



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LECHE PRODUCIDA EN LA  
SUBCUENCA DEL ALTO BALSAS**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

**PRESENTA**

**FERNANDA ELISA GONZÁLEZ JUÁREZ**

**DIRECTOR: DR. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ**

**CODIRECTOR: DR. FRANCISCO CALDERÓN SANCHEZ**

**Tlatlauquitepec, Puebla, México. Mayo de 2021**



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

**CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LECHE PRODUCIDA EN LA  
SUBCUENCA DEL ALTO BALSAS**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**LICENCIADA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

**PRESENTA**

**FERNANDA ELISA GONZÁLEZ JUÁREZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ**

**CODIRECTOR**

**DR. FRANCISCO CALDERÓN SANCHEZ**

**ASESORES**

**DR. EUTIQUIO SONI GUILLERMO  
DR. MARCOS PEREZ SATO**

**Tlatlauquitepec, Puebla, México. Mayo de 2021**

La presente tesis titulada: “Contenido de metales pesados en leche producida en la Subcuenca del Alto Balsas “y realizada por Fernanda Elisa González Juárez, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO(A) EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Numa Pompilio Castro González

Co- Director: DR. Francisco Calderón Sánchez

Asesor: Dr. Eutiquio Soni Guillermo

Asesor: Dr. Marcos Pérez Sato

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021





El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: “Producción Pecuaria Integral” y de la Línea de Investigación: “Producción Integral de Rumiantes y no Rumiantes”.  
Dicho trabajo, fue financiado por recursos propios.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres Gume y Fernando, por el apoyo incondicional, palabras de aliento, así como la motivación que siempre me han dado para dar lo mejor de mí y superar los límites que se han presentado. Muchas gracias por todo su amor y bien saben que esto no es solo mío sino nuestro.

A mis hermanos, Gisela y Ramos, sabemos que siempre podemos contar el uno con el otro sin importar la situación, muchas gracias por todas las atenciones y consejos, así como las experiencias vividas, han sido motivación para dar lo mejor de mí.

Moshia muchas gracias por ayudarme a tener templanza y brindarnos tanto amor.

A mi familia, muchas gracias por siempre ayudarme, por enseñarme a reír hasta en los momentos más amargos en especial a mi tío Cuyo, tía Cheli.

Muchas gracias a ti abuelita Cleme y Anastasia por todos los consejos, por todo su apoyo, les amo.

A Judith, usted bien sabe que me encuentro inmensamente agradecida con la vida por permitirme convivir con usted y tratarme como a un miembro de su familia por todo el amor, confianza, alegrías, trabajo y el crecimiento personal que pude tener, muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por ser mi segundo hogar, la fuente del saber donde gracias a sus profesores se me impartió todo el conocimiento y apoyo necesario.

Al Colegio de Postgraduados Campus – Puebla por el apoyo incondicional para la realización de la investigación.

Al Dr. Numa Pompilio Castro González, por guiar mi trabajo, gracias por su preocupación, apoyo y entrega para este trabajo que hemos construido, muchas gracias por su amistad y por todas las facilidades brindadas para la elaboración de este trabajo, así como la motivación que me dio desde el primer momento en que comenzamos a trabajar.

Al Dr. Francisco Calderón Sánchez por el apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo, así como la amistad brindada.

A mis asesores DR. Eutiquio Soni Guillermo, DR. Marcos Pérez Sato, mil gracias por sus consejos.

Al Dr. José Víctor Tamariz Flores por el apoyo para la realización de este trabajo.

Al Departamento de Investigación en Ciencias Agropecuarias (DICA) de la BUAP y a todo su personal, por el apoyo, conocimientos y amistad a lo largo de esta investigación.

A la Dr. Ma Esther Ortega por el apoyo brindado



**CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LECHE PRODUCIDA EN LA  
SUBCUENCA DEL ALTO BALSAS**

**ÍNDICE GENERAL**

<b><i>ÍNDICE DE CUADROS</i></b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b><i>ÍNDICE DE FIGURAS</i></b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b><i>RESUMEN</i></b> .....	<b><i>v</i></b>
<b><i>I. INTRODUCCIÓN</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II. OBJETIVOS</i></b> .....	<b><i>9</i></b>
2.1.    Objetivo general.....	9
2.2.    Objetivos específicos .....	9
<b><i>III. HIPÓTESIS</i></b> .....	<b><i>10</i></b>
<b><i>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</i></b> .....	<b><i>11</i></b>
4.1.    Producción de leche en México .....	11
4.2.    Composición de la leche .....	11
4.3.1.  Proteínas .....	13
4.3.2.  Agua.....	13
4.3.3.  grasas.....	13
4.3.4.  lactosa .....	13
4.3.5.  vitaminas.....	14
4.3.6.  Minerales .....	14
4.5.    Factores de contaminación de la leche con metales pesados (MP).....	15
4.6.    Contaminación de las plantas con metales pesados.....	16
4.7.    Metales pesados y los daños a la salud humana .....	16
4.7.1.  Cadmio (Cd) .....	12
4.7.2.  Plomo (Pb) .....	12
4.7.3.  Zinc (Zn) .....	12

4.7.4.	Molibdeno (Mo).....	13
4.7.6.	Vanadio (V).....	13
4.7.7.	Antimonio (Sb) .....	13
4.7.8.	Estroncio (Sr) .....	14
4.7.9.	Talio (Tl) .....	14
4.8.	Metales pesados en leche.....	14
<b>V.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
5.1.	Área de muestreo.....	16
5.2.	Muestreo de leche .....	17
5.3.	Determinación de metales pesados.....	17
5.4.	Variables.....	18
5.4.1.	Consumo diario de metal considerado crónico (CDI).....	18
5.4.2.	Caracterización de riesgo .....	18
5.4.2.1.	Cociente de riesgo (HQ) .....	19
5.4.2.2.	Índice de riesgo (HI) .....	19
5.4.2.3.	Riesgo de cáncer .....	19
5.4.2.4.	Riesgo de cáncer total .....	20
5.5.	Análisis estadístico .....	20
6.1.	Concentración de metales en la leche por zona .....	21
6.2.	Concentración de metales pesados en la leche por época del año .....	22
6.3.	Cociente de riesgo (HQ) .....	24
6.4.	Índice de riesgo (HI) por zona.....	25
6.5.	Riesgo de cáncer.....	26
6.5.1.	Riesgo cáncer total .....	28
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>30</b>

**ÍNDICE DE CUADROS**

---

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Componentes de la leche.....	1
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de metales pesados en leche cruda (mg Kg <sup>-1</sup> peso seco) por zona en la subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala. ....	23
<b>Cuadro 1.</b> Cociente de riesgos (HQ) por zonas en la subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala .....	25
<b>Cuadro 2.</b> Riesgo de cáncer en niños por zonas y por metal en la subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.....	27

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<b>Figura 1.</b> Localización de los sitios de muestreo, en áreas irrigadas con aguas residuales en el estado de Tlaxcala y Puebla .....	18
<b>Figura 2.</b> Contenido de metales pesados en leche por época del año en la Subcuenca del Alto Balsas.....	24
<b>Figura 3.</b> Índice de riesgo (HI) por zona en la en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.....	26
<b>Figura 4.</b> Riesgo de cáncer en relación con la edad de los niños por consumo de leche contaminada con metales pesados producida en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.....	28
<b>Figura 5.</b> Riesgo de cáncer total en relación con la edad en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.....	29

## RESUMEN

La leche de vaca es una fuente de contaminación por metales pesados, cuando no se cuida la trazabilidad del sistema, por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el contenido Sr, Cd, Pb, Zn, Mo, Ti, V, Sb, Tl en leche producida en la Subcuenca del Alto Balsas en Puebla y Tlaxcala, así como el riesgo ocasionado a niños y niñas. El estudio se realizó en dos épocas del año, en cuatro zonas, se colectó leche de 160 vacas, tomando por zona 40 vacas de 4 hatos diferentes, todas alimentadas con alfalfa proveniente de suelos irrigados con aguas residuales. La determinación de metales pesados fue con un ICP-OES, para el análisis de resultados se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9 (2002) mediante el procedimiento GLM. Las concentraciones medias por zona encontradas fueron Zn ( $4.68 \times 10^{-1}$ ), Sr ( $1.80 \times 10^{-1}$ ) Pb ( $5.71 \times 10^{-2}$ ), V ( $3.78 \times 10^{-2}$ ), Tl ( $1.84 \times 10^{-2}$ ), Ti ( $1.42 \times 10^{-2}$ ), Mo ( $1.31 \times 10^{-2}$ ), Sb ( $1.31 \times 10^{-2}$ ), Cd ( $1.81 \times 10^{-3}$ ) mg kg<sup>-1</sup>. Para el caso del HI < 1 no existe riesgo de enfermedades no cancerígenas, sin embargo; el riesgo individual de cáncer fue mayor para el caso de las niñas ( $1.49 \times 10^{-2}$  mg kg<sup>-1</sup>) con respecto a los niños ( $4.51 \times 10^{-4}$  mg kg<sup>-1</sup>). Los resultados obtenidos para el riesgo total de cáncer indicó que el efecto sinérgico de Pb y Cd representa riesgo tanto individual como colectivo, siendo las niñas las más afectadas. En conclusión, el consumo de leche proveniente de esta zona representa un riesgo potencial en las niñas y niños.

**Palabras clave:** leche, metales pesados, riesgo de cáncer

## ABSTRACT

Cow's milk is a source of contamination by heavy metals, when the traceability of the system is not taken care of, therefore, the objective of this work was to determine the content of Sr, Cd, Pb, Zn, Mo, Ti, V, Sb, Tl in milk produced in the Alto Balsas sub-basin in Puebla and Tlaxcala, as well as the risk caused to boys and girls. The study was carried out at two times of the year, in four zones, milk was collected from 160 cows, taking 40 cows from 4 different herds per zone, all fed with alfalfa from soils irrigated with wastewater. The determination of heavy metals was with an ICP-OES, for the analysis of results the statistical package SAS version 9 (2002) was used by means of the GLM procedure. The mean concentrations by zone found were Zn ( $4.68 \times 10^{-1}$ ), Sr ( $1.80 \times 10^{-1}$ ) Pb ( $5.71 \times 10^{-2}$ ), V ( $3.78 \times 10^{-2}$ ), Tl ( $1.84 \times 10^{-2}$ ), Ti ( $1.42 \times 10^{-2}$ ), Mo ( $1.31 \times 10^{-2}$ ), Sb ( $1.31 \times 10^{-2}$ ), Cd ( $1.81 \times 10^{-3}$ ) mg kg<sup>-1</sup>. In the case of HI <1, there is no risk of non-cancer diseases, however; the individual risk of cancer was higher in the case of girls ( $1.49 \times 10^{-2}$  mg kg<sup>-1</sup>) compared to boys ( $4.51 \times 10^{-4}$  mg kg<sup>-1</sup>). The results obtained for the total risk of cancer indicate that the synergistic effect of Pb and Cd represents both individual and collective risk, with girls being the most affected. In conclusion, the consumption of milk from this area represents a potential risk for girls and boys.

**Keywords:** milk, heavy metals, cancer risk

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los alimentos se ha relacionado con el crecimiento demográfico aunado a la optimización de diversas industrias (agrícola, minera, automotriz) lo cual ha propiciado la contaminación del suelo, agua o atmosfera (Cai *et al.*, 2009; Mansour *et al.*, 2009; Woldetsadik *et al.*, 2017), generando riesgos en la salud de las personas al afectar negativamente la fisiología y bioquímica de los organismos de personas, plantas, o animales (Samsøe-Petersen *et al.*, 2002). ; Zhuang *et al.*, 2009), esto presenta un problema a través del consumo de alimentos expuestos a este tipo de sustancias, tales como los metales pesados (Petter y Paulina, 2003), esto por un inadecuado control sobre el uso de aguas residuales o manejo de desechos.

Se ha reportado la incidencia de Ni, Cd y Pb en suelo, agua y plantas (Prieto-Méndez *et al.*, 2009), y los efectos de diferentes suelos que habían sido sometidos a riegos con agua-lodo residual, así como la influencia de éstos en el crecimiento vegetal y la biodisponibilidad (Perdomo, 2005; Mahdy *et al.*, 2007).

Ya que permanecen en el ambiente en altas concentraciones ejercen toxicidad y biodisponibilidad en los cultivos (García y Dorronsoro 2005, Corinne *et al.*, 2006), lo cual es un problema presente en diversas partes del mundo (Dwivedi *et al.*, 2001; Singh *et al.*, 2010; Fytianos *et al.*, 2001).

México presenta a lo largo del territorio diversas zonas agrícolas, en donde se han utilizado aguas residuales para la producción de maíz, forrajes, legumbre u hortalizas, esto por más de un siglo (Citifuentes *et al.*, 1993) tal es el caso de la Subcuenca del Alto balsas (Villalobos *et al.*, 2011; Rodríguez y Morales, 2014; Castro-González *et al.*, 2017), en donde se producen diversos productos tales como maíz y forrajes, estas prácticas han influido en la acumulación de metales pesados (Pb, Cd, As) en suelo, forrajes y productos como leche y quesos (Silva *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2014; Castro-González *et al.*, 2017; França *et al.*, 2017), los cuales al repercutir en la salud de las personas ponen en riesgo a un 40% de la población de esta

entidad, estas afectaciones influyen en el desarrollo económico y social (Ibáñez - Huerta, 1997).

Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar el contenido de Sr, Cd, Pb, Zn, Mo, Ti, V, Sb, Tl en leche producida en la Subcuenca del Alto Balsas, aunado a una estimación riesgo en la salud de infantes de entre 12 meses a 18 años de edad.



## **II. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo general**

Cuantificar el contenido de metales pesados en leche proveniente de vacas alimentadas con forraje irrigado con aguas residuales procedentes de la Subcuenca del Alto Balsas.

### **2.2.Objetivos específicos**

Cuantificar el contenido de metales pesados (Sr, Cd, Pb, Zn, Mo, Ti, V, Sb, Tl) en leche producida en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.

Evaluar el riesgo de salud en infantes por el consumo de leche proveniente de vacas alimentadas con forraje irrigado con aguas residuales procedentes de la subcuenca del Alto Balsas.

### **III. HIPÓTESIS**

El consumo de leche producida bajo practicas inadecuadas representará riesgo a la salud de infantes de entre 12 meses a 18 años por el contenido de metales pesados y su consumo.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Producción de leche en México

La leche es un alimento completo que aporta nutrientes para niños y adultos, que impacta de forma positiva en el metabolismo y la salud (Park *et al.*, 2013), contiene una mayor cantidad de agua, sin embargo, su importancia nutricional radica en su composición lipídica y proteica (Swaisgood, 2003; Zamoran, 2010)

En el año 2021 se produjeron a nivel mundial 544 millones de toneladas métricas de leche, se prevé que en próximas décadas se tenga mejores rendimientos esto en base a la optimización de los pilares de crecimiento como lo son la genética, salud animal, nutrición (OCDE, 2022), el 81% de la leche que se consume en el mundo es producida por bovinos.

La leche de bovino en México es el tercer producto pecuario en importancia económica, con el 17.22 % del valor nacional, sólo por detrás de la carne de bovino (30%) y la carne de ave (23%). Las entidades con mayor producción del lácteo son Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz, Puebla, México, Aguascalientes y Chiapas, entre otros. De esta forma, México cuenta con un hato de bovino lechero de aproximadamente 275,728,000 vacas millones de cabezas y más de 300 mil pequeños y medianos productores del lácteo (SIAP, 2018), la industria se desarrolla en sistemas especializados (51%, semi-especializado (21%), doble propósito (18%) y familiar (10%) (FIRA, 2008).

### 4.2. Composición de la leche

La leche es la secreción resultante de la sobre estimulación de los alveolos mamarios por parte de la prolactina a partir del parto (mamíferos), de color blanco, y sabor dulce (Wattiaux, 2011), contiene una gran cantidad de proteínas, lípidos, y elementos traza (Cuadro 1), la constitución de la misma es variable a lo largo del ciclo productivo, sin embargo existen distintos factores como el manejo, nutrición, raza que interfieren (Anastasio *et al.*, 2006; Rego *et al.*, 2009; Kadlecova *et al.*, 2014).

**Cuadro 3. Componentes de la leche.**

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
Agua	G	87.69
Energía	Kcal	64
Proteína	G	3.28
Total, lípidos (grasa)	G	3.66
Carbohidratos	G	4.65
Fibra total	G	0
Minerales		
Calcio	Mg	119
Hierro	Mg	0.05
Magnesio	Mg	13
Fosforo	Mg	93
Potasio	Mg	151
Sodio	Mg	49
Zinc	Mg	0.38
Vitaminas		
Vitamina C, total	Mg	1.5
Tiamina	Mg	0.038
Riboflavina	Mg	0.161
Niacinamida	Mg	0.084
Vitamina B6	Mg	0.042
Folato	µg	5
Vitamina B-12	µg	0.36
Vitamina A, RAE	µg	33
Vitamina A	IU	138
Lípidos		
Ácidos grasos saturados	G	2.278
Ácidos grasos monoinsaturados	G	1.057
Ácidos grasos poliinsaturados	G	0.136
Colesterol	Mg	14

**Fuente:** USDA (2017)

#### **4.3.1. Proteínas**

La importancia de la leche dentro de la cadena alimentaría radica en el contenido nutricional de la misma, contiene más de 40 proteínas de alto valor nutritivo y de fácil digestión (Walstra *et al.*, 2006; Miller *et al.*, 2007; Thompson *et al.*, 2009) tales como la caseína, globulinas, albumina; la caseína resulta ser la proteína presente en mayor porcentaje (77-82%), esta juega un papel fundamental dentro de la industria quesera al precipitarse por cambios de pH, calor o adición de sales. Posteriormente encontramos a la albumina (1-1.5mg/ml) la cual tiende a desnaturalizarse ante el calor, y contiene una abundante cantidad de triptófano. Los niveles de globulinas son mayores al inicio de la lactación, disminuyen al final de la misma, ayudan en el desarrollo del sistema inmune del recién nacido (Revilla, 2018).

#### **4.3.2. Agua**

De acuerdo con Franklin (2011) aproximadamente el 87,5% de la leche es agua. El agua constituye la fase líquida de la leche y en ella se encuentran los otros componentes sólidos y gaseosos en diferentes formas de solución. Actúa como disolvente de los demás componentes, el contenido total de agua influye en la textura (Kukilinski, 2003).

#### **4.3.3. grasas**

La grasa en la leche es el componente que presentan mayor fluctuación a lo largo del ciclo de producción, en esta fracción se diferencian alrededor de 400 ácidos grasos, los lípidos que podemos encontrar son lípidos, colesterol y fosfolípidos, sus propiedades físicas-organolépticas son susceptibles ante los rayos del sol, el consumo de leche entera no predispone a enfermedades vasculares (Warensjo, 2004; Seidel *et al.*, 2005).

#### **4.3.4. lactosa**

La lactosa está constituida por glucosa y galactosa (4.7%), participa en procesos inmunitarios y neurológicos, ayudan a la absorción del calcio (McCance, 2002; Agostoni, 2011) además de actuar como vehículo de vitaminas hidrosolubles.

#### **4.3.5. vitaminas**

Contiene vitaminas hidrosolubles (tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico) como liposolubles (vitamina A, D, E), aunque su contenido es importante este presenta variabilidad al igual que la grasa en base a la alimentación (Villegas, 2010).

#### **4.3.6. Minerales**

Contiene macro y micro minerales que forman parte de enzimas u hormonas, el consumo de 3-5 vasos de leche aporta la cantidad de calcio recomendada.

### **4.4. Calidad de la leche**

Las características físico-químicas de la leche se ven afectadas ante la presencia de sustancias, sedimentos o residuos ajenos, ante la creciente demanda de productos inocuos y de calidad se exige al productor que produzca una leche bronca de inocua, ya que es utilizada como materia prima en la elaboración de productos lácteos (FAO,2020).

La calidad de la leche se altera por diversos contaminantes presentes en el ambiente estos pueden ser de origen biológico y químico, estos últimos pueden ser alimentos contaminados o químicos, dentro de estos encontramos a los MP metales pesados, los cuales pueden ser de origen natural o antrópico y se encuentran en el agua, suelo o aire; estos al ser consumidos a través de forrajes contaminados o agua son trasladados (González-Montaña,2009).

Dentro de los denominados metales pesados encontramos al Cd, Pb, As, Hg y Cr los cuales son considerados de mayor toxicidad al no tener ninguna función biológica mientras que Zn, Co, Ni, Cu y Se al tener funciones metabólicas solo presentan toxicidad al sobrepasar los límites máximos permisibles (Kabata-Pendias, 2000; Turdean *et al.*, 2011). Tras diversas investigaciones a nivel mundial se sabe que los metales pesados no solo influyen en la salud de las personas (Rattan *et al.*, 2005; Ghosh *et al.*, 2012) sino que también tienen afectaciones en la productividad de los suelos (Suman *et al.*, 2018) y desarrollo y funcionalidad de las plantas (Fasani *et al.*, 2018).

Los metales pesados se encuentran dispersos en el ambiente de manera natural (roca, suelos, aire), sin embargo las concentraciones de estos se ven afectados por diversas actividades antrópicas, al ser contaminantes no biodegradables, estos contaminan agua, plantas, frutos, mantos acuíferos, a pesar de que en ocasiones las concentraciones no sobrepasan los niveles máximos permitidos por las distintas normas a nivel mundial, estos no dejan de presentar un riesgo latente dentro de la salud humana debido a sus propiedades no biodegradables y poder de magnificación.

Los metales son componentes naturales de la corteza terrestre, se esparcen naturalmente al medio ambiente como polvos o se filtran a los ríos. Sin embargo, emiten menos metales al medio ambiente que las actividades antrópicas; su propagación al medio ambiente conduce su propagación a la cadena alimentaria. Los metales pesados (por ejemplo, Fe, Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn, Cr y Cd, Hg, Pb, As) son elementos metálicos que tienen una alta densidad en comparación con el agua y están presentes en varias matrices en trazas. Su pesadez y toxicidad están interrelacionadas, ya que los metales pesados pueden inducir toxicidad en dosis bajas (Govind y Madhuri, 2014; Dai *et al.*, 2016; Giromini *et al.*, 2016).

#### **4.5. Factores de contaminación de la leche con metales pesados (MP)**

La trazabilidad de los componentes de un sistema influye directamente sobre el producto final, para este caso la leche para así tener un producto inocuo es necesario asegurar que estase encuentre libre de patógenos, saludable y nutritivo, con lo tanto debe proceder de animales producidos bajo un esquema de buenas prácticas, al hablar de buenas prácticas no solo se hace referencia a la sanidad, bienestar animal ya que para una buena alimentación se debe proporcionar forrajes sanos y nutritivos, provenientes de suelos fértiles y libres de contaminantes irrigados con aguas limpias (FAO, 2016).

#### **4.6. Contaminación de las plantas con metales pesados**

El proceso de absorción y traslocación de los metales pesados resulta complejo y variable, estos se encuentran en la fase acuosa del suelo (Pagnanelli *et al.*,2004), la capacidad de absorción se encuentra relacionado con las propiedades físico químicas del suelo en especial el pH (García y Dorronso,2005; Bouain *et al.*,20014) ya que en medios ácidos la solubilidad y absorción aumentan (agua o suelo), ante una exposición prolongada sobre las plantas la movilidad de los metales aumenta (Singh *et al.*,2010), es así como ingresa a la cadena alimentaria; pese a esto la fisiología de cada especie vegetal codifica la susceptibilidad o resistencia (Barceló *et al.*,2003).

Los metales al encontrarse en la fase acuosa y sobre puntos de absorción (Pagnanelli *et al.*,2004) ingresan a la planta atravesando la raíz, pueden ser absorbidos por dos vías ya sea xilema o floema (Dar *et al.*,2020), su ingreso dependerá no solo del tipo de metal sino también de su estado químico y cantidad presente en suelo, en otros casos también pueden ingresar a brotes tiernos por evaporación (Ranieri *et al.*,2020), logrando traslocarse y magnificarse en raíz o vías aéreas. Pese a que las plantas se adaptan a la contaminación estas tienen repercusiones en desarrollo y funcionamiento como afectaciones en la absorción de agua, síntesis de clorofila, deformación de hojas al disminuir el metabolismo, estrés oxidativo, entre otros (Smith *et al.*,2010; Fukao *et al.*,2011; Zhao *et al.*,2014).

#### **4.7. Metales pesados y los daños a la salud humana**

Cada uno de los metales se moviliza de distintas maneras en el cuerpo humano, por ello se acumula en distintas partes, los metales se eliminan a muy baja escala o nula, generando problemas graves de salud (Romero,2009).



#### **4.7.1. Cadmio (Cd)**

El cadmio es un metal tóxico que se encuentra de forma natural en el ambiente en cantidades bajas, su incremento se atribuye a actividades antrópicas, la exposición se asocia a diversas enfermedades crónicas degenerativas como hipertensión (Gallagher, Meliker, 2010), anemia, osteoporosis (Jarup y Alfvén, 2004), osteomalacia (WHO, 2010), diabetes (Schwartz *et al.*, 2013), anosmia, rinitis crónica eosinofílica (Henson y Chedrese, 2004), se le considera como un compuesto capaz de generar diversos tipos de cáncer tales como mama (McElroy *et al.*, 2006), próstata (Julin *et al.*, 2012), páncreas, pulmones y leucemia (Henson y Chedrese, 2004), por ello es considerado como cancerígeno por la Agencia de Investigación en Cáncer (IARC).

#### **4.7.2. Plomo (Pb)**

Causa diversas afectaciones a nivel mundial principalmente en la salud de niños esto durante los primeros años de vida principalmente, alcanza diversos órganos, sin embargo, se acumula en los dientes y huesos, él se libera durante el embarazo, afecta la memoria, coordinación, riñón; la exposición de plomo afecta la salud y calidad de vida de las personas, teniendo mayores repercusiones sobre países en desarrollo y tercermundistas (OMS, 2019)

#### **4.7.3. Zinc (Zn)**

Es un compuesto que participa en el metabolismo del cuerpo humano, la ingesta se da por vía oral o inhalatoria principalmente, al sobrepasar los requerimientos puede elevar las probabilidades de padecer cáncer de próstata (Moyad, 2004), inhibe la absorción de Mg y Cu, afecta el sistema respiratorio, digestivo (Hess y Schmid, 2002) el consumo máximo diario es de  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  de los cuales solo se absorben  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  (WHO, 1996).

#### **4.7.4. Molibdeno (Mo)**

Participa como cofactor de enzimas en organismos vegetales o animales, el grado de toxicidad está relacionado con el tipo de compuesto ya que los óxidos y haluros presentan baja toxicidad, caso contrario con aniones (Nordberg, 2012), tras la intoxicación con este compuesto la sintomatología es muy variable al ocasionar psicosis, alucinaciones visuales y auditivas, daño cerebral, deficiencias motrices, dificultad de aprendizaje, depresión y estrés postraumático (Momcilović, 1999).

#### **4.7.5. Titanio (Ti)**

Pese a que hasta hace unos años el dióxido de titanio se utilizaba en la industria alimentaria como colorante, no fue sino hasta el 2021 que la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria no descartó su potencial de genotoxicidad decidiendo prohibir su uso, esto tras revisar diversas investigaciones en las cuales se concluye que tras la exposición a este compuesto las personas presentaron cáncer de pulmón, cardiopatías (Jhon P. Fryzek *et al.*, 2003; Bófeta Paolo *et al.*, 2004; Elizabeth D. Ellis *et al.*, 2010, 2013).

#### **4.7.6. Vanadio (V)**

De acuerdo con la ATSDR (2012) una exposición prolongada a este metal puede provocar daño pulmonar, diarreas, calambres, disminución de eritrocitos y algunos efectos neurológicos, es considerado por la IARC como posible carcinogénico.

#### **4.7.7. Antimonio (Sb)**

Se encuentra de manera natural en el ambiente, el departamento de salud de Nueva Jersey (2012) describe algunas de las secuelas que puede dejar el inhalar esta sustancia por largos periodos de tiempo puede ocasionar problemas cardiacos, pulmonares, dolores estomacales y úlceras, a la par de poder desarrollar cáncer.

#### **4.7.8. Estroncio (Sr)**

La intoxicación en el cuerpo con estroncio afecta en desarrollo de huesos en niños al interferir con el contenido de calcio, ocasiona anemias, y diversos tipos de cáncer esta acción es en el caso de humanos y animales de laboratorio (OMS,2018).

#### **4.7.9. Talio (Tl)**

Se encuentra en el ambiente de manera natural, una sobre exposición a esta sustancia puede afectar algunos aspectos en la salud ya que al ingresar al cuerpo se absorbe principalmente en hígado y riñón, con ello afecta al sistema nervioso central, pulmones o el corazón (ATSDR,2004).

#### **4.8. Metales pesados en leche**

Desde hace varios años se ha descrito por diversos autores que la producción de alimentos contaminados para este caso con metales pesados acarrea problemas de salud los cuales pueden ir desde leves hasta graves, esto dependerá del tiempo de exposición y concentraciones (Al-Othman *et al.*,2012), estos pueden contaminar una gran cantidad de alimentos, leche, maíz, soya, avena, frutas, en 2022 la FDA concluyó que la mayoría de los alimentos estaban contaminados con plomo, arsénico, mercurio, cadmio, una de las cosas más preocupantes es que alrededor de una cuarta parte de los productos contenían los cuatro metales.

Pese a que los alimentos como la leche son nutritivos e indispensables dentro de la alimentación (Ren-ju *et al.*,2015), se requiere que su consumo genere seguridad, al ser cultivado bajo condiciones óptimas, evitando así problemas cancerígenos y mutagénicos a futuro (Al-Othman *et al.*,2012); el riesgo de contaminación con metales recae principalmente en la población infantil, al ser un sistema en desarrollo y tener una gran capacidad de absorción, condicionando su salud a diversos tipos de cáncer, cardiopatías, mutaciones, deficiente desarrollo cognitivo, enfermedades crónicas degenerativas (Dorea y

Donangelo,2006;ATSDR,2012). La calidad de leche se ve afectada por la creciente contaminación de origen antrópica (Licata *et al.*,2014), ya que en diversas partes del mundo y para este caso en México la regulación sobre el uso de aguas residuales en la agricultura es deficiente , hay agricultores que utilizan esta agua para el riego de forrajes, tales como la alfalfa, la cual ha sido descrita como una planta hiperacumuladora de metales pesados y con ello pueden translocarse a productos y subproductos provenientes de animales alimentados con este tipo de forrajes, carne, leche, quesos, suero.

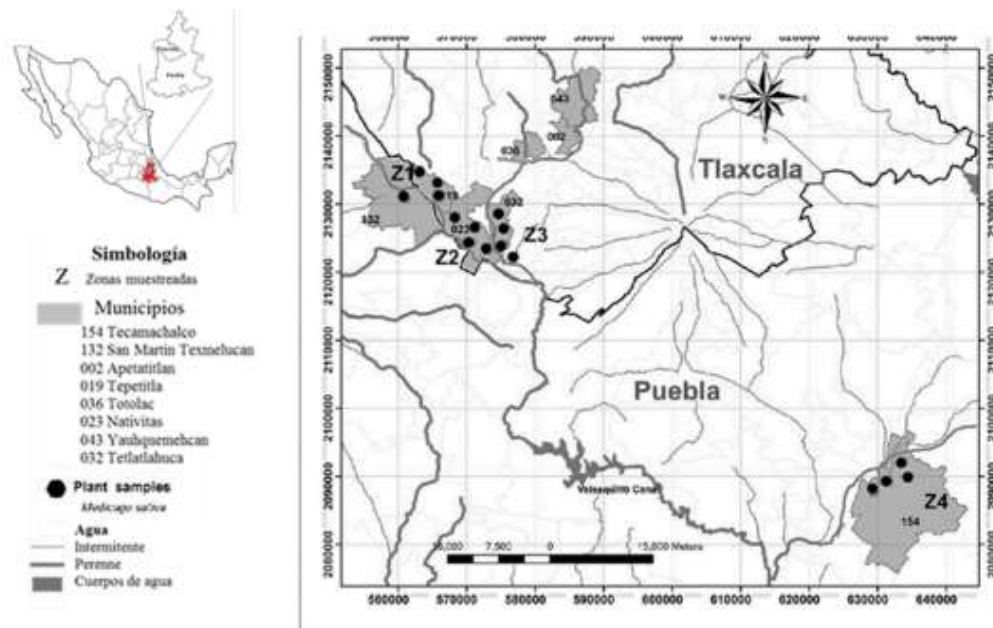
Aunque algunos metales que se han encontrado en la leche tienen funciones biológicas como el Cu, otros que no presentan función biológica son Cd, Pb, As Cu, Hg, su presencia en concentraciones bajas o por arriba de las permitidas por las normativas condicionan la salud de los consumidores de estos productos (Bhargava *et al.*, 2012).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de muestreo

Las muestras de leche fueron tomadas de áreas en las cuales se utiliza forrajes irrigados con aguas residuales para consumo de vacas lecheras, las muestras fueron tomadas de cuatro zonas (Figura 1)

- La zona 1 correspondió al municipio de Tepetitla de Lardizábal, irrigada por el río Atoyac
- La zona 2 a Nativitas, irrigada por el río Atoyac
- La zona 3 en Santa Isabel Tetlatlahuca, Irrigada por el río Zahuapan
- La zona 4 en Tecamachalco, Puebla; presa Manuel Ávila Camacho (canal de Valsequillo).



**Figura 1. Localización de los sitios de muestreo, en áreas irrigadas con aguas residuales en el estado de Tlaxcala y Puebla.**

En las localidades prevalece un clima templado húmedo con lluvias en verano, Se ubican entre los paralelos 19°06' y 19°40' N y 97°58' y 98°03 O; (INEGI, 2021)

## **5.2.Muestreo de leche**

Se identificaron 4 hatos por zona, recolectando 40 muestras, haciendo un total de 160, las condiciones para la recolección de las muestras es que los productores utilizaran como forraje alfalfa irrigada con aguas residuales, la recolección de muestras se realizó en dos periodos del año (verano, primavera)

Previo a la recolección de muestras se prepararon tubos Falcon (50ml) los cuales fueron lavados con HNO<sub>3</sub> al 10% v/v y se enjuagaron al menos 3 veces con agua desionizada.

La toma de muestra se realizó por las mañanas, directamente de la ubre, el transporte de las muestras se realizó en hieleras, en el laboratorio se congelaron las muestras a -65°, posteriormente las muestras se procesaron en un liofilizador LABCONCO Freezone de 4,5 litros.

## **5.3.Determinación de metales pesados**

Para la digestión de las muestras se agregó 10 ml de HNO<sub>3</sub> grado analítico (65%) a 0.5g de leche liofilizada y se colocaron en un horno de microondas (CEM-MarsX) a 175° C, potencia de 1600 W, rampa 5 minutos, una vez digeridas las muestras se filtraron en papel Whatman grado 42, el filtrado fue aforado a 50ml con agua desionizada.

La determinación de metales se realizó mediante espectrofotometría de plasma ICP-OES, la calibración se realizó con una solución estándar XVI, 21 elementos en HNO<sub>3</sub> Suprano 6% (Merck KgaA, Darmstadt, Alemania), con fin de resguardar la precisión y exactitud del estudio de cada 20 muestras leídas se pasó un estándar de calidad y la muestra control.

En cuanto a la recuperación analítica se tomó como referencia la metodología mencionada por Khan *et al.* en el 2014 y Castro-González *et al.* (2017); así mismo se precedió a obtener las concentraciones en mg kg<sup>-1</sup>.

## 5.4. Variables

Una vez obtenidas las concentraciones de los distintos metales, se procedió a evaluar el riesgo sobre la salud en infantes (femenino, masculino) de entre 12 meses a 18 años, tomando como referencia el consumo per cápita de 0.41 litros (FAO,2018), para el caso del valor de la ingesta diaria.

### 5.4.1. Consumo diario de metal considerado crónico (CDI)

Para la obtención de la variable se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Ingesta diaria crónica (CDI)} = C_{\text{metal}} D_{\text{ingesta de leche}} / \text{Peso medio}$$

Donde:

CDI: Ingesta diaria crónica (mg/kg/d).

C: Concentración de metal (mg kg<sup>-1</sup>).

D: Cantidad de leche consumida (kg\*).

B: Peso corporal (kg)\*\*.

\* Consumo per cápita 94.4 (FAO,2018).

\*\* Instituto de Investigación sobre el Crecimiento y desarrollo (2004).

Esta ecuación se ha utilizado por Amin *et al.* en 2013 y Bortey-Samet *et al.* en 2015. Los resultados obtenidos se utilizarán para calcular la magnificación de los metales dentro de las siguientes variables.

### 5.4.2. Caracterización de riesgo

Para estimar el riesgo relativo de desarrollar cáncer se procedió a calcular en primer lugar el cociente de riesgo (HQ), perteneciente a cada metal, posteriormente se determinó el índice de riesgo (HI) el cual resulta de la sumatoria de los (HQ) obtenidos de cada metal estudiado.

#### 5.4.2.1. Cociente de riesgo (HQ)

Donde se calculó mediante la ecuación:

$$HQ = CDI / RfD$$

Donde:

HQ: Cociente de Riesgo.

CDI: Ingesta diaria crónica (mg/kg/d).

RfD: Dosis de referencia (mg/kg/d).

Para las RfD, se consideraron las mencionadas por IRIS, Davis *et al*, Miller *et al*. en 2015, 2000 y 2001 respectivamente.

#### 5.4.2.2. Índice de riesgo (HI)

Se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$HQ \text{ (HI)} = HQ_{Cd} + HQ_{Pb} + \dots + HQ_{Tl}$$

Un índice que presenta valores de  $\geq 1$  ( $HI > 1$ ) significa que no es seguro para la salud humana según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2005; Khan *et al.*, 2008, 2013).

#### 5.4.2.3. Riesgo de cáncer

La estimación de la variable se obtuvo del producto de CDI y el factor de pendiente (SF), para este caso solo se tomaron en cuenta Cd y Pb al ser considerados cancerígenos o como probables cancerígenos (Chen *et al.*, 2015; IARC, 2015).



Por ello se utilizó el siguiente modelo:

$$\text{Riesgo de cáncer} = \text{CDI} \times \text{SF}$$

Donde:

CDI: Ingesta diaria crónica (mg/kg/d).

SF: Factor de pendiente. \*

\* (USEPA, 2002).

#### **5.4.2.4. Riesgo de cáncer total**

Variable resultan de la suma del riesgo de cáncer por metal:

$$\text{Riesgo de cáncer total} = \sum \text{riesgo de cáncer Cd} + \text{Pb}$$

### **5.5. Análisis estadístico**

Los analitos obtenidos en cada variable fueron analizados a través de un diseño completamente al azar, mediante un ajuste factorial 2 x 4, en donde los factores son época (primavera, verano), zonas, bajo un modelo lineal general, en la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey con el paquete estadístico SAS versión 9 (2002).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Concentración de metales en la leche por zona

La concentración de metal en la leche (cuadro 2) tuvo diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) con respecto a Cd, Pb, Sr, Ti, Zn; el Zn mostro los niveles más elevados con respecto a los demás, siendo más notorio en la zona 1, seguido por el Sr y Pb. Sin embargo, el resultado de las otras variables comparadas no fue significativa ( $p > 0.05$ ).

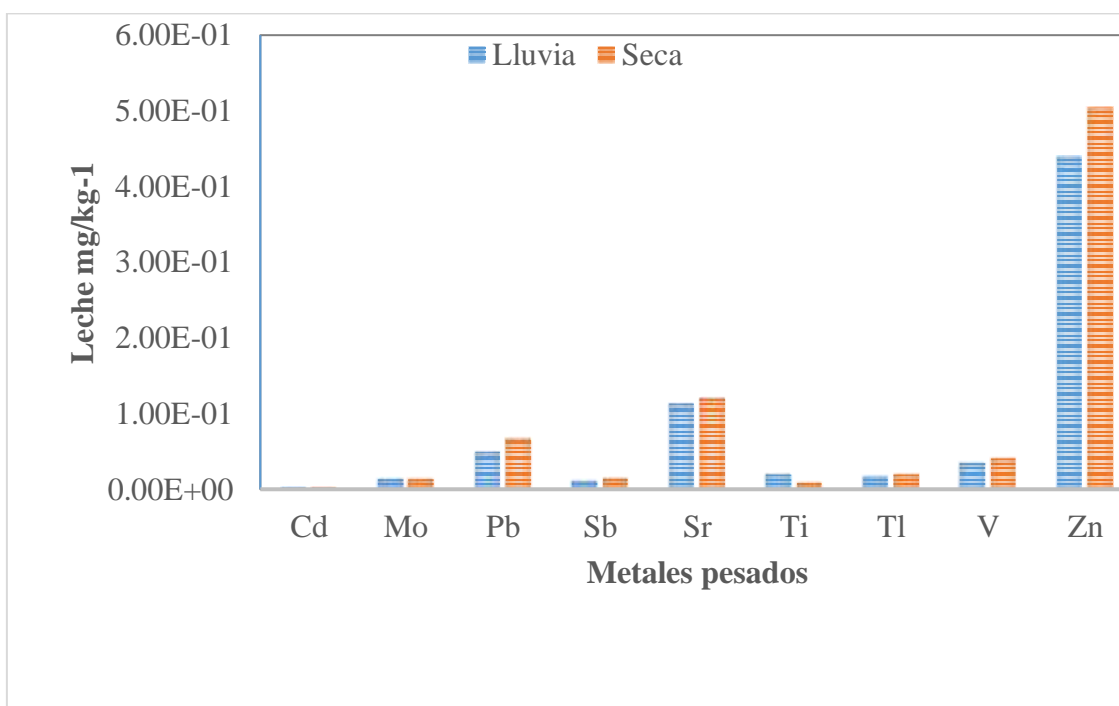
**Cuadro 4. Contenido de metales pesados en leche cruda ( $\text{mg Kg}^{-1}$  peso seco) por zona en la subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

Metal	Zona							
	1 <sub>(n)</sub>	SD	2 <sub>(n)</sub>	SD	3 <sub>(n)</sub>	SD	4 <sub>(n)</sub>	SD
Cd	0.002 ab	0.001	0.001 c	0.001	0.001 bc	0.001	0.003a	0.001
Mo	0.014 a	0.008	0.014 a	0.013	0.014 a	0.017	0.001 a	0.009
Pb	0.078 a	0.044	0.049 b	0.022	0.053 b	0.027	0.047 b	0.017
Sb	0.010 a	0.011	0.017 a	0.014	0.014 a	0.012	0.010 a	0.010
Sr	0.11 ab	0.028	0.106 b	0.032	0.138 a	0.080	0.114 ab	0.026
Ti	0.011 ab	0.005	0.009 b	0.006	0.013 ab	0.023	0.022 a	0.029
Tl	0.020 a	0.013	0.018 a	0.010	0.017 a	0.009	0.016 a	0.009
V	0.039 a	0.009	0.037 a	0.012	0.038 a	0.012	0.036 a	0.016
Zn	0.540 a	0.203	0.445 ab	0.141	0.458 ab	0.098	0.426 b	0.110

**Zona 1:** Tepetitla de Lardizabal, **Zona 2:** Nativitas, **Zona 3:** Santa Isabel Tetlatlahuca, **Zona 4:** Tecamachalco; **n:** es igual a 40; **a:** Medias con la misma literal dentro de la misma hilera no son significativamente diferentes significativas ( $p > 0.05$ ); **ab:** medias con literales diferentes entre hileras son diferentes significativamente ( $p < 0.001$ ) entre las zonas. **SD:** Desviación estándar.

## 6.2. Concentración de metales pesados en la leche por época del año

Para el caso de la época del año (Figura 2), se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ) en Zn, Pb y V en el caso de la época de seca y Ti en la época de lluvia, el resto de las variables comparadas no presentaron diferencias significativas; las concentraciones más elevadas fueron para Zinc, Sr y Pb.



**Figura 2. Contenido de metales pesados en leche por época del año en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

Dentro de los 8 metales evaluados solamente 2 (Zn, Mo) repercuten positivamente en el metabolismo de los organismos (Spears, 1999), ello no descarta su potencial perjudicial al sobrepasar los niveles requeridos, lo cual puede propiciar daños en la salud al igual que metales como Pb o Cd los cuales son considerados carcinogénicos.

De acuerdo a datos del Instituto de Medicina en EE UU. proporcionados durante el 2001 los resultados obtenidos de Mo se encuentran dentro de la ingesta diaria recomendada ya que proporciona un 70% en niños de entre 1 a 3 años, 59.59% en edades de 4 a 8 años, 30% de 14 a 18 años de edad. Se han cuantificado valores de Sb inferiores a los reportados en esta investigación, Li *et al.* en el 2016 obtuvo  $46 \mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que Pinto *et al.* (2018) reporta  $0.14 \mu\text{g L}^{-1}$  en leche materna y Solís *et al.* (2009) reporto valores de  $45.20 \mu\text{g/kg}$ .

La ATSDR (2016) presenta como factibles niveles de entre 0.01 a 0.02 mg para V, mientras que Pennington and Jones (1987) estimaron  $0.1 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ , estos valores de referencia son inferiores a los reportados por esta investigación, Krachler *et al.* (2007) hallaron valores de  $38.3\text{ng/g}$  de Talio en leche de polvo, los cuales de igual manera se encuentran por debajo de los niveles estimados. Los limites ambientales seguros para el caso de Tl son de  $2 \mu\text{g L}^{-1}$  esto de acuerdo a USEPA (2005) y Xiao *et al.* en el 2004.

Se han realizado una gran cantidad de análisis con respecto a la incidencia de metales carcinógenos Cd y Pb, estas han abarcado desde agua, suelo, alimentos tales como legumbres (Ortiz-Cano *et al.*,2009; Perez-Vazquez *et al.*,2015; Peláez- Peláez *et al.*,2016; Covarrubias *et al.*,2017; Castro – González *et al.*,2017;2018).

Los límites permisibles para Pb son de  $0.02 \text{ mg kg}^{-1}$  de acuerdo a la CCA en el 2011 (Comision del Codex Alimentarius) y la Unión Europea, Bilandžić *et al.* en 2011 denoto valores de  $58.7 \mu\text{g L}^{-1}$  y Gutiérrez (2009) al analizar leche en diversas granjas encontró valores de  $4.34 \mu\text{g/kg}$ , en relación a lo anterior el Pb reportado en esta investigación supera estos niveles tanto en época de lluvia ( $0.025 \text{ mg kg}^{-1}$ ) como seca ( $0.034 \text{ mg kg}^{-1}$ ), sin embargo resulta inferior al tomar como referencia la Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1,2010) al considerar como límite permisible  $0.1\text{mg L}^{-1}$ .

El cadmio en leche no cuenta con un nivel máximo, para el caso de México, los valores descritos son inferiores a los reportados en 2020 por Psenková *et al.* de  $10\text{mg kg}^{-1}$ , pese a esto es importante considerar las características de bio-magnificación que presenta en el organismo de las personas (Genchi *et al.*,2020).

### 6.3. Cociente de riesgo (HQ)

El HQ por zonas (Cuadro 3) mostro diferencias significativas para todos los metales ( $p \leq 0.001$ ) fue la Zona 1 (Tepetitla de Lardizábal) la que presento los valores más altos para el caso de Pb, Tl, V y Zn, como se puede observar los valores obtenidos de todos los metales fueron mostraron valores por debajo de 1, lo que significa no peligrosos; por sexo se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ) para el caso de Mo, Sr, Tl, V y Zn; cabe mencionar que en este caso tampoco se obtuvieron valores superiores a 1, los mismo sucedió al evaluar el cociente de riesgo por edades, sin embargo los valores más elevados se obtuvieron en los primeros años de vida para el caso de V, Zn, Cd, los valores por debajo de uno son considerados no peligrosos (USEPA, 2001; Castro-González *et al.*, 2017).

**Cuadro 5. Cociente de riesgos (HQ) por zonas en la subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

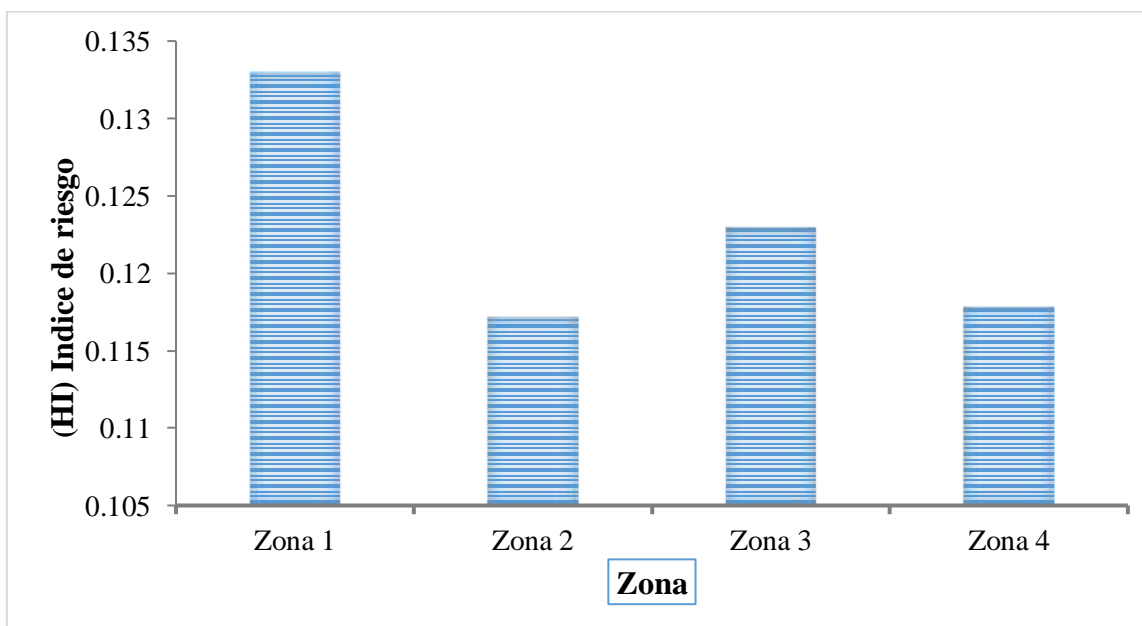
Metal	Zonas			
	1	2	3	4
Cd	3.43E-03 b	1.42E-03 d	2.59E-03 c	4.57E-03 a
Mo	1.63E-05 b	1.68E-05 ab	1.75E-05 a	1.19E-05 c
Pb	3.63E-03 a	2.24E-03 c	2.47E-03b	2.20E-03 c
Sb	1.39E-04 c	2.00E-04 a	1.77E-04 b	1.30E-04 c
Sr	1.31E-03 bc	1.26E-03 c	1.65E-03 a	1.35E-03 b
Ti	3.70E-07 c	3.29E-07 c	4.65E-07 b	7.29E-07 a
Tl	1.71E-08 a	1.57E-08 b	1.47E-08 c	1.34E-08 d
V	9.46E-02 a	8.75E-02 c	9.08E-02 b	8.59E-02 d
Zn	2.99E-02 a	2.46E-02 b	2.54E-02 b	2.36E-02 c

**Zona 1:**Tepetitla de Lardizabal, **Zona 2:**Nativitas, **Zona 3:**Santa Isabel Tetlatlahuca, **Zona 4:**Tecamachalco; **a:** Medias con la misma literal dentro de la misma hilera no son significativamente diferentes significativas ( $p > 0.05$ ); **abcd:** medias con literales diferentes entre hileras son diferentes significativamente ( $p < 0.001$ ) entre las zonas. **SD:** Desviación estándar.

#### 6.4. Índice de riesgo (HI) por zona

El índice de riesgos deriva de la adición de los cocientes de riesgo de todas las concentraciones de metales pesados, de acuerdo con el HI por sexo se obtuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ) en donde las niñas obtuvieron  $0.124 (\pm 0.07)$  y los hombres  $0.120 (\pm 0.07)$ . Al evaluar la variable en relación a las zonas se obtuvieron diferencias significativas para todas, siendo la zona 1 la que presenta mayor riesgo, seguida por la zona 3, 2 y 4, de acuerdo a las edades, los niños de 1 año presentan mayor riesgo, donde los valores en orden descendente fueron los siguientes 1 año ( $0.316 \pm 0.0196$ ) y 18 años ( $0.049 \pm 0.005$ ).

Según la edad de los niños, el sexo y las zonas los valores para HI mostraron valores  $< 1$  lo que hace referencia a que el riesgo es aceptable para todos los contaminantes; siendo que su presencia no indica riesgo de enfermedades no cancerosas. Gonzalez *et al.* (2017) reportaron HI promedio en niños de  $3.13 \pm 0.082$  al tomar en cuenta Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn, As, al igual que un  $HQ > 1$  para el caso del As, mientras que al tomar al Pb y Cd para el análisis total de cáncer en riesgo difiere, teniendo así un riesgo de tener trastornos a futuro, lo cual resulta superior a lo reportado.



**Figura 3. Índice de riesgo (HI) por zona en la en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

## 6.5. Riesgo de cáncer

En cuanto a la variable riesgo de cáncer (Cuadro 4) solamente se contemplaron los metales Cd y Pb, esto debido a su potencial carcinogénico por zona se obtuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.001$ ), el Pb presento los niveles más elevados en la zona 1, Cd presento valores superiores para el caso de la zona 4, al analizar el riesgo por sexo, resulta que no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en cuanto al Cd, mientras que al analizar al Pb se muestran resultados significativos ( $p \leq 0.001$ ) para las niñas con respecto a los niños.

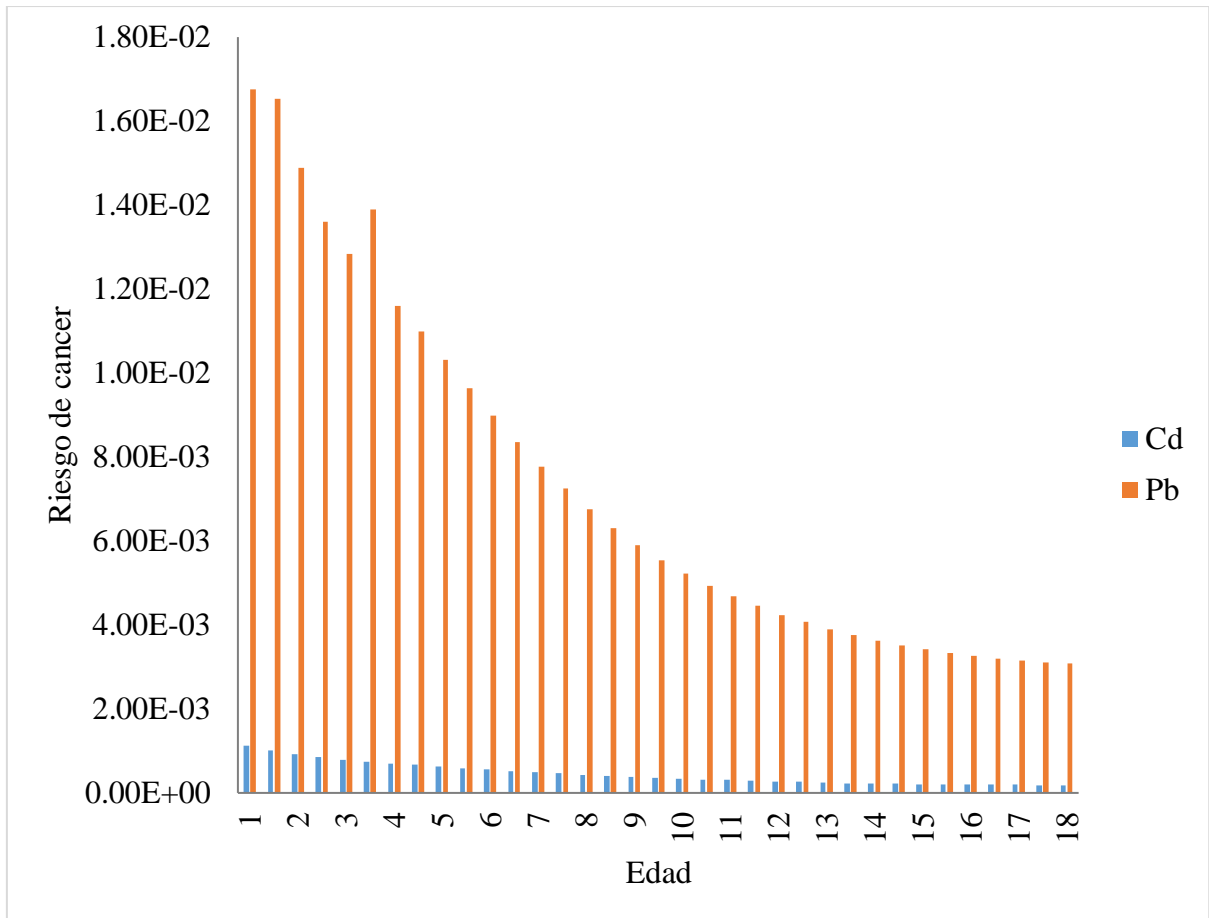
**Cuadro 6. Riesgo de cáncer en niños por zonas y por metal en la sub- cuenca del Alto**

**Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

Zona	Cd	SD	Pb	SD
1	5.13E <sup>-04</sup> b	3.02E <sup>-04</sup>	9.96E <sup>-03</sup> a	1.31E <sup>-02</sup>
2	2.13E <sup>-04</sup> d	1.25E <sup>-04</sup>	6.14E <sup>-03</sup> b	8.06E <sup>-03</sup>
3	3.89E <sup>-04</sup> c	1.25E <sup>-04</sup>	6.79E <sup>-03</sup> b	8.91E <sup>-03</sup>
4	6.86E <sup>-04</sup> a	4.03E <sup>-04</sup>	6.04E <sup>-03</sup> b	7.93E <sup>-03</sup>
Niños	4.43E <sup>-04</sup> a	3.22E <sup>-04</sup>	7.90E <sup>-06</sup> b	5.00E <sup>-06</sup>
Niñas	4.58E <sup>-04</sup> a	3.40E <sup>-04</sup>	1.45E <sup>-02</sup> a	9.35E <sup>-03</sup>

**Zona 1:** Tepetitla de Lardizabal, **Zona 2:** Nativitas, **Zona 3:** Santa Isabel Tetlatlahuca, **Zona 4:** Tecamachalco; **a:** Medias con la misma literal dentro de la misma hilera no son significativamente diferentes significativas ( $p > 0.05$ ); **abcd:** medias con literales diferentes entre hileras son diferentes significativamente ( $p < 0.001$ ) entre las zonas. **SD:** Desviación estándar.

En relación al riesgo por edad (Figura 4) se puede observar que existe durante todas las edades, sin embargo, se registran valores superiores dentro de los 3 años y medio, en la comparativa el Pb figura con los valores más elevados con respecto al Cd. Pese a que los resultados son relativamente bajos, ello no descarta próximas eventualidades en cuanto a la salud principalmente en niñas, lo cual ha sido descrito por Castro -González *et al.* (2017), al evaluar niveles de distintos metales en leche.



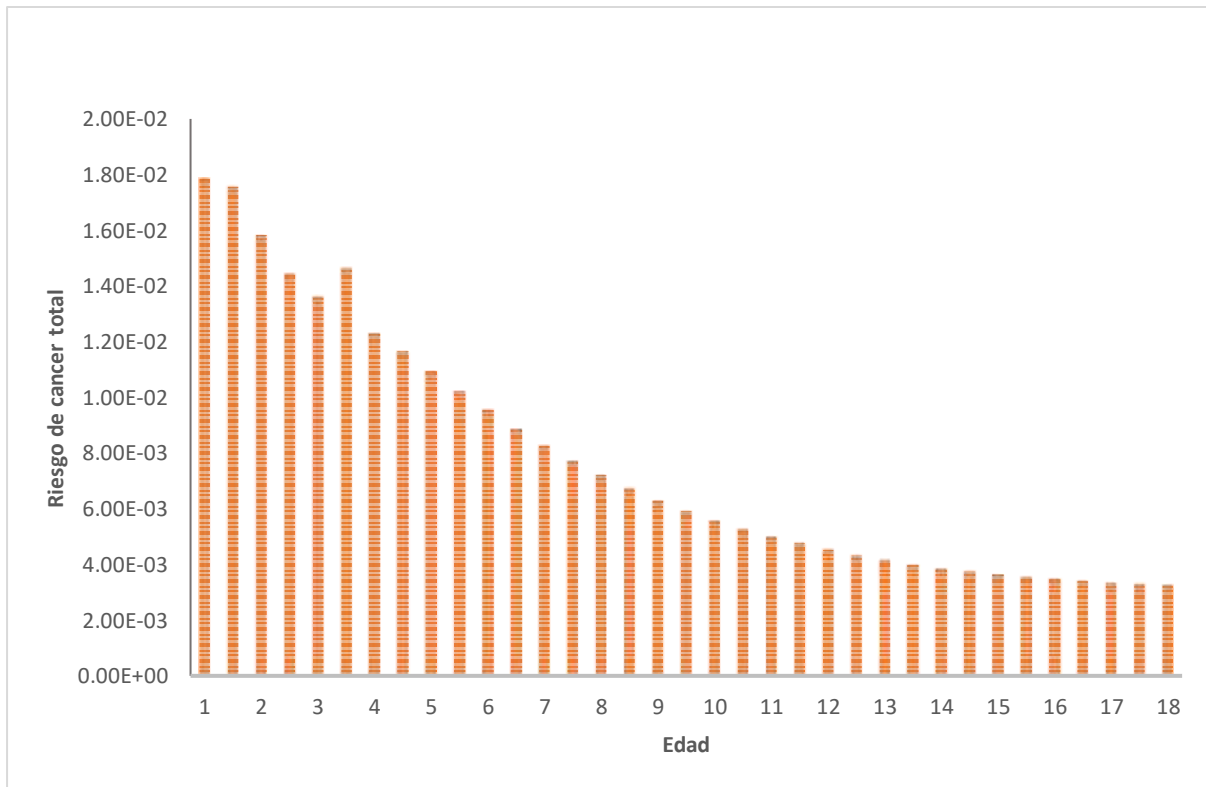
**Figura 4. Riesgo de cáncer en relación con la edad de los niños por consumo de leche contaminada con metales pesados producida en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**



### 6.5.1. Riesgo cáncer total

Los resultados obtenidos (Figura 5) superan ( $1.29 \times 10^{-3}$  y  $2.12 \times 10^{-3}$ ) los permitidos por USEPA (2022) al considerar valores de entre  $10^{-6}$  y  $10^{-4}$ , sin embargo, resultan menores a los reportados en 2017 por Castro -González *et al.* los cuales oscilaban entre  $2 \times 10^{-3}$  y  $8 \times 10^{-3}$ , al evaluar Cd, Pb, Cr, As.

El Registro de Cáncer en Niños y Adolescentes (RCNA, 2019) menciona que infantes de entre 0-4 años presentan una mayor incidencia de desarrollar cáncer, tal aseveración resulta análoga a lo reportado, ello sin dejar de lado el riesgo inminente durante la pubertad, debido a la relación peso corporal-CDI, ingestión de tres a cuatro veces más comida por kilogramo de peso corporal que un adulto (ENHIS,2007).



**Figura 5. Riesgo de cáncer total en relación con la edad en la Subcuenca del Alto Balsas en los estados de Puebla y Tlaxcala.**

## VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo reportado, se determina que el consumo de leche proveniente de estas zonas, así como de los subproductos, constituyen un riesgo latente dentro del bienestar infantil (salud), no solo en el presente sino a futuro, a pesar de la basta información obtenida en esta zona, se hace carente una estricta regulación , respecto al manejo de desechos de las distintas industrias; así como la implementación de programas en pro de la recuperación de las distintas zonas afectadas, ello repercutirá no solo de manera favorable en la calidad de vida sino que impulsara la economía agrícola de la zonas.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Agostoni C. & Turck D. 2011. Is cow's milk harmful to a child's health?. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 53. 594-600. 10.1097/MPG.0b013e318235b23e.
- Åkesson A. 2012. Cadmium exposure in the environment: Renal effects and the benchmark Dose. *Encyclopedia of Environmental Health* 465-473.
- Al-Othman Z., Ali R, Al-Othman A.M, Ali J, Habila M. A. 2012. Assessment of toxic metals in wheat crops grown on selected soils of Khyber Pukhtoon Khaw, Pakistan, irrigated by different water sources. *Arabian J Chem*. 4–11. doi:10.1016/j.arabjc.2012.04.006
- Amin N. U., Hussain A., Alamzeb S., Begum S. 2013. Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. *Food Chem*. 136:1515–1523.
- ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1992. Reseña toxicológica del talio. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. (Consultado 20 octubre,2020).
- ATSDR. 2007. Case studies in environmental medicine. Lead toxicity. Atlanta: US. Department of Health and Human Services. (Consultado 19 octubre,2020).
- ATSDR. Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades. 2004. Perfil toxicológico del estroncio . Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. (Consultado 04 noviembre,2020).
- ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1992. Reseña toxicológica del vanadio. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58-c6.pdf>
- Barceló J., and Poschenrieder C. 2003. Phytoremediation: principles and perspectives. *Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.Contributions to Science* 2(3): 333-344.
- Bermudez G.M.A., Jasan R, Plá R, Pignata M.L. 2011. Heavy metal and trace element concentrations in wheat grains: Assessment of potential non-carcinogenic health hazard through their consumption. *J. Hazard Mater*. 193:264–271.
- Bilandžić N., Okić M., Sedak M., Solomun B., Varenina I., Knežević Z., Benić M. 2011. Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. *Food Chem*. 127:63–66.
- Bhargava A., Carmona F.F., Bhargava M. y Srivastava S. 2012. Enfoques para mejorar la fitoextracción de metales pesados. *The Journal of Environmental Management* 105, 103 – 120.

- Bortey-Sam N., Nakayama S.M.M., Ikenaka Y., Akoto O., Baidoo E., Beyene Y., Mizukawa H., Ishizuka M. 2015. Ecotoxicology and environmental safety human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana. Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicol Environ Saf.* 111:160–167
- Brooks R.R., Lee J., Reeves R.D., Jaffré, T., 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal Geochemical Exploration*, 7: 49-57
- Cao H., Chen J., Zhang J., Zhang H., Qiao L., Men Y. 2010. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *J Environ Sci.* 22:1792–1799
- Castro-González N. P., Moreno-Rojas R., Calderón S. F., Moreno O.A. & Juárez M.M., 2017: Assessment risk to children's health due to consumption of cow's milk in polluted areas in Puebla and Tlaxcala, Mexico, *Food Additives & Contaminants: Part B*, DOI: 10.1080/19393210.2017.1316320
- Chitmanat C., and Traichaiyaporn S. 2010. Spatial and temporal variations of physical chemical water quality and some heavy metals in water, sediments and fish of the mae Kuang River, Northern Thailand. 816–820
- Chen H., Teng Y., Lu S., Wang Y., Wang J. 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of The Total Environment*, 512–513, Pages 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
- Cifuentes E. H., Blumenthal G., Ruiz P. S., Bennett Q. M.A., Peasey H. y Romero A. 1993. Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. *SSA.Mex.*;35(6) 614-619
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Codex Alimentarius Commission. 2011. Report of the 50th session of the Codex committee on food additives and contaminants. Hague: Codex Alimentarius Commission.
- Dai Y.S., Jones B., Lee K.M., Li W., Post L., Timoty J., Herrman. 2016. Contaminación de alimentos para animales por metales pesados en Texas. *Revista de ciencia reguladora* 01 21 - 32.
- Derache R. 1990. Toxicología y seguridad de los alimentos. Barcelona, Ediciones Omega, 490.
- Dorea J. G., & Donangelo C. M. 2006. Early (in uterus and infant) exposure to mercury and lead. *Clinical nutrition (Edinburgh,Scotland)* 25 (3): 369-376  
<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2005.10.007>

- Dwivedi S.K., Swarup D., Dey S., Patra R.C.2001. Lead poisoning in cattle and buffalo near primary lead-zinc smelter in India. *Vet Hum Toxicol.* 43:93-4.
- ENHIS. European Environment and Health Information System. 2007. Exposure of children to chemical hazards in food. Fact Sheet No. 4.4, CODE: RPG4\_Food\_EX1. World Health Organization. Available from: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/97446/4.4.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/97446/4.4.pdf). (Consultado febrero 18, 2020).
- FAO. 2016. Milk and milk products facts. Disponible en: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gate-way/milk-and-milk-products/en/#.V5BIIJhCM8>. (Consultado 10 agosto 2020).
- FIRA.2008. Dirección General Adjunta de Inteligencia Sectorial, Productos TLCAN, Reporte trimestral del comportamiento de la leche, marzo, México.
- Flynn A. Minerals and trace elements in milk. *Advances in Food and Nutrition Research.* 1992. 36:209-252. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)60106-0](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)60106-0)
- Franklin B.2011. El libro blanco de la leche y los productos lácteos. México: Canilec. Disponible en: <http://www.yumpu.com/es/document/view/16270502/el-libro-blanco-de-laleche-y-los-productos-lacteos-canilec-fepale>.(Consultado 27 agosto,2020).
- Fytianos K., Katsianis G., Triantafyllou P., Zachariadis G.2001. Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67 423-430. doi:10.1007/s00128014.
- Gallagher C. & J. Meliker. 2010. Blood and urine cadmium, blood pressure, and hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 118(12): 676-1684
- García I. y Dorronsoro C.2005. Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos.* Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Madrid, España, pp. 145-148. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es>.
- Genchi G., Sinicropi M.S., Lauria G., Carocci A., Catalano A.2020. Los efectos de la toxicidad del cadmio. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública* .17(11):3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Giromini C., Rebucci R., Fusi E., Rossi L., Saccone F. y Baldi A. 2016. Citotoxicidad, apoptosis, daño del ADN y metilación en líneas celulares epiteliales mamarias y renales expuestas a ocratoxina. *Biología celular y toxicología* 32: 249 – 258
- González-Montaña, José R. (2009). Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(3), 305-310. Consultado febrero 25, 2021, obtenido: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-06902009000300006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902009000300006&lng=en&tlng=es).

- Govind P. y Madhuri S. 2014. Metales pesados que causan toxicidad en animales y pescadores. *Revista de investigación de ciencias animales, veterinarias y pesqueras* 2: 17 - 23.
- Gulson B.L., Mizon K.J., Korsch M.J., Howarth D. 1996. Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a major lead mining community. *Science Total Environ.* 181: 223–230. doi:10.1016/0048-9697(95)05015-9
- Gutiérrez C. A. J., Prieto M. F., & González M. J. R. 2009. Concentración de metales pesados en leche cruda de vaca en la provincia de León, España.
- Heringa M.B., Peters R.J.B., Bleys L.A.W. 2018. Detección de partículas de titanio en hígado y bazo humanos y posibles implicaciones para la salud. *Part Fiber Toxicol* 15, 15. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12989-018-0251-7>
- Henson M., & Chedrese P. 2004. Endocrine disruption by cadmium, a common environmental toxicant with paradoxical effects on reproduction. *Exp. Biol Med.*, 229: 383-392
- Huang M., Zhou S., Sun B., Zhao Q. 2008. Heavy metals in wheat grain: Assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Sci Total Environ.* 405:54–61.
- IARC. International Agency for Research of Cancer. 2015. Agents Classified by the IARC Monograph Volumes I –106. Disponible en: <https://www.ehs.ucla.edu/doc/OSHAPHS1.pdf>. . ./file. (Consultado 20 noviembre, 2020)
- Instituto de Investigación sobre el Crecimiento y el Desarrollo. 2004. Curvas y tablas de crecimiento (longitudinal y transversal). Faustino Orbegozo Eizaguirre Foundation. Maria Díaz de Haro, 10a. 48013. Bilbao, España. I.S.B.N.: 84-607- 9967-0. Disponible: [http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/antropometria/f\\_orbegozo\\_04.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/antropometria/f_orbegozo_04.pdf). (Consultado 15 octubre, 2020).
- IRIS. 2015. Integrated Risk Information System. Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/compare.cfm>. (Consultado 11 agosto, 2020).
- Järup L., & Alfvén T. 2004. Low level cadmium exposure, renal and bone effects the OSCAR study. *Biomaterials*, 17(5): 505-509.
- Julin B., Wolk A., Johansson J., Andersson S., Andrén O., & Akesson A. 2012. Dietary cadmium exposure and prostate cancer incidence: a population-based prospective cohort study. *Br J Cancer*, 107(5):895-900.
- Kabata-Pendias A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. 365-413.
- Khan K., Lu Y., Khan H., Ishtiaq M., Khan S., Waqas M., Wei L. y Wang T. 2013. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. *Food Chem Toxicol* 58:449–458.

- Khan N., Jeong I.S., Hwang I.M., Kim J.S., Choi S.H., Nho E.Y., Choi J.Y., Park K.S., Kim K.S. 2014. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chem* 147: 220–224.
- Khan S., Cao Q., Zheng Y.M., Huang Y.Z., Zhu Y.G. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environ Pollut* 152:686–692.
- Krachler M., Prohaska T., Koellensperger G., Rossipal E., y Stingeder G. 2007. Concentraciones de oligoelementos seleccionados en la leche materna y en fórmulas para lactantes determinadas por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente por campo magnético. *Investigación de elementos traza biológicos*. 76: 97-112.
- Kukilinski C. 2003. *Nutrición y Bromatología*, Chile: Edición Omega páginas: 213-216.
- Lerche M. 1969. *Inspección veterinaria de la leche*. Acribia, Zaragoza España. p188
- Licata P., Trombetta D., Cristani M., Giofrè F., Martino D., Calò M., Naccari F. 2004. Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environ Int.* 30:1–6.
- Li C. 2016. Minerals and trace elements in human breast milk are associated with Guatemalan infant anthropometric outcomes within the 6 months. *Journal of Nutrition*. 146(10):2067-2074
- Llugany M., Tolrà R., Poschrieder C., Barceló J. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas* 16 (2):4-9.
- McElroy J., Shafer M., Trentham-Dietz A., Hampton J., & Newcomb P. 2006. Cadmium exposure and breast cancer risk. *J Natl Cancer Inst.* 98(12): 869-873
- Muller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2: 108–118.
- Miller J.R., Hudson-Edwards K.A., Lechler P.J., Preston D., Macklin M.G. 2004. Contaminación por metales pesados del agua, el suelo y los productos agrícolas dentro de las comunidades ribereñas de la cuenca del río Pilcomayo, Bolivia. *La ciencia del medio ambiente total*. 320 (2-3): 189-209. DOI: 10.1016 / j.scitotenv.2003.08.011.
- Miller G. D., J. K. Jarvis, and Bean L. D. 2007. *Handbook of Dairy Foods and Nutrition*. 3ra (ed.). CRC Press. USA. 407 p
- Momcilović B. 1999. A case report of acute human molybdenum toxicity from a dietary molybdenum supplement--a new member of the "Lucor metallicum" family. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* 50(3): 289–297.
- Moreno-Rojas R., Amaro-Lopez M. A., Zurera-Cosano G. 1992. Mineral elements distribution in fresh asparagus. *Journal of Food Composition and Analysis* 5 (2): 168-171. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90033-G](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90033-G)

- Moreno-Rojas R., Amaro-Lopez M. A., Zurera-Cosano G. 1994. Copper, iron and zinc variations in Manchego-type cheese during the traditional cheese-making process. *Food Chemistry*, 49(1): 67–72. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90234-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90234-8)
- Moreno-Rojas R., Sánchez-Segarra P.J., Cámara-Martos F., Amaro-López M. 2010. Heavy metal levels in Spanish cheeses: influence of manufacturing conditions. *Food Addit. Contam. Part B* 3: 90–100. doi:10.1080/19440049.2010.491838.
- Nordberg G. 2012. Metales: Propiedades químicas y toxicidad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Cap: 63. (Consultado 15 de octubre 2020).
- Norma Oficial Mexicana. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Especificaciones sanitarias. 2010; (Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5160755](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5160755))
- OCDE. 2022 Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/8b675a1a-es/index.html?itemId=/content/component/8b675a1a-es#section-d1e21511>
- Oliver M. 1997. Oil and human health: a review. *Eur. oil ci.* 48, 573–592. doi:10.1046/j.1365-2389.1997.00124.
- Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 161-168. Recuperado en 29 de agosto de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2009000200009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000200009&lng=es&tlng=es).
- Pagnanelli F., Mosca E., Giuliano V., Toro L. 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area; pollution detection and affinity series. *Environ Pollut* 132: 189–201
- Pandey R., Shubhashish K., Pandey J. 2012. Dietary intake of pollutant aerosols via vegetables influenced by atmospheric deposition and wastewater irrigation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 76: 200–208. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.10.004
- Park Y.W., Haenlein G.F., Ag D.S. (2013) *Milk and dairy products in human nutrition*. Wiley-Blackwell. Iowa, USA. 680p.
- Peláez-Peláez, Manuel José, Bustamante Cano, John Jairo, & Gómez López, Eyder Daniel. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena medio colombiano. *Luna Azul*, (43), 82-101. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.5>



- Pérez-Vázquez F.J., Flores-Ramírez R., Ochoa-Martínez A.C., Orta-García S.T., Hernández-Castro B., Carrizalez-Yáñez L. y Pérez-Maldonado I.N. (2015). Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals in soil from San Luis Potosí, México. *Environ. Monit. Assess.* 187, 4119
- Pinto M. & Almeida A. 2018. Trace Elements in the Human Milk. doi:10.5772/intechopen.76436.
- Pšenková, M., Toman, R. & Tančin, V. Concentraciones de metales tóxicos y elementos esenciales en la leche cruda de vaca de áreas con ambiente potencialmente no perturbado y altamente perturbado en Eslovaquia. *Environ Sci Contaminación Res* 27 , 26763–26772 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09093-5>
- Rattan R.K., Datta S.P., Chhonkar P.K., Suribabu K. y Singh A. K. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 109: 310–322. doi:10.1016/j.agee.2005.02.025
- RCNA. 2019. Cáncer en la Infancia y la Adolescencia con base en el Registro de Cáncer en Niños y Adolescentes. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud%7Ccensia/articulos/cancer-infantil-en-mexico-130956>. (Consultado 20 noviembre, 2020)
- Ren-ju S., Hui-li T., Jian-guo H., Xue-jun G. 2015. Contents of trace metal elements in cow milk impacted by different feedstuffs, *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*. 22:54-61. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(16\)30007-1](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(16)30007-1).
- Revilla A. 2008. Tecnología de la leche. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=miAPAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=CIENCIA+DE+LA+LECHE&hl=es419&sa=X&ei=Ej7xUYGIJInk8gTEzICgCw&ved=0CD0Q6AEwAw#v=snippe t&q=sabor&f=false>. (Consultado 12 septiembre 2020).
- Rios-Arana J. V., Walsh E.J., Gardea-Torresdey J.L. 2004. Assessment of arsenic and heavy metal concentrations in water and sediments of the Rio Grande at El Paso Juarez metroplex region. *Environ. Int.* 29: 957–971. doi:10.1016/S0160-4120(03)00080-1
- Rodríguez, L. y Morales, J. (Coord.) (2014). Contaminación del Atoyac, daños ambientales y tecnologías de la mitigación. Universidad Autónoma Metropolitana, Miguel Ángel Porrúa
- Thompson A., Boland M. and Singh H. 2009. Milk proteins from expression to food. 1a (ed.). Elsevier. USA. 535 p.
- Turdean G.L. 2011. Design and development of biosensors for the detection of heavy metal toxicity. 3–5. doi:10.4061/2011/343125
- USDA. 2017. National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Basic Report: 01078, Milk, producer, fluid, 3.7% milkfat. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III-Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. Washington, USA. Disponible en: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags3adt\\_complete.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags3adt_complete.pdf)
- USEPA. 2002. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC ([OSWER9355.4-24]). Disponible en: [https://rais.ornl.gov/documents/SSG\\_nonrad\\_supplemental.pdf](https://rais.ornl.gov/documents/SSG_nonrad_supplemental.pdf)
- USEPA. 2005. Guidelines for carcinogen risk assessment. Disponible en: [https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer\\_guidelines\\_final\\_3-25-05.pdf](https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf)
- Schwartz G.G., IL'Yasova, D. & Ivanova A. 2013. Urinary cadmium, impaired fasting glucose, and diabetes in the NHANES III. *Diabetes Care* 26(2): 468-470. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.2.468>
- Seidel C., Deufel T., Jahreis G. 2005. Effects of fat-modified dairy products on blood lipids in humans in comparison with other fats. *Ann Nutr Metab* 49:42-48.
- Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F.M. 2010. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem. Toxicol.* 48: 611-9. doi:10.1016/j.fct.2009.11.041
- SIAP.2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen nacional de ganadería. <http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com>.
- Solis C., Isaac-Olive K., Mireles A., Vidal-Hernandez M. 2009. Determination of trace metals in cow's milk from wastewater irrigated areas in Central Mexico by chemical treatment coupled to PIXE. *Microchem. J.* 91: 9-12. doi:10.1016/j.microc.2008.06.001
- Spears J.W.1999. Reevaluación de la esencialidad metabólica de los minerales -Asian-Australasian Journal Of Animal Sciences 12: 1002-1008
- Sundberg J., Jönsson S., Karlsson M.O., Oskarsson A. 1999. Lactational exposure and neonatal kinetics of methylmercury and inorganic mercury in mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 154: 160-169. doi:10.1006/taap.1998.8566
- Villalobos-P., R., Flores, A. R. y Gómez, S. (2011). Detección de mezclas complejas de sustancias con efectos genotóxicos en el sistema hidrológico Atoyac-Zahuapan (SH-AZ) Tlaxcala. En Jiménez, R. y Hernández-Rodríguez, M. de L. (Coords.). Zahuapan. Río-región-contaminación. (Pp. 23-32). El Colegio de Tlaxcala, A. C.
- Villegas de G.A. y Santos M.A.2010. Calidad de Leche Cruda. Primera Edición. Trillas. México.
- Walstra P.J., Wouters T. M. and Geurts T. J. 2006. Dairy Science and Technology. 2a (ed). Taylor & Francis. USA. 763 p.

- Warensjö E., Jansson J., Berglund L., Boman K., Ahrén B., Weinehall L., Lindahl B., Hallmans G. y Vessby B. 2004. La ingesta estimada de grasa láctea se asocia negativamente con factores de riesgo cardiovascular y no aumenta el riesgo de un primer infarto agudo de miocardio. Un estudio prospectivo de casos y controles. *La revista británica de nutrición* 91 (4): 635-42.
- Wattiaux M. A. 2011. Composición de la leche y valor nutricional. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison. USA. pp. 73-76.
- Wang Y., Qiao M., Liu Y., Zhu Y. 2012. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater-irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. *J. Environ. Sci.* 24: 690–698. doi:10.1016/S1001-0742(11)60833-4
- WHO. 1996. Zinc in drinking-water. Originally published in Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. (2). Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/zinc.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/zinc.pdf)
- WHO. 2010. Preventing disease through healthy environments exposure to cadmium: a major public health concern. Disponible en: <http://www.who.int/entity/ipcs/features/cadmium.pdf>
- Xiao T., Guha J., Boyle D., Liu C.Q., Zheng B., Wilson G.C. 2004. Talio de origen natural: ¿Un peligro oculto para la salud geoambiental? *Environment International*. 30 (4): 501–507
- Zamoran, D. J. 2010. Manual de procesamiento lácteo. INPYME/JICA. Obtenido de [https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14\\_agriculture01.pdf](https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14_agriculture01.pdf)
- Zivkovic A.M., Barile D. 2011. Bovine milk as a source of functional oligosaccharides for improving human health. *Adv Nutr*; 2:284-289