos geológicos ricos en arsénico, cerca de algunas minas y fundiciones, o en áreas agrícolas donde se usaron plaguicidas con arsénico en el pasado, pueden tener niveles de arsénico mucho más altos. Generalmente, la concentración de arsénico en agua de superficie o subterránea es aproximadamente 1 parte de arsénico por billón de partes de agua (1 ppb), pero puede exceder 1,000 ppb en áreas de minería o donde los niveles de arsénico en el suelo son naturalmente elevados (ATSDR., 2016).

La mayoría de los compuestos orgánicos e inorgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan. No tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial. Por esta razón, generalmente no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire (ATSDR., 2016). Su mayor amenaza para la salud pública reside en la utilización de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios (OMS., 2016).

Se ha reportado la intoxicación aguda por arsénico asociada a la ingestión de agua con concentraciones muy altas (21mg/l) de arsénico (COFEPRIS, 2016). Entre 2000 y 2005, surgieron muchos sitios nuevos en Nepal, China, Mongolia, Myanmar, Afganistán, Camboya, República Popular Democrática de Corea y Pakistán con problemas de agua subterránea relacionados con el arsénico. Entre estos, es más prominente en países como India, Bangladesh y Taiwán (Das *et al.*, 2017).

La contaminación de aguas subterráneas por arsénico es una grave amenaza para la humanidad, ya que el arsénico puede incorporarse fácilmente en la

cadena alimenticia y favorecer su distribución de amplia difusión en todo el reino animal y vegetal (Montoya *et al.*, 2015).

La ingesta de arsénico inorgánico a lo largo de un periodo prolongado de tiempo (exposición crónica), principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada con esta y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico (OMS., 2016). Puede producir envenenamiento crónico por arsénico (arsenicismo) y las manifestaciones pueden presentarse dependiendo del nivel de exposición y de la presencia de factores adicionales (como tabaquismo, obesidad, hábitos alimentarios y condiciones genéticas entre otros), incluyen lesiones en piel, neuropatía periférica, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (COFEPRIS, 2016).

Los mecanismos de incorporación del As en el agua son:

- a) La disolución del arsénico de rocas y minerales, los más comunes corresponden a sulfuros como: La Arsenopirita (FeAsS), la Rejalgar (AsS) y al Oropimente (As_2S_3) entre otros, y;
- b) La desorción del Arsénico (escapes en forma gaseosa) de rocas y materiales por procesos de reducción/ oxidación, pasando del Arsénico (III) a Arsénico (V).
- c) Aguas subterráneas ricas en As se llegan a encontrar también en zonas geotérmicas, y en menos escala en áreas de riego donde se han utilizado altas cantidades de fertilizantes (Rivera, 2016).

En el pasado, las personas estaban expuestas al arsénico durante algunos tratamientos médicos y por el contacto con pesticidas. Los compuestos de arsénico inorgánico se usaron ampliamente como pesticidas hasta mediados de 1990 y se encontraban en algunos medicamentos hasta la década de 1970. En los años 1990, las investigaciones demostraron que un compuesto de arsénico, el trióxido de arsénico, era eficaz para el tratamiento de la leucemia promielocítica aguda (NIH., 2015).

Tanto la forma inorgánica como la forma orgánica de arsénico abandonan el cuerpo en la orina. La mayoría del arsénico abandona el cuerpo en unos días, pero una cantidad permanecerá en el cuerpo durante meses o más tiempo. Si usted se expone a arsénico orgánico, la mayor parte abandonará el cuerpo en unos días (ATSDR., 2016).

La vida media del arsénico inorgánico en los humanos es de aproximadamente 10 horas. Aproximadamente el 95% de una dosis ingerida de compuestos de arsénico trivalente se absorbe en el tracto digestivo. El arsénico sufre biometilación en el hígado. Aproximadamente el 70% del arsénico se excreta, principalmente por la orina. La mayor parte de una dosis única, de bajo nivel, se excreta en los siguientes días posteriores a la ingesta (ATSDR., 2010).

Aún no se determina con precisión cuál es la cantidad de arsénico que se absorbe por inhalación, pero se piensa que sea de un 60% a un 90%. Las partículas de tamaño más pequeño alcanzan a depositarse más a fondo en el tracto respiratorio. Después de haber sido absorbido en los pulmones o en el tracto digestivo, el arsénico se distribuye ampliamente por el cuerpo vía el torrente sanguíneo. De dos a cuatro semanas después de que cesa la exposición al arsénico, esta sustancia puede encontrarse en tejidos ricos en queratina como piel, el pelo y las uñas (ATSDR., 2010).

Los pescados, mariscos, carnes, aves de corral, productos lácteos y cereales también pueden ser fuentes alimentarias de arsénico, aunque la exposición a través de estos alimentos suele ser muy inferior a la exposición a través de aguas subterráneas contaminadas (OMS., 2016). Los peces y mariscos pueden acumular arsénico; la mayor parte de este arsénico está en una forma orgánica llamada arsenobetaina, que es mucho menos peligrosa (ATSDR., 2016).

2.5.1. Efectos del arsénico en la salud.

Hay muchos factores que determinan si la exposición al arsénico lo perjudicará. Estos factores incluyen la dosis (la cantidad), la duración (por cuánto tiempo) y la manera como entró en contacto con esta sustancia (ATSDR., 2016). La inhalación es una de las principales rutas de exposición del arsénico, lo mismo

que la ingesta. La exposición dérmica puede provocar enfermedad, pero se considera como una ruta de exposición menor (ATSDR., 2011). También debe considerar, su edad, sexo, dieta, características personales, estilo de vida y condición de salud (ATSDR., 2016).

El As (III) entra en las células a un pH neutro por acuagliceroporinas (proteínas de transporte de glicerol) en bacterias, levaduras y mamíferos, y su toxicidad reside en su capacidad para unirse a los grupos sulfhídrico de los residuos de cisteína en las proteínas, lo que las inactiva y lo hace altamente tóxicas (Montoya *et al.*, 2015).

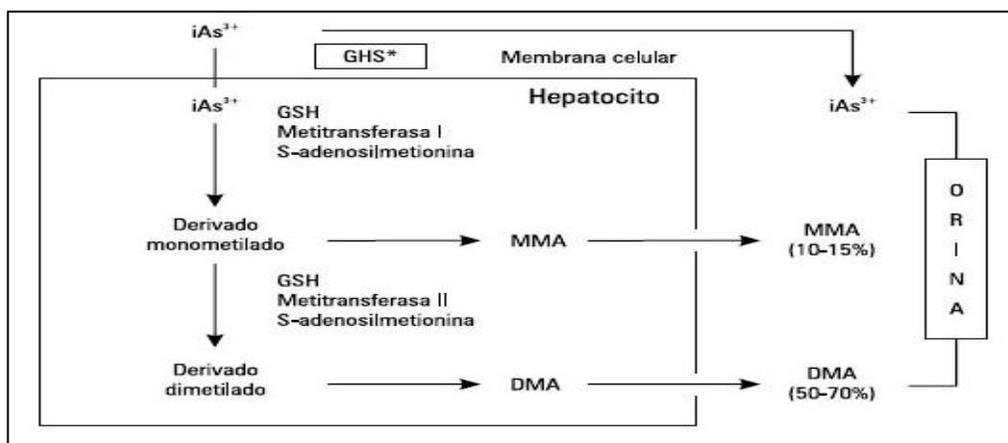


Figura 7. Bio-transformación del arsénico inorgánico, GSH*= Glutation Sulfhidrolitol (Ramírez, 2013).

Si usted ingiere niveles de arsénico más bajos (entre 300 y 30,000 ppb de arsénico en el agua; 100 a 1,000 veces mayores que la mayoría de los niveles en el agua potable en EE.UU.), puede sufrir irritación del estómago y los intestinos, acompañado de dolor de estómago, náusea, vómitos y diarrea. Otros efectos que puede sufrir incluyen reducción de la producción de glóbulos rojos y blancos, lo que puede causar fatiga, ritmo cardíaco anormal, daño de los vasos sanguíneos (lo que produce contusiones) y alteraciones de la función de los nervios (lo que produce una sensación de hormigueo en las manos y los pies) (ATSDR., 2016).

La exposición al arsénico puede causar muchos problemas de salud (MedlinePlus., 2017). Tal vez el efecto más característico de la exposición oral prolongada a arsénico inorgánico es un cuadro de alteraciones de la piel. Estas incluyen un oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso, a menudo asociados con alteraciones en los vasos sanguíneos de la piel. También se puede desarrollar cáncer de la piel (ATSDR., 2016).

Se ha observado que tragar arsénico aumenta el riesgo de desarrollar cáncer del hígado, la vejiga y los pulmones (ATSDR., 2016). Se ha demostrado que el arsénico podría interferir con diferentes procesos celulares, como el ciclo celular, la diferenciación y la reparación del ADN y es capaz de modular varias vías de señalización (Jahanbazi *et al.*, 2017). El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es reconocido como sustancia carcinogénica en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos (ATSDR., 2016).

La exposición crónica al arsénico es capaz de alterar la expresión del número de genes que están implicados en diferentes procesos fisiológicos en seres humanos. Por ejemplo, los genes responsables del metabolismo, las respuestas al estrés (Das *et al.*, 2017). También hay alguna evidencia que sugiere que la exposición prolongada de niños al arsénico puede causar cocientes de inteligencia (IQ) bajos. No se sabe si la absorción de arsénico desde los intestinos es diferente en niños que en adultos. Hay alguna evidencia de que la exposición al arsénico en el útero y durante la infancia puede aumentar la tasa de mortalidad en adultos jóvenes (Calao y Marrugo, 2015).

El arsénico está fuertemente asociado con el envejecimiento, el acortamiento de los telómeros y la reducción de la actividad de la telomerasa debido a la generación de ROS (reactive oxygen species) (Jahanbazi *et al.*, 2017).

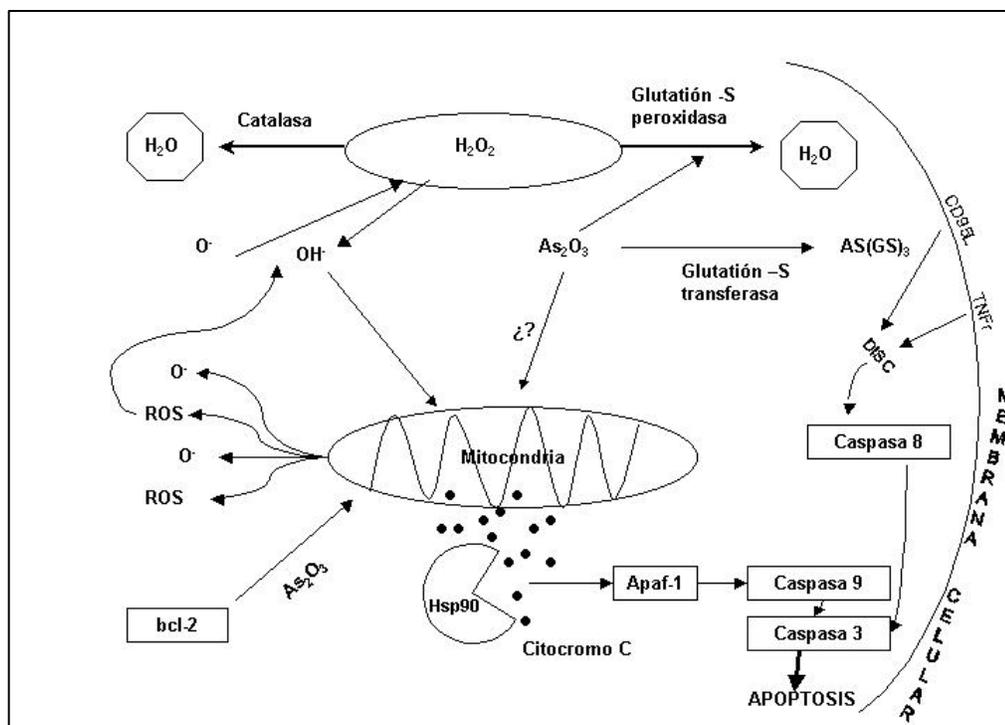


Figura 8. Diferentes mecanismos de acción de trióxido de arsénico en la leucemia promielocítica (Hernández *et al.*, 2008).

Casi no hay ninguna información acerca de los efectos de los compuestos orgánicos de arsénico en seres humanos. Los estudios en animales indican que la mayoría de los compuestos orgánicos de arsénico simples (por ejemplo, los compuestos de metilo y dimetilo) son menos tóxicos que las formas inorgánicas. En animales, la ingestión de compuestos de metilo puede producir diarrea, y la exposición de por vida puede dañar los riñones. La exposición de por vida a compuestos de dimetilo puede dañar la vejiga y los riñones (Calao y Marrugo, 2015).

Se encuentra que es un gran problema de salud pública en muchos países como Hungría, Chile, México, Estados Unidos, Vietnam, China, Bangladesh y la India (Das *et al.*, 2017). Mientras el arsénico provoca problemas de piel, próstata y cáncer de pulmón, enfermedades de las vías respiratorias y gastrointestinales (Batool *et al.*, 2016). También el arsénico se ha relacionado epidemiológicamente con las enfermedades cardiovasculares (Hartuti *et al.*, 2017). La exposición a niveles elevados de arsénico puede provocar la muerte (MedlinePlus., 2017). Por esta razón, diferentes legislaciones sanitarias a nivel mundial establecen límites

permisibles de metales pesados en el agua de consumo, para garantizar un nivel mínimo de riesgo para la salud humana (Calao y Marrugo, 2015).

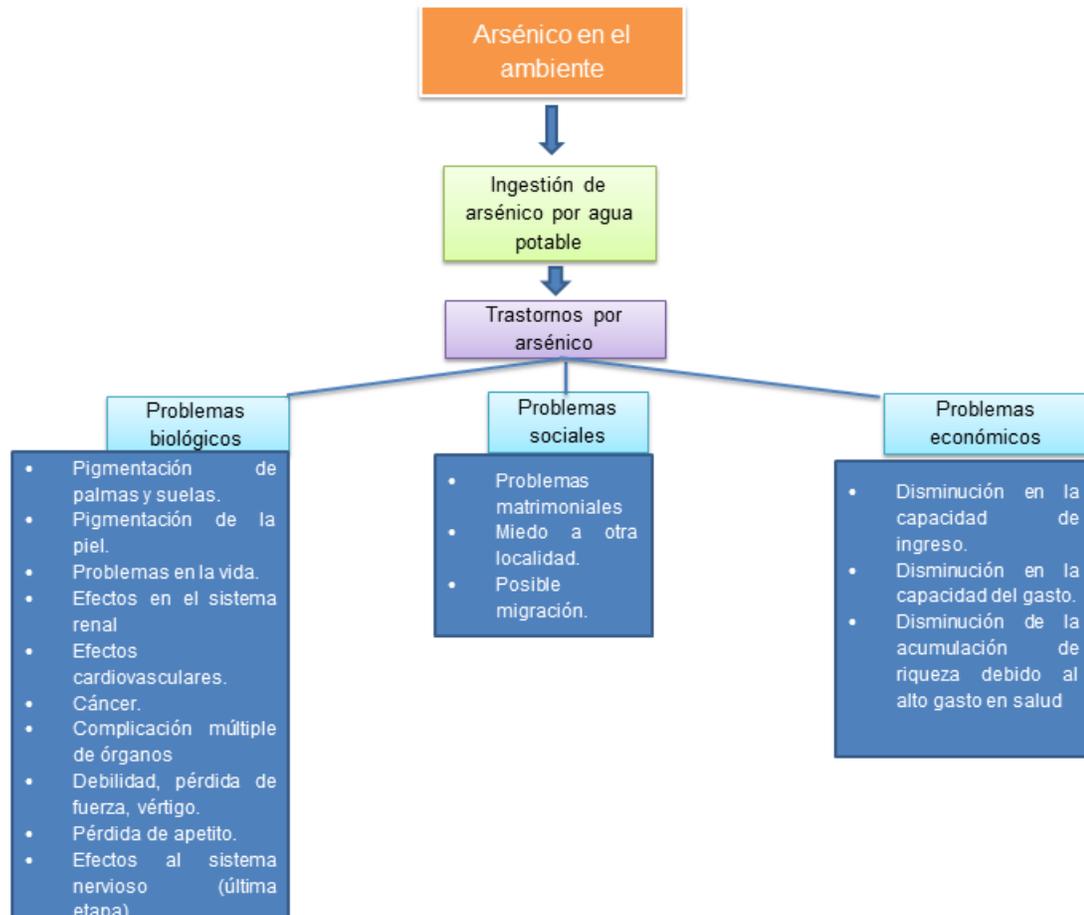


Figura 9. Marco conceptual que muestra las vías de toxicidad del arsénico y sus consecuencias entre los seres humanos (Das *et al.*, 2017).

2.5.2. Problema de arsénico en México.

En México se ha determinado que existen varias regiones en donde se ha encontrado la presencia natural de arsénico, y otros metales, en diversos acuíferos, entre ellos algunos localizados en los Estado de Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo (COFEPRIS, 2016). El área afectada es de aproximadamente 3200 km², siendo la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, la región donde se reportan las mayores

concentraciones. El contenido de arsénico en pozos agrícolas varió de 7 a 740 $\mu\text{g L}^{-1}$. En el suelo, las concentraciones de arsénico llegaron a 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ y éste se encontró retenido principalmente en las fracciones del limo y arcilla (Rangel *et al.*, 2015).

La presencia de arsénico muestra elevadas concentraciones contaminando en forma natural grandes acuíferos (Rivera, 2016). La Comarca Lagunera es una de las áreas más importantes de la agricultura y ganadería; además, es la principal cuenca lechera en el país. Por lo tanto, la explotación del agua subterránea es un componente importante de su crecimiento económico. Sin embargo, esto ha causado una continua elevación de la concentración de arsénico en el agua del subsuelo, la cual se utiliza para consumo animal, humano y riego agrícola (Rangel *et al.*, 2015).

El origen del arsénico presente en la Comarca Lagunera se atribuye a procesos geológicos que han actuado al menos en un lapso de 60 millones de años y estos son: erosión y disolución de las rocas volcánicas y sedimentarias del entorno, siendo transportado por corrientes fluviales en solución, suspensión y contenido en los sedimentos y depositado dentro de la cuenca endorreica que conforma la Laguna de Mayran, otros factores menores que aportan arsénico son fuentes termales, el cual se ha venido concentrando en buena medida por la intensa evaporación del agua (Rivera, 2016).

2.5.3. Contexto geológico.

La comarca lagunera, desde el punto de vista tectonoestratigráfico se encuentra conformada por los terrenos: Sierra Madre Oriental, Guerrero y Sierra Madre Occidental, elementos que han jugado un papel importante ya que de estos proviene el arsénico que se encuentra presente en la cuenca de los depósitos aluviales (Rivera, 2016).

2.5.3.1. Rocas sedimentarias del mesozoico.

Las unidades que predominan son consideradas como rocas formadas en ambientes marinos y lacustres, durante el Mesozoico con edades que oscilan

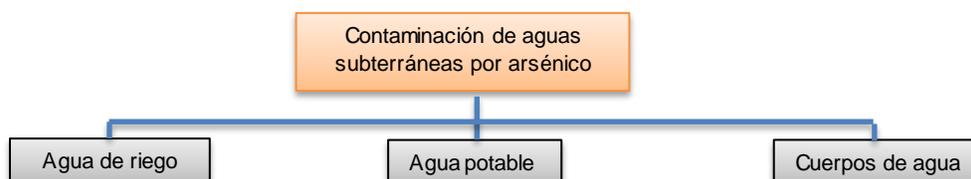
entre 251 y 65 millones de años, y están representadas por caliza y yeso, se caracterizan por presentar contenidos de arsénico, que son de fácil disolución y transporte (Rivera, 2016).

2.5.3.2. Rocas ígneas volcánicas e intrusivas del cenozoico.

Una vez que ocurre la acreción de los Terrenos Guerrero y Sierra Madre, comienza una etapa de vulcanismo que permite la formación de lo que se conoce como Sierra Madre Occidental, considerada como la provincia volcánica más grande del mundo, contando con una extensión de 1200 km y ancho entre 200 y 400 m. Las rocas de esta zona corresponden a riolitas, andesitas y basaltos, a estas unidades se asocian los principales yacimientos minerales de Durango y Chihuahua, que se caracterizan por presentar altos contenidos de arsénico, los muestreo de sedimentos de arroyo realizados por el SGM, muestran valores entre 10 y 600 g/t, en forma general y estos aumentan hasta 900 g/t, en zonas donde existen depósitos minerales (Rivera, 2016).

En México, en 1958, se reconoció que la comarca lagunera es una zona con hidroarsenicismo crónico, época en que se hicieron visibles los primeros efectos en la salud, que se manifiestan como enfermedades de cáncer de piel, hígado, vesícula, próstata, vejiga y pulmón, así como enfermedades del pie negro, esterilidad y aborto (Rivera, 2016).

Los primeros estudios epidemiológicos fueron realizados en la década de los 70s y los 80s, concluyendo que estos se debían principalmente al consumo de agua con altos contenidos de arsénico; la comisión nacional del agua, por su parte determinó que las concentraciones de arsénico en el agua superan los 300 microgramos por litro, cuando la OMS sugiere 10 microgramos en el agua como apta para el consumo humano (Rivera, 2016).



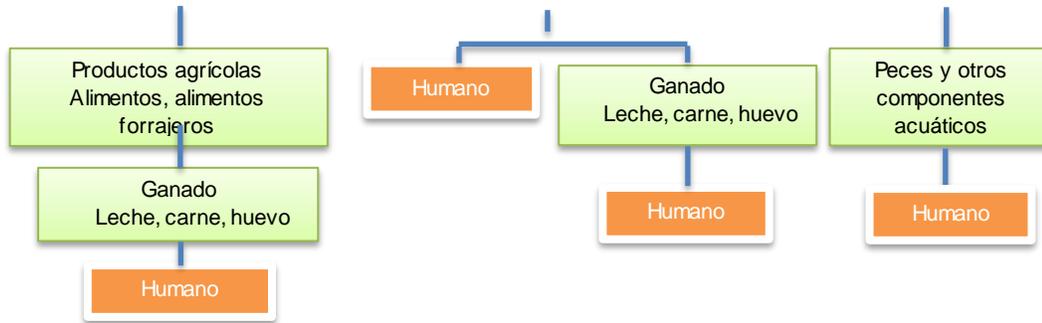


Figura 10. Fuentes a través de las cuales los seres humanos se exponen al arsénico (Das *et al.*, 2017).

El suelo de la Comarca Lagunera está constituido principalmente por arcilla con bajo contenido de materia orgánica y un pH alcalino (> 8). El arsénico en los suelos normalmente se limita a la fracción de arcilla que contiene aluminio amorfo y oxihidróxidos de hierro (Rangel *et al.*, 2015).

Los acuíferos con concentraciones altas de arsénico generalmente corresponden a cuencas cerradas en zonas áridas, rellenas con materiales aluviales donde el gradiente hidráulico se encuentra en posición casi horizontal y el agua circula lentamente, permitiendo que se lleven a cabo las reacciones químicas que ocasionan la presencia de As en el agua, como es el caso de la Comarca Lagunera (Rivera, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODO.

Este muestreo se realizó en leche bovina comercializada (procesada) líquida. Las muestras tomadas fueron de distintos centros de venta de la ciudad de Torreón, Coahuila. En un periodo fijado por un mes.

En la siguiente tabla se referencian algunas productoras y marcas de leche que se comercializan en la ciudad de Torreón. Las cuales son el universo poblacional del estudio.

Cuadro 8. Productoras y marcas de leche comercializadas en la Ciudad de Torreón, Coahuila.

Productora	Marca
Santa Clara Mercantil de Pachuca, S. de R.L. de C.V.	Santa Clara®
Comercializadora de lácteos y derivados S.A. de C.V.	LALA® Entera
Comercializadora de lácteos y derivados S.A. de C.V.	Nutri Leche®
Leche Bell S.A. de C.V.	Leche Bell®
Leche Bell S.A. de C.V.	Nutribell®
Ganaderos productores de leche pura, S.A.P.I. de C.V.	Alpura Clásica®
Lechera Guadalajara S.A. de C.V.	Sello Rojo®
Chilchota Alimentos S.A. de C.V.	CHILCHOTA®
Chilchota Alimentos S.A. de C.V.	Multileche®
Pasteurizadora Aguascalientes S.A. de C.V.	SAN MARCOS®
Comercializadora de lácteos y derivados S.A. de C.V.	Border®
Pasteurizadora Aguascalientes S.A. de C.V.	Leche granja®
Nueva Wal-Mart de México S. de R.L. de C.V.	Great Value®
Parque Industrial lagunero S.A. de C.V.	Queen®
Ganaderos productores de leche pura S.A.P.I. de C.V.	Fortileche®

El muestreo se realizó de la siguiente manera: muestras recolectadas semanalmente de los centros de venta con un total de 32 muestras de leche líquida mensual, todas las muestras fueron analizadas por el *Arsenic* test.

Método: por adición de cinc y de un ácido sólido a los compuestos de arsénico (III) y arsénico (V) se libera hidruro de arsénico que con bromuro de mercurio (II) contenido en la zona de reacción de la tira de ensayo forma halogenuros pardos amarillos mixtos de arsénico y mercurio. La concentración de arsénico (III) y arsénico (V) se determina semicuantitativamente por comparación visual de la zona de reacción de la tira de ensayo con las zonas de una escala colorimétrica.

3.1. MATERIALES.

Equipos.

- pHMetro Orion 420A.
- Conductímetro 162 Orion.

Materiales.

- Agua destilada.
- Ácido clorhídrico (lavado de material).
- 2 Pipetas de 5ml.
- Vasos de precipitado 50 ml.
- Arsenic test Merckoquant.

3.2. METODO.

3.2.1. Procedimiento para la determinación de arsénico (As).

Se ocupó el Arsenic test de la marca: Merckoquant con un campo de aplicación de arsénico trivalente y pentavalente. El intervalo ocupado fue 0,02 – 0,5 mg/l de As.

Visión de estudio: La prueba de arsénico es adecuada para medir el arsénico en el agua, extractos de suelo, productos farmacéuticos, muestras biológicas preparadas y alimentos líquidos.

Se trabajó con una dilución 1:1

Método a seguir

- Lavar los tubos de reacción, vasos de precipitado, pipetas con agua destilada y ácido clorhídrico (HCl) antes de su uso.
- Colocar en los vasos de precipitado la muestra de leche a trabajar, medir pH, conductividad y temperatura.
- Enjuagar varias veces el tubo de reacción con la muestra a trabajar.
- Muestra preparada (15-25°C), hacer una disolución: agregar 5ml de la muestra de leche y 5ml de agua destilada, agitar para homogenizar todo esto en el tubo de reacción.
- Añadir 1 micro-cuchara anaranjada rasa (en la tapa del frasco As-1), agitar ligeramente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente, agregar 1-2 cucharadas dosificadoras roja del frasco As-2, cerrar inmediatamente el tubo de reacción con la tapa roscada.
- Desplegar hacia arriba el fijador de tiras negras integrado en la tapa roscada de manera que el punto blanco señale hacia el usuario. Introducir inmediatamente en la abertura la tira de ensayo con la zona de reacción delante hasta la raya de marcado y plegar de nuevo el fijador de tiras totalmente hacia abajo.
- Dejar en reposo 20 minutos, agitando ligeramente dos o tres veces en forma circular. ¡Evitar el contacto entre la tira de ensayo y la solución!
- Sacar la tira, sumergirla brevemente en agua destilada, sacudirla para eliminar el exceso de líquido, y clasificar el color de la zona de reacción de la mejor manera posible de acuerdo con una zona de color en la etiqueta. Leer el correspondiente valor de medición en mg/l de As o estimar un valor intermedio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se han realizado diferentes trabajos estudiando la contaminación por metales pesados en la leche y los productos lácteos en diferentes países (Irán, Pakistán, Croacia, Francia y Turquía entre otros) demostrando qué factores influyen en la concentración. Un estudio realizado en la provincia de Hosur esto en India muestra un aumento en la concentración de arsénico en la leche de vaca de 0.024 $\mu\text{g/l}$ en 1996 a 0.082 $\mu\text{g/l}$ en 2013 (Dhanalakshmi y Gawdaman, 2013). Sin embargo en la provincia de Pernambuco, Brasil en donde el metal arsénico no se detectó a lo largo del estudio, en cierta medida, no se considera como indicativo de riesgo para el medio ambiente y la población local (Bezerra *et al.*, 2014).

En el cuadro nueve podemos observar las diferentes marcas de leche que se utilizaron para el presente trabajo, cabe señalar que se menciona la presentación comercial de las mismas, así como el número de lote de cada muestra. En relación a la temperatura se ve una diferencia considerable en las muestras (de entre 17 a 23.1 °C), estas diferencias se deben principalmente al procedimiento usado para su transporte y al clima de la región (verano), por lo que podemos observar que el factor temperatura afecta ligeramente el pH (6.5-6.7). En la conductividad se ve una variación que va de 2.21 a 6.18 mS/cm.

Cuadro 9. Datos obtenidos al inicio del muestreo.

Marca	Presentación	Lote/Caducidad	(°C)	Conductividad (mS/cm)	pH
Alpura® Clasica	1L	L1 1806 03:54 01 OCT 17	23.1	5.03	6.5
CHILCHOTA ®	1L	3 319-1 08:43 02 SEP 17 S1L2	17.5	2.21	6.7
LALA® Entera	500 ml	M8 11 AQO 17 S2 210 PC09:35	15.3	5.11	6.7

Leche Bell® entera	750ml	H19 11:25 3 V16 31AGO17 AA 31/AGO/17	20	5.30	6.7
Multileche®	1L	3317-2 08:59 30 AGO 17 S4L2	17.5	6.18	6.7
Nutri Bell®	1L	27 AGO 2017 H15 17:46 VIG. HASTA 31 AGO17	17	5.91	6.5
Nutri Leche®	1L	M4 11 SEP 17 SA 241 PC 09:54 JMD	20.1	5.44	6.7
Santa Clara® Entera	1L	5724 L2 086C 25/Jul/17 04:05	17	5.40	6.7

Cuadro 10. Resultados obtenidos en el muestreo.

MARCA	Presentación	mg/l de As
Alpura ® Clasica	1L	0.00
CHILCHOTA®	1L	0.00
LALA Entera®	500 ml	0.00
Leche Bell® Entera	750ml	0.00
Multileche®	1L	0.00
Nutri Bell®	1L	0.00
Nutri Leche®	1L	0.00
Santa Clara® Entera	1L	0.00

En la tabla diez podemos observar los resultados obtenidos, una vez analizadas las muestras con el equipo *Arsenic test*; en la tabla se muestra que, en las ocho marcas de leche comercial (procesada y envasada) analizadas, los niveles de arsénico encontrados fueron de 0.00 mg/l. En total se corrieron 32 pruebas, cuatro por marca de leche.

Otros estudios similares en donde se analizan diferentes metales demuestran que la concentración de arsénico es muy baja y no presenta algún riesgo a la salud, sin embargo dichos estudios aportan información como la de la región de Samsun en Turquía en donde se demuestra que el valor de cobre detectado en el período de verano fue más alto que el del período de invierno. El herbicida utilizado en la agricultura puede aumentar la cantidad de cobre en la leche. Por lo tanto, la cantidad de cobre de la leche podría aumentar tanto por las emisiones industriales como por los herbicidas en la temporada de verano (Temiz y Soyly, 2012).

En las provincias (Bare, Zhabar) en donde las concentraciones de dos metales (Cd, Zn) se ven influenciadas en los periodos verano-invierno (ejemplo: Zharbar invierno 0.01- verano 0.0304 mg/l de Cd) ligado a las fuentes que pudieran ser consecuencia de la actividad agrícola (pesticidas) (Hyseni y Musaj, 2014). Además otra investigación relevante, está realizada en Lubuskie, Polonia en donde se comparan las razas de vaca Simmental, Holstein-Friesian., se observó que cada una demuestra una adsorción diferente en el tracto gastrointestinal (Pilarczyk *et al.*, 2013).

En base a esos datos de investigaciones podemos detallar que factores intervienen en la concentración de metales en la leche, haciendo mención que en esos trabajos la leche es cruda es decir sin un procesamiento. En la tabla diez de este trabajo se muestran los valores obtenidos, donde vemos que la leche que ya tiene un proceso no cuenta con algún nivel del arsénico.

Se sabe que la leche y productos lácteos solo representan una fracción de la contaminación a través del consumo diario de una dieta. Si deseamos considerar la contaminación total a través de la dieta, se debería de analizar la dieta

completa de una población de un área para evaluar el riesgo toxicológico real del metal (Meshref *et al.*, 2014). Se recomienda que las autoridades locales y nacionales informen a los agricultores sobre las prácticas apropiadas para prevenir la contaminación por metales pesados en las tierras de cultivo (Temiz y Soylu, 2012).

5. CONCLUSIÓN.

Al término del presente trabajo de investigación, se logra concluir que, de acuerdo al método colorimétrico de tiras de ensayo y reactivos establecido por el *Arsenic* test de la marca Merckoquant; trabajado, con un intervalo de 0.02 - 0.05 mg/l para la determinación de arsénico; usado con la finalidad de conocer la existencia del metal en leche comercial (procesada y envasada), específicamente para las marcas: Alpura® Clásica, CHILCHOTA®, LALA® Entera, Leche Bell® entera, Multileche®, NutriBell®, Nutrileche® y Santa Clara® Entera; los resultados obtenidos no arrojaron presencia del mismo. Cabe señalar que, las muestras fueron seleccionadas de distintos puntos de venta y analizadas con el procedimiento ya establecido por el fabricante de la marca Merckoquant.

Del total de las 32 muestras analizadas, en todas y cada una de ellas el resultado fue de 0.00 mg/l de As, por lo que, la hipótesis acerca de la existencia de este metal en la leche procesada y envasada queda descartada., quedando claro que, para las marcas analizadas en el presente estudio.

6. LITERATURA CITADA.

- Ademola, A. K., A. O. Morounfolu y P. O. Abodunrin 2015. "Assessments of natural radioactivity and the estimation of heavy metals in commonly consumed milk in Oke-Ogun area, Nigeria." Original Article 38: 23-28 pp.
- Ahmad, N., M. Rahim y M. Hakim 2014. "Toxicological Impact Assessment of Heavy Metals in Human Blood and Milk Samples Collected in District Shangla, Pakistan." Sci. Int. (Lahore) Vol. 26 (1): 223-226pp.
- Albulescu, M., A. Banenschi, R. Berariu, H. Popovici y S. Stankovic 2011. "Preliminary Study on the Retention of Copper Ions from Water Polluted with Heavy Metals." Annals of West University of Timisoara Vol. 20 (4): 59-66pp.
- Aslam, B., J. Ijaz, F. Hussain y Z. Rahman. 2011. "Uptake of Heavy Metals Residues from Sewerage Sludge in the Milk of Goat and Cattel during Summer Season." Pakistan Veterinary Journal Vol. 31(1): 75-77.
- Ata, S., F. Hamid, I. Qasim, M. Hamid, S. Ahmed y M. Abdul 2013. "Monitoring of anthropogenic influences on underground and surface water quality of indus River at district Mianwali-Pakistan." Turkish Journal of Biochemistry Vol. 38(1): 25-30pp.
- ATSDR. 2010. "¿Cuál es el destino biológico del arsenico en el cuerpo? ." Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Consulta: 7 de Noviembre 2017. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/destino_biologico.html
- ATSDR. 2011. "La toxicidad del arsenico." Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Consulta: 7 de Noviembre 2017. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/rutas_exposicion.html
- ATSDR. 2016. "Resúmenes de Salud Publica- Arsénico (Arsenic)." Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Consulta: 19 de Septiembre 2017. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html.
- Batool, F., S. Iqbal, M. Tariq, I., J. Akbar, S. Noreen, M. Danish y K. Chan 2016. "MILK: Carrier of Heavy Metals From Crops through Ruminants Body to Human Beings." J.Chem.Soc.Pak. Vol.38: 39-42pp.

- Bezerra, J. D., R. Santos Amaral, J. A. Santos, F. A. Genezini, R. S. Menezes y I. Andrade 2014. "Characterization of Heavy Metals in a Uranium Ore Region of the State of Pernambuco, Brazil." *Bull Environ Contam Toxicol* Vol. 92: 270-273pp.
- Bigucu, E., B. Kaptan, I. Palabiyik y O. Oksuz 2016. "The effect of environmental factors on heavy metal and mineral compositions of raw milk and water samples." *Tekirdag Agricultural Faculty* 13 (4): 6-70 pp.
- Blogspot 2011. "Proceso de la leche " Lacteos.Consulta: 17 de Noviembre 2017. Disponible en: <http://contactlacteosena.blogspot.mx/>
- Bonic, M., V. Tesevic, N. Nikicevic, J. Cvejic, S. Milosavljevic, V. Vajs, B. Mandic, I. Urosevic, M. Velickovic y S. Jovanic 2013. "The Contents of Heavy Metals in Serbian old Plum Brandies." *Journal of Serbian Chemical Society* Vol. 78(7): 933-945pp.
- Calao, C. R. y J. L. Marrugo 2015. "Efectos genotoxicos asociados a metales pesados en una poblacion humana de la region de La Mojana, Colombia, 2013." *Biomedica* 35 (1): 139-151 pp.
- Cardoso, O., F. Juliao, R. Alves, A. Baena, I. Diez, M. Suzuki, B. Celere, M. Nadal, J. Domingo y S. Segura 2014. "Concentration Profiles of Metals in Breast Milk, Drinking Water, and Soil: Relationship Between Matrices." *Biol Trace Elem Res* Vol. 160: 116-122pp.
- Cervantes, Y., Y. Almaguer, A. Pierra, G. Orozco y H. J. Gursky 2011. "Metales traza en sedimentos de la bahia de Cayo Moa (Cuba): evaluacion preliminar de la contaminacion." *Mineria y Geologia* 27 (4): 1-19 pp.
- COFEPRIS 2016. "Principales Factores de Riesgo para la Salud Humana." Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Consulta: 21 de septiembre 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/salud-ambiental>
- Das, S., A. Hussain y J. Das 2017. "Advance made in understanding the effects of arsenic exposure on humans." *CURRENT SCIENCE* Vol. 112 (10): 2008-2015pp.

- Dhanalakshmi, B. y G. Gawdaman 2013. "DETERMINATION OF HEAVY METALS IN GOAT MILK THROUGH ICP-OES." Asian J. Dairy & Food Res Vol.32: 186-190pp.
- Elbarbary, H., A. y A. Hamouda, F. 2013. "Variations in some heavy metals' level during processing of soft cheese." Food Measure. Vol. 7: 194-198pp.
- FAO. 2006. "La ganadería amenaza el medio ambiente " Food and Agriculture Organization. Consulta: 2 Noviembre 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- Fernández, R. 2003. "Contaminación del suelo por metales pesados " Centro de Investigaciones Agrarias de Mabogondo. Consulta: 10 Noviembre 2017. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm.
- Garcia, D., L. A. Lima, L. Ruiz, J. L. Santana y P. A. Calderon 2016. "Agoecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados." Revista Cubana de Química 28 (1): 378-393 pp.
- Gougoulis, N., S. Leontopoulos y C. Makridis 2014. "Influence of food allowance in heavy metal's concentration in raw milk production of several feed animals." Emir. J. Food Agric. Vol. 26 (9): 828-834pp.
- Handford, C., K. Campbello y T. Elliott 2016. "Impacts of milk fraud on food safety and nutrition with special emphasis on developing countries." Food Science and Food Safety Vol. 15: 130-142pp.
- Hartuti, S., F. Fadhillah, A. Takeyama y S. Kambara 2017. "Effect of additives on arsenic, boron and selenium leaching from coal fly ash." Minerals Vol. 7 (99): 1-19pp.
- Hernández, C., E. Espinosa, R. Losada, O. Ávila y P. Hernández 2008. "Arsenic trioxide: a new light in the treatment of promyelocytic leukemia." Consulta: 20 de Noviembre 2017. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/hih/vol24_2_08/hih01208.htm

- Hong, L., G. Peng, W. Wei y W. Zheng 2011. "Assessment of Soil Arsenic, Chromium, Mercury, and Lead at an Agricultural Landscape Scale." *Soil and Sediment Contamination* Vol. 20: 995-1007pp.
- Hyseni, B. y A. Musaj. 2014. "Heavy Metals in the raw Milk in Mitrovica." *Albanian j. agric. sci.* Special edition: 495-498pp.
- INECC. 2007. "Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT." Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Consulta: 17 Noviembre 2017. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap4.html>.
- infoCOBRE. 2004. "Por una salud de Cobre." EL COBRE. Consulta: 7 noviembre 2017. Disponible en: https://www.csaec.com/area_tecnica/cedic/presentacion/A-F_InfoCOBRE_4.pdf
- Jahanbazi, A., Z. Parastoo, N. Sajad y A. Gorji 2017. "Curcumin attenuates harmful effects of arsenic on neural stem/progenitor cells." *Avicenna Journal of Phytomedicine* Vol. 7 (4): 376-388pp.
- Londoño, L. F., P. T. Londoño y F. G. Muñoz 2016. "Risk of heavy metals in human and animal health." *Biotechnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol. 14 (2): 145-153pp.
- López, D., C. Castillo y D. Diazgranados 2010. "Zinc in human health-I." *Rev. chil. nutr* Vol. 37, No2: 234 - 239 pp.
- Lou, S., S. Liu, C. Dai, A. Tao, B. Tan, G. Ma, R. Sergeevyic y S. Romanovica 2017. "Heavy Metal Distribution and Groundwater Quality Assessment for a Coastal Area on a Chinese Island." *Pol. J. Environ. Stud* 26 (2): 733-745 pp.
- Maas, S., E. Lucot, F. Gimbert, N. Crini y P. Marie Badot 2010. "Trace metals in raw cows' milk and assessment of transfer to Comté cheese." *Food Chemistry* Vol. 129: 7-12pp.
- Madero, A. y J. Marrugo 2011. "Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinu y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia." *MVZ Córdoba* 16 (1): 2391-2401 pp.

- MAPFRE. 2013. "Microorganismos resistentes a arsénico." Seguridad y medio ambiente. Consulta: 18 de Noviembre 2017. Disponible en: <http://www.seguridadypromociondelasalud.com/n129/es/articulo3.html>
- Marti, L., M. F. Filippini, C. Salcedo, A. Drovandi, S. Troilo y A. Valdes 2011. "Evaluacion de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu." FCA UNCUYO 43 (2): 203-221 pp.
- MedlinePlus. 2017. "Arsénico." Consulta: 20 Septiembre 2017. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/arsenic.html>
- Meshref, A. M., W. A. Moselhy, N. El-Houda y Hassan. 2014. "Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products." Food Measure Vol. 8: 381-388pp.
- MINSA. En Línea. "Exposición al plomo en el ambiente de trabajo." Ministerio de Salud DIGESA. Consulta 18 de Noviembre 2017. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DSO/SALUD%20OCUPACIONAL%20TRIPTICOS/TRIPTICO_PREVENCION_PLOMO_3.pdf
- Mohamed, A. B., N. Suruvi, S. Dampare, M. Islam, S. Quraishi, S. Ganyaglo y S. Suzuki 2011. "Investigation of the possible sources of heavy metal contamination in lagoon and canal water in the tannery industrial area in dhaka, bangladesh." Environ Monit Assess Vol.175: 633-649pp.
- Montoya, R., E. Airam, L. Montañez y M. Luevanos 2015. "Impacto del arsenico en el ambiente y su transformacion por microorganismos." Terra Latinoamericana Vol.33: 103-118pp.
- NIH. 2015. "Arsénico." Instituto Nacional del Cáncer. Consulta: 21 Septiembre 2017. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/arsenico>.
- NOM-127 1994. "Agua para uso y consumo humano. Limites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización " Secretariade Salud. Diario Oficial de la Federación.
- OMS. 2013. "Las nuevas normas de las Naciones Unidas sobre inocuidad de los alimentos y nutrición beneficiarán los consumidores." Organización

- Mundial de la Salud. Consulta: 3 noviembre 2017. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/codex_alimentarius_20130708/es/.
- OMS. 2015. "Inocuidad de los alimentos " Organización Mundial de la Salud. Consulta: 31 de Mayo 2017. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>
- OMS. 2016. "Arsénico." Consulta: 19 septiembre 2017. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>.
- Pilarczyk, R., J. Wójcik, P. Czerniak, P. Sablik, B. Pilarczyk y A. Tomza-Marciniak 2013. "Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm." *Environ Monit Assess* Vol. 185: 8383-8392pp.
- Prieto, J., C. Gonzales, A. Roman y F. Prieto 2009. "Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* Vol: 10: 29-44 pp.
- Ramírez, A. 2013. "Exposicion ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigacion científica." *An. Fac. med* Vol. 74 No.3.
- Rangel, E. A., L. E. Montañez, M. P. Luevanos y N. Balagurusamy 2015. "Impacto del arsenico en el ambiente y su transformacion por microorganismos." *Terra Latinoamericana* 33 (2): 103-118 pp.
- Rivera, E. 2016. "Afectaciones a la Salud por la Presencia de Arsénico (Arsenicismo) en la Comarca Lagunera " Servicio Geológico Nacional.
- Siddiki, M., S. Ueda y I. Maeda 2012. "Fluorescent bioassays for toxic metals in milk and yoghurt." *BMC Biotechnology* Vol. 12 (76): 1-10pp.
- Taghinia, A., H. Basavarajappa, A. Karbassi y S. Monavari 2011. "Heavy metals pollution in water and sediments in the kabini River, Karnataka, India." *Environ Monit Assess* Vol.182: 1-13pp.
- Temiz, H. y A. Soylu. 2012. "Heavy metal concentrations in raw milk collected from different regions of Samsun, Turkey." *Dairy Technology* Vol.65: 516-522pp.

- Windevoxhel, R., N. Sánchez, H. Bastardo y N. Malaver 2011. "Bioaumentación y sustancias húmicas en la biodegradación de hidrocarburos del petróleo." *INGENIERÍA UC* Vol. 18 (1): 23-27pp.
- Younus, M., T. Abbas, M. Zafar, S. Raza, A. Khan, A. H. Saleem, M. A. Idrees, Q. U. Nisa, R. Akhtar y G. Saleem 2016. "Assesment of heavy metal contamination in raw milk for human consumption." *South African Journal of Animal Science* 46 (2): 166-169 pp.
- Yu, M., Y. Liu, V. Achal, Q.-L. Fu y L. Li 2015. "Health Risk Assessment of Al and Heavy Metals in Milk Products for Different Age Groups in China." *Pol. J. Environ. Stud.* Vol.24, No.6: 2707-2714pp.
- Zhang, G., Z. Pan, X. Hou, X. Wang y X. Li 2014. "Distribution and bioaccumulation of heavy metals in food web of Nansi Lake, China." *Environ Earth Sci* Vol. 73: 2429-2439pp.
- Zhang, X., T. Zhong, L. Lei Liu y X. Ouyang 2015. "Impact of Soil Heavy Metal Pollution on Food Safety in China." *PLOS ONE* Vol. 10(8): 1-14pp.