



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

INGENIERIA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**CONTENIDO DE Li, Pb y As EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
QUESOS EN EL POBLADO DE SANTA ANA XALMIMILULCO, PUEBLA**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

PRESENTA

JAIR CASTRO DE JESÚS

DIRECTOR DE TESIS

MTRO. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

CODIRECTOR: DR. FRANCISCO CALDERÓN SÁNCHEZ

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Mayo 2017.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

INGENIERIA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**CONTENIDO DE Li, Pb y As EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
QUESOS EN EL POBLADO DE SANTA ANA XALMIMILULCO, PUEBLA**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA**

PRESENTA

JAIR CASTRO DE JESÚS

DIRECTOR DE TESIS

MTRO. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

CODIRECTOR: Dr. FRANCISCO CALDERÓN SÁNCHEZ

ASESORES

Dr. MARCOS PÉREZ SATO

Dra. LILIANA VALDIVIEZO MORALES

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Mayo 2017.

La presente tesis titulada: "**Contenido de Li, Pb y As en el proceso de producción de quesos en el poblado de Santa Ana Xalmimilulco, Puebla**" realizado por Jair Castro de Jesús, ha sido revisado y aprobado por el siguiente Consejo Particular:

Licenciado en Ingeniería Agronómica y Zootecnia
Facultad de Ingeniería Agrohidráulica

Consejo particular formado por:

Firma

Director: Mtro. Numa P. Castro González

Codirector: Dr. Francisco Calderón Sánchez

Asesor: Dr. Marcos Pérez Sato

Asesor: Dra. Lilibiana Valdiviezo Morales

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Mayo, 2017.

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**".

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida por haber permitido terminar este proyecto que empezó en el 2012.

A la BUAP por haber brindado la oportunidad de formarme como profesionista dentro de sus instalaciones.

A todos mis compañeros de la generación 2012 de IAZ por haber pasado momentos agradables con ellos y por todas las experiencias y aprendizajes.

A mis maestros, al Mc Numa que gracias a su invaluable apoyo y entusiasmo me ayudo a terminar este proyecto de tesis. Al Dr. Francisco Calderón por todo su apoyo y enseñanzas. A La Dra. Liliana Valdivieso que, sin conocerme, me brindo todo su apoyo y fue parte fundamental en concretar el objetivo de la tesis.

Al Dr. Sato, al Dr. Soni, al Dr. Berdeja por todos sus consejos y recomendaciones que me dieron en el aula de clase.

A la quesería hermanos Juárez, que me permitieron poder hacer el muestro en su quesería y por el apoyo para adquirir el material de laboratorio, al MVZ Edgar y al MVZ Ivan, muchas gracias. Y a todos los trabajadores de la quesería que pase momentos agradables, al "bigotes" que me brindó su apoyo e información importante. Al "borrego" por los favores prestados durante la toma de muestras y a Rubén por haberme enseñado todos los movimientos en la quesería y facilitar la información necesaria, a todos ellos gracias.

DEDICATORIA

A mi familia, mi padre Salomón Castro, mi madre Luz Elena de Jesús y a mi hermano Levi Castro, que, gracias a ellos, pude finalizar mis estudios de la universidad. Estoy muy agradecido con ellos por darme la oportunidad, su confianza, su apoyo. ¡¡¡¡Gracias familia!

A mi tío Wences Castro, por darme su ayuda cuando más lo necesite. Muchas gracias tío.

A mis tíos, Jorge Balderas, Dolores de Jesús y a mi prima Nohemí de Jesús, por los consejos y el apoyo que me dieron.

A mis Abuelos Eustacio de Jesús y Apolonia Hernández, que siempre se preocuparon porque saliera adelante como profesionista y me aconsejaron en la vida.

A Reyna Argelia por haber estado conmigo durante la carrera.

SIN FORRAJE, NO HAY CHAMARRO (Castelán et al., 2012).

ÍNDICE GENERAL

Contenido	página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRAC.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específico.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Producción de leche a nivel mundial.....	5
4.1.1 Producción nacional de leche.....	6
4.2 Producción nacional de queso.....	6
4.3 Leche.....	7
4.3.1. Composición de la leche.....	8
4.4 Contaminantes de la leche.....	9
4.4.1 Contaminantes químicos.....	9
4.4.2 Pesticidas organoclorados.....	9
4.5 Contaminación por metales pesados.....	10
4.5.1 Definición.....	10
4.5.2 Arsénico.....	10
4.5.2.1 Efectos del arsénico sobre la salud humana.....	10
4.5.3 Plomo.....	12
4.5.3.1 Efectos del plomo sobre la salud humana.....	12
4.5.4 Litio.....	14
4.5.4.1 Toxicidad del litio.....	14
4.5.4.2 Efectos secundarios del litio.....	15
4.6 Metales pesados en leche.....	15
4.6.1 Transferencia de metales pesados a la leche.....	15
4.6.2 Formas de ingestión de metales pesados.....	16

4.7 QUESO.....	17
4.7.1 Generalidades del queso.....	17
4.7.2 Procesos de elaboración del queso.....	17
4.7.2.1 Aspectos para la elaboración de queso.....	17
4.7.4 Importancia del queso en la alimentación.....	18
4.7.5 Metales pesados en queso.....	19
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1 Ubicación de la zona de muestreo.....	20
5.2 Clima.....	21
5.4 Desarrollo del trabajo de investigación.....	21
5.4.1 Toma de muestras.....	21
5.4.1.1 Leche.....	21
5.4.1.2 Suero y cuajo.....	22
5.4.1.3 Quesos.....	22
5.4.2 Liofilización.....	23
5.4.3 Digestión.....	23
5.4.4 Determinación de los elementos.....	24
5.5 Variables a evaluar.....	25
5.3 Diseño experimental.....	26
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
VII. CONCLUSIONES.....	34
VIII. LITERATURA CITADA.....	35
IX. ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Producción nacional de leche de bovino (2005-2014).	6
Cuadro 2. Principales variedades producidas de queso (2010-2015).	7
Cuadro 3. Composición de la leche (%) de diferentes especies.	8
Cuadro 4. Problemas de salud asociadas con la ingesta de Arsénico.	11
Cuadro 5. Efectos del plomo sobre la salud humana.	13
Cuadro 6. Efectos tóxicos del litio en la salud humana.	14
Cuadro 7. Diferente contenido de metales pesados en diferentes variedades de queso.	19
Cuadro 8. Estándares de calibración del equipo utilizado.	25
Cuadro 9. Contenido de metales pesados en leche cruda producida en 7 localidades del estado de Puebla.	27
Cuadro 10. Comparación de diferentes etapas del proceso de diferentes tipos de quesos (mg Kg ⁻¹).	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Principales productores de leche en el 2013 a nivel mundial. Fuente: SIAP con información de FAOSTAT, 2014.	5
Figura 2. Ubicación de la unidad experimental.....	20
Figura 3. Contenido de arsénico (As) mg kg ⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y rancharo. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significa Tukey ($\alpha=0.05$).....	29
Figura 4. Contenido de plomo (Pb) mg kg ⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y rancharo. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significa Tukey ($\alpha=0.05$).....	30
Figura 5. Contenido de litio (Li) mg kg ⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y rancharo. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significa Tukey ($\alpha=0.05$).....	32

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido de Plomo (Pb), Arsénico (As) y Litio (Li) en leche cruda, cuajada, suero, quesos tipo Oaxaca y rancharo en el poblado de Santa Ana Xalmimilulco, Puebla. La determinación fue realizada por medio de un ICP - OES. Para ello se muestro la leche de 5 diferentes rutas de abastecimiento. La leche muestra valores de As (0.12 mg Kg^{-1}), Pb (0.03 mg Kg^{-1}) y Li (0.21 mg Kg^{-1}). El Pb se encontró por encima del límite establecido por el Codex. El Pb y As están por debajo de la norma mexicana. Los quesos muestran una mayor concentración en comparación con la leche, donde sus valores representan que a mayor contenido de proteína, la concentración de los metales aumentaba. Se mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) durante el proceso de producción de quesos. Para As se encontraron valores en mg Kg^{-1} de (0.07, 0.58, 0.17, 0.16), para Pb (0.016, 0.074, 0.054, 0.10) Y para Li (0.206, 0.298, 0.311, 0.645) en cuajo, suero, quesillo y queso rancharo respectivamente. Se concluye que la leche puede representar un riesgo para la salud de los consumidores, sin embargo, los quesos aparentemente no son un riesgo, probablemente debido a que el consumo en México es bajo.

Palabras clave: leche cruda, quesos, metales pesados, leche contaminada.

ABSTRAC

The objective of this work was to determine the content of Lead (Pb), Arsenic (As) and Lithium (Li) in raw milk, curdled milk, whey, Oaxaca and rancho type cheese in the town of Santa Ana Xalmimilulco, Puebla. The determination was made by an ICP - OES. To do this, milk is shown from 5 different supply routes. The milk showed values of As (0.12 mg kg^{-1}), Pb (0.03 mg kg^{-1}) and Li (0.21 mg kg^{-1}). The Pb was above the limit established by the Codex. The Pb and As are below the Mexican norm. Cheeses show a higher concentration compared to milk, where their values represent that at higher protein content, the concentration of the metals increased. There were significant differences ($p < 0.05$) during the cheese production process. For As, we found values in mg kg^{-1} of (0.07, 0.58, 0.17, 0.16), for Pb (0.016, 0.074, 0.054, 0.10) and for Li (0.206, 0.298, 0.311, 0.645) in rennet, And rancho cheese respectively. It is concluded that milk may pose a risk to the health of consumers, however, cheeses apparently are not a risk, probably because consumption in Mexico is low.

Keywords: raw milk, cheese, heavy metals, contaminated milk.

I. INTRODUCCIÓN

La leche y sus derivados son productos básicos en la dieta humana (Pattnaik *et al.*, 2007. De manera particular el queso, es un derivado que hace importantes aportes de proteínas, grasas, calcio y diversos micronutrientes entre ellos la riboflavina (Scott, 1981; Yuzbası *et al.*, 2003). Sin embargo, en ciertas regiones donde la leche procede de vacas alimentadas con forrajes irrigados con aguas residuales, el queso puede contener sustancias que ponen en riesgo la salud pública.

Ha sido largamente documentado que las aguas residuales conducen diversos contaminantes, que al ser estas utilizadas para irrigación, dichos compuestos pueden acumularse en el suelo y ser absorbidos por los forrajes; de esta manera, son ingeridos por las vacas y eyectados en la leche (Devkota y Schmidt, 2000; Frost y Ketchum, 2000; Bourrelier *et al.*, 1998. Entre estos contaminantes, los metales pesados que provienen de las descargas efectuadas por la industria, la vivienda, la esorrentía urbana y las actividades agrícolas (Silk y Ciruna, 2004; Garau *et al.*, 2007; Kumpiene *et al.*, 2008), tienen un alto grado de toxicidad.

Los metales pesados como el plomo (Pb) y arsénico (As) son extremadamente tóxicos, afectando en mayor medida a los niños, aunque también en los adultos pueden ocasionar trastornos importantes (Tripathi *et al.*, 1999). Al respecto, Salma *et al.* (2000) determinaron que la ingesta regular de pequeñas cantidades de Pb puede causar efectos graves en la salud de los niños, provocando retraso mental; Por otra parte, la IARC (2009) clasifica al As y sus compuestos como carcinógenos, pues la exposición dérmica, la inhalación e ingestión, causa cáncer de pulmón. El litio (Li) por su parte,

se usa en ingestas bajas para tratamiento de trastornos mentales (Müller-Oerlinghausen y Lewitzka, 2010); sin embargo, cuando se ingiere en cantidades excesivas o en pequeñas cantidades de manera crónica, afecta el tracto gastrointestinal, el sistema nervioso central (SNC) y los riñones (Bernard, 2015).

Además del origen de la leche y su proceso de producción, existen otros factores como las prácticas y los equipos utilizados en el proceso de la elaboración del queso, que posibilitan su contaminación. Lo anterior fue demostrado por Moreno Rojas *et al.* (1994) y Yuzbası *et al.* (2003) que encontraron importantes concentraciones de Cd y Pb, atribuidos a los procesos e instrumentos de elaboración.

La comunidad de Santa Ana Xalmimilulco, perteneciente a Huejotzingo, Pue., se distingue por ser productora de quesos y la leche utilizada para elaborarlos es acaparada proviene de comunidades aledañas al municipio. La alimentación de las vacas se sustenta en el uso de alfalfa y maíz forrajero, producidos en pequeñas áreas, que son irrigadas con aguas residuales procedentes principalmente de la industria textil y química.

Con base a lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue determinar el contenido de Li, Pb y As en leche y su transferencia durante el proceso de elaboración de queso en el poblado de Santa Ana Xalmimilulco, en el estado de Puebla.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar el contenido de Li, Pb y As en leche cruda, por cada una de las rutas de acopio, así como la presencia de los mismos durante el proceso de elaboración de queso en el poblado de Santa Anna Xalmimilulco.

2.2 Objetivos específico

- Determinar que ruta de acopio de leche presenta mayor contenido de metales pesados.
- Determinar si el proceso de transformación de la leche a queso tiene un efecto sobre el contenido de Li, Pb y As en el contenido final de queso tipo hebra y rancho.
- Comparar el contenido de metales con la norma mexicana e internacional.

III. HIPÓTESIS

- La leche y el queso producido en el poblado de Santa Ana Xalmimilulco en el estado de Puebla, presentaran niveles de Li, Pb y As que superen los valores permitidos por las normas internacionales y nacional.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Producción de leche a nivel mundial

Hasta el 2013, los EUA, son el principal productor de leche a nivel mundial, con un total de 91,271 millones de toneladas, seguida de la India con un total de 60,600 millones de toneladas. México, ocupó el 13° lugar con un total de 9,600 millones de toneladas, esto quiere decir que, por cada 100 litros de leche producidos en el mundo, dos los aporta México. Los principales productores de leche a nivel mundial se enlistan en la Figura 1.

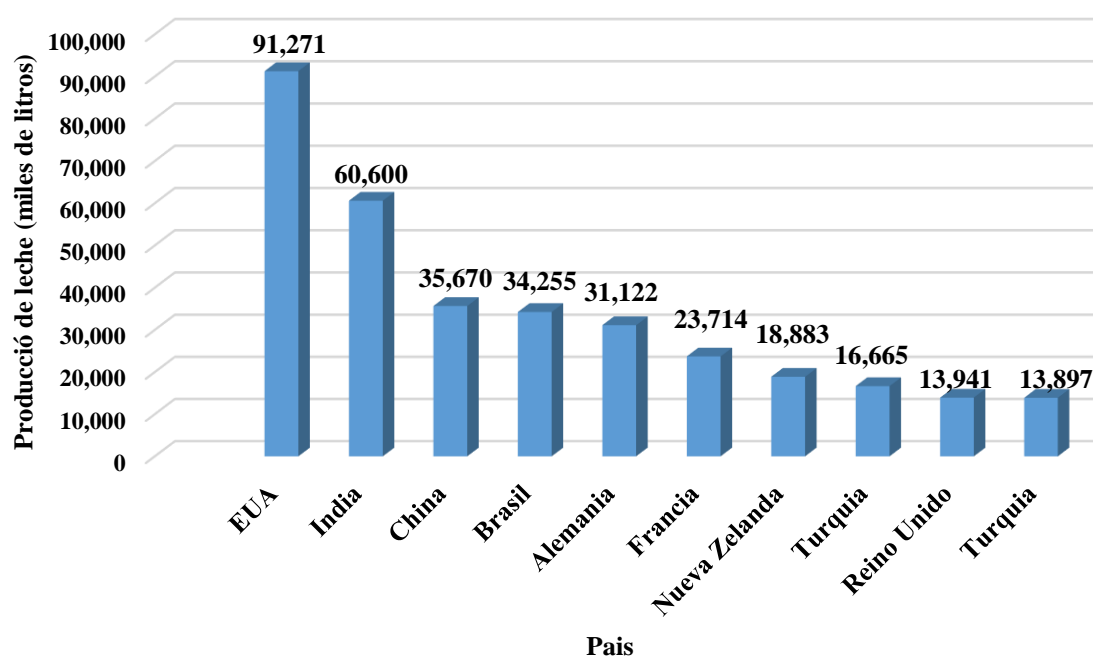


Figura 1. Principales productores de leche en el 2013

a nivel mundial. Fuente: SIAP con información de FAOSTAT, 2014.

4.1.1 Producción nacional de leche

Entre los años 2005 y 2014 la producción nacional de leche (Cuadro 1) pasó de 9, 868,302 a 11, 129,918 millones de litros al año, lo que representó un crecimiento a una tasa anual promedio de 1.5%. Cabe señalar, que la producción nacional mantiene una tendencia de crecimiento; no obstante, a pesar del crecimiento sostenido sólo contribuye a cubrir alrededor del 80% del consumo nacional.

Cuadro 1. Producción nacional de leche de bovino (2005-2014)

Año	Producción	Crecimiento anual (%)
2014	11,129,918	1.5
2013	10,956,629	0.8
2012	10,880,870	1.5
2011	10,724,288	0.4
2010	10,676,692	1.2
2009	10,549,037	2.4
2008	10,589,481	2.4
2007	10,345,982	2.6
2006	10,088,550	2.2
2005	9,868,302	0.0

Fuente: SIAP (2015).

4.2 Producción nacional de queso

Al concluir el mes de febrero de 2015, la elaboración de subproductos lácteos como quesos, crema y yogurt, alcanzó un volumen de 176 mil 813 toneladas, con un valor de 5 mil 605 millones de pesos (MDP). Por su parte, la industria de quesos produjo 56 mil 819 toneladas con un valor en el mercado de 2 mil 531 millones de pesos. Las principales variedades de queso

fueron: fresco (18 %), panela (15 %) y amarillo con un 14 %. Los resultados se enlistan en el Cuadro siguiente.

Cuadro 2. Principales variedades producidas de queso (2010-2015).

Año\ mes	QUESO				
	Amarillo	Chihuahua	Fresco	Panela	Total (otros)
2015	8,156	7,107	9,984	8,342	56,819
Enero	4,297	3,800	5,106	4,157	29,350
Febrero	3,877	3,307	4,878	4,185	27,469
2014	48,049	39,712	60,913	53,315	342,870
2013	45,750	36,939	56,095	53,799	315,555
2012	45,750	34,510	47,250	43,234	292,551
2011	46,563	33,070	41,292	41,740	275,411
2010	45,598	29,996	46,820	26,668	275,293

Fuente: SIAP-SAGARPA (2015).

4.3 Leche

La leche es un líquido secretado por la hembra (mamíferos) para la nutrición de sus hijos. La Comisión del Codex Alimentarius (CAC, 1999) define la leche como la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenida mediante uno o más ordeños sin ningún tipo de adición de otra sustancia, destinada al consumo como leche líquida o sus derivados.

La leche es una mezcla estable de grasa, proteínas y otros sólidos suspendidos en agua. Las micelas de caseína y los glóbulos de grasa le otorgan a la leche la mayoría de las características físicas (estructura y color) que se ven en los productos lácteos. La composición de la leche varía

considerablemente con la raza de la vaca, estado de lactancia, alimentación y época del año. Aun así, algunas de las relaciones entre los constituyentes son muy estables y pueden ser utilizadas para indicar si se ha realizado algún tipo de adulteración en la composición de la leche. La leche es un producto extremadamente perecedero y las temperaturas extremas, acidez (pH) o degradación por microorganismos pueden cambiar sus características rápidamente (UGRJ, 2015).

4.3.1. Composición de la leche

Los principales componentes de la leche son comunes en la mayoría de los mamíferos, pero las cantidades en las que se presentan pueden variar, como se enlistan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de la leche (%) de diferentes especies

Especie	Sólidos totales	Grasa	Proteína	Lactosa	minerales
Humano	12.2	3.8	1	7	0.2
Vaca	12.7	3.7	3.4	4.8	0.7
Búfalo	16.8	7.4	3.8	4.8	0.8
Cabra	12.3	4.5	2.9	4.1	0.8
Oveja	19.3	7.4	4.5	4.8	1

Fuente: Fox, 2011.

La leche proporciona nutrientes esenciales y es una fuente importante de energía alimentaria, proteínas de alta calidad y grasas. La leche puede contribuir considerablemente a la ingestión necesaria de nutrientes como el calcio, magnesio, selenio, riboflavina, vitamina B12 y ácido pantoténico. La leche y los productos lácteos son alimentos ricos en nutrientes y su consumo puede hacer más diversa las dietas basadas principalmente en el consumo de vegetales. La especie del animal lechero, su raza, edad y dieta, junto con el estado de

lactancia, el número de pariciones, el sistema agrícola, el entorno físico y la estación del año, influyen en el color, sabor y composición de la leche (FAO, 2016).

4.4 Contaminantes de la leche

4.4.1 Contaminantes químicos

Antes de llegar a los consumidores, la leche pasa a través de la producción, el procesamiento y el embalaje. Cada paso implica factores que pueden afectar la calidad de la leche, tales como la contaminación química (Xu Fei *et al.*, 2015).

Los contaminantes químicos potenciales de los productos lácteos incluyen medicamentos, antibióticos, pesticidas, metales pesados, micotoxinas, contaminantes orgánicos, radionucleidos, nitratos o nitritos, así como los contaminantes de embalaje y adulterantes (Griffiths, 2010). El origen de este problema son tierras de cultivo contaminado con medicamentos, la contaminación del forraje, contaminación del agua potable, así como la contaminación del transporte y procesamiento.

4.4.2 Pesticidas organoclorados

Los pesticidas organoclorados se acumulan en el medio ambiente y también en los tejidos grasos de los animales y pueden alcanzar niveles de exposición tóxicos en los seres vivos y, más tarde producir toxicidad secundaria por su presencia en la carne o leche. Estos pesticidas se acumulan cuando una vaca consume alimentos o heno contaminado con dichos productos, y son acumulados o almacenados en los tejidos del cuerpo. Los pesticidas se excretan con la grasa en la leche del animal, lo que resulta en la contaminación gradual de los

productos lácteos (Willes *et al.*, 1993; Bentabol y Jordal, 1995).

4.5 Contaminación por metales pesados

4.5.1 Definición

Se define como "metal pesado" a elementos (metales y metaloides), que son tóxicos y tienen una densidad atómica superior a 6 g cm³. Este grupo incluye tanto elementos biológicamente esenciales tales como cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), manganeso (Mn), y zinc (Zn) y los elementos no esenciales tales como el cadmio (Cd), plomo (Pb), y mercurio (Hg). El arsénico (As), boro (B), y el selenio (Se) se suelen incluir en este grupo a pesar de que son los elementos más ligeros (Pinto *et al.*, 2015).

4.5.2 Arsénico

Al arsénico se le considera como uno de los 10 elementos químicos de mayor preocupación para la salud pública y sus efectos graves para la salud se han reportado en poblaciones de diferentes partes del mundo, como Taiwán, México, Chile, Argentina, Tailandia, E.U.A, Canadá, Hungría, Japón, Bangladesh y la India (De Chaudhuri *et al.*, 2008), donde los niveles de arsénico encontrados en el agua superan a el nivel permitido por la OMS que es de 10 µg L⁻¹ (OMS, 2010).

4.5.2.1 Efectos del arsénico sobre la salud humana

La agencia para el registro de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR) clasifica al arsénico y compuestos de arsénico como carcinógenos a nivel pulmonar del Grupo 1, pues la inhalación e ingestión causan cáncer de pulmón en los seres humanos (ATSDR, 2009).

La exposición crónica da lugar a una serie de problemas de salud, incluyendo cáncer de riñón, vejiga, piel y pulmón, y enfermedades no cancerosas como cardiovasculares, neuropatía periférica y enfermedad pulmonar obstructiva (Cuadro 4).

Cuadro 4. Problemas de salud asociadas con la ingesta de Arsénico

APARATO/ ÓRGANO	SISTEMA/ PROBLEMAS A LA SALUD	REFERENCIA
Sistema cardiovascular	Hipertensión, Aterosclerosis carotídea, Enfermedad isquémica del corazón, Enfermedades vasculares	Srivastava <i>et al.</i> , 2009.
Sistema nervioso	Alteraciones neuroconductuales, Encefalopatías, Neuropatía periférica, Delirio	Vahidnia <i>et al.</i> , 2007.
Pulmones	Cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva, enfermedad pulmonar intersticial, bronquiectasia	Guo <i>et al.</i> , 2004; Mazumder, 2007.
Hígado	Daño hepático, cirrosis,	Guha, 2001.
Aparato digestivo	Irritación gastrointestinal, lesiones hemorrágicas gastrointestinales.	Jomova <i>et al.</i> , 2011.
Riñón	Cáncer de riñón	Hopenhayn-Rich <i>et al.</i> , 1998.
Vejiga	Cáncer de vejiga	Moore <i>et al.</i> , 2002.
Piel	Cáncer de piel, hiperpigmentación, hiperqueratosis	Maloney, 1996.

Adaptada por Sun *et al.*, 2016.

Como la ha reportado Concha *et al.* (1998) el arsénico pasa fácilmente la placenta y estudios recientes indican efectos adversos del arsénico sobre el desarrollo del embarazo (Yang *et al.*, 2003; Milton *et al.*, 2005; Rahman *et al.*, 2007). Y también tiene complicaciones adversas la exposición de arsénico en el desarrollo de los niños (Wasserman *et al.*, 2007; von Ehrenstein *et al.*, 2007).

Otra de las principales consecuencias del consumo de arsénico crónica es la queratosis, que es considerada como un posible estado precanceroso de piel y puede progresar a la enfermedad de Bowen (ATDSR, 1990). Además de las lesiones de la piel, la ingestión prolongada de arsénico también conduce a la acumulación en el hígado, los riñones, el corazón, los pulmones y en menores cantidades en los músculos, sistema nervioso, tracto gastrointestinal y el bazo (Benramdane *et al.*, 1999).

4.5.3 Plomo

El plomo es un contaminante ambiental muy conocido, que puede afectar a casi todos los sistemas en el cuerpo (He *et al.*, 2009). El plomo es un metal pesado altamente tóxico que está expuesto al ambiente principalmente por las actividades antropogénicas, como la minería, industria y la quema de combustibles fósiles (Sanders *et al.*, 2009).

4.5.3.1 Efectos del plomo sobre la salud humana

Los efectos tóxicos de plomo incluyen neurotoxicidad, problemas en el desarrollo, la reproducción, hematológicos y efectos cardiovasculares (Gidlow, 2004; Weaver *et al.*, 2005; Martin *et al.*, 2006; Sanders *et al.*, 2009). El sistema más sensible a la toxicidad del plomo es el nervioso, que puede

provocar trastornos neurocognitivos y de conducta, y estas lesiones son irreversibles y pueden causar daños permanentes en los nervios (Ye *et al.*, 2007; He *et al.*, 2009).

En comparación con los adultos, los niños son más vulnerables al envenenamiento por plomo y más sensibles a los efectos del plomo debido a una mayor absorción (Koller *et al.*, 2004). Un resumen de los daños por plomo se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Efectos del plomo sobre la salud humana

SISTEMA/ APARATO/ÓRGANO	EFEECTO
Nervioso	Encefalopatías, síntomas leves cognitivos, Síntomas neurofisiológicos, Variabilidad del ritmo cardiaco
Hematopoyético	Anemia, disminución de la concentración de hemoglobina.
Inmune	Depresión
Cardiovascular	Fallo en la regulación de la presión sanguínea, variabilidad del ritmo cardiaco.
Endócrino	Descontrol en el eje hipotálamo-tiroides-hipófisis-glándulas suprarrenales.
Riñones	Fallo en el tubo renal y glomerular
Pulmón	Cáncer
Aparato reproductor femenino	Aborto, desbalance del crecimiento fetal.
Masculino	Infertilidad

Fuente: Adaptado Skerfving y Bergdahl, 2015.

4.5.4 Litio

El Li, es ampliamente utilizado para el tratamiento de pacientes con trastornos afectivos bipolares, pues es una enfermedad bastante frecuente en la población mundial, con una prevalencia del 1% (Timmer y Sands, 1999).

4.5.4.1 Toxicidad del litio

La ingestión accidental o intencional de cantidades excesivas de litio, puede generar diversos trastornos en la salud de los seres humanos, como se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Efectos tóxicos del litio en la salud humana

Sistema, aparato u órgano	Efecto	Referencia
SNC	Confusión, letargo, convulsiones y coma (síndrome de Neurotoxicidad efectiva de litio irreversible)	Adityanjee <i>et al.</i> , 2005
Musculo	Temblor y espasmos musculares	Chan <i>et al.</i> , 2012
Renal	Poliuria e insuficiencia renal	Adityanjee <i>et al.</i> , 2005).
Endócrino	Bocio, hipotiroidismo	Nishikawa <i>et al.</i> , 2012
Cardiovascular	Arritmia	Prencipe <i>et al.</i> , 2013
Piel	Psoriasis, dermatitis y edemas	Wakelin <i>et al.</i> , 1996
Ojos	Lagrimeo, nistagmo, papilédema	Ullrich <i>et al.</i> , 1985)

4.5.4.2 Efectos secundarios del litio

El tratamiento prenatal con Li puede representar un riesgo teratogénico para el feto en desarrollo, principalmente se presenta un mayor riesgo de deformación cardiovascular (anomalía de Ebstein) cuando la exposición ocurre durante el primer trimestre del embarazo (Cohen *et al.*, 1994).

Kozma, 2005 demostró que la exposición del Li durante la vida neonatal, puede causar déficit neurológico y una disfunción neurológica en el recién nacido.

4.6 Metales pesados en leche

Los metales pesados en la leche de vaca son de interés debido a su naturaleza esencial o tóxica. Por ejemplo, Cr y Mn son esenciales, pero pueden llegar a ser tóxicos en niveles más altos, mientras que Pb y Cd son tóxicos y pueden ser acumulativos (Onianwa *et al.*, 1999; Martino *et al.*, 2000).

4.6.1 Transferencia de metales pesados a la leche

Los suelos irrigados con aguas residuales tienden a acumularse metales pesados como el Cr, As, Pb, Cd, Ni, etc. en la superficie del suelo, y cuando la capacidad del suelo para retener metales pesados se reduce debido a la aplicación repetida de las aguas residuales, pasan a ser absorbidos por la planta. El contenido de metales pesados en las plantas también puede verse afectada por otros factores tales como la aplicación de fertilizantes, y el riego continuo de estas aguas (Mangwayana, 1995; Devkota y Schmidt, 2000; Frost y Ketchum, 2000).

Los rumiantes están expuestos durante el pastoreo (Laurent *et al.*, 2005) y también por la ingestión de suelo a partir de

capas de superficie, que contiene generalmente las concentraciones más altas de metales pesados (Alloway, 1995; Sterckeman *et al.*, 2000).

La absorción, depende del metal considerado y se lleva a cabo por difusión pasiva o transporte activo (USEPA, 2003). Los metales pesados son distribuidos por la sangre a través de metaloproteínas a los diferentes tejidos (Bourrelrier *et al.*, 1998), y muestran variaciones significativas en función de diversos factores (por ejemplo, la especie, la edad del individuo, la especiación del metal, estado fisiológico).

Las diferentes vías de excreción del animal son la orina, heces y la leche (Laurent *et al.*, 2005). La transferencia de los metales pesados a la leche es muy variable, en particular para los factores relacionados con la secreción de la glándula mamaria (por ejemplo, etapa de lactancia, raza de ganado). Mientras que algunos elementos son esenciales como cobre y zinc a dosis bajas, otros son tóxicos como cadmio y plomo (Sola y Navarro, 2009).

4.6.2 Formas de ingestión de metales pesados

Los metales pesados entran en el cuerpo humano por inhalación e ingestión. La ingestión depende, en gran manera, de los hábitos alimenticios (Tripathi, *et al.*, 1999).

Xian (1989) demostró que los metales pesados son potencialmente tóxicos a los cultivos, los animales y los seres humanos cuando se usan suelos contaminados para la producción de cultivos. Los metales pesados pueden entrar en el cuerpo humano a través de la inhalación de polvo, el consumo de agua potable contaminada, ingestión directa del suelo y el consumo

de alimentos de las plantas que crecen en suelos contaminados (Cambra *et al.*, 1999; Dudka y Miller, 1999).

4.7 QUESO

4.7.1 Generalidades del queso

Los ingredientes esenciales en la fabricación de queso son la leche y un coagulante de proteínas como el cuajo y/o ácido (ácido acético) dependiendo del tipo de queso. Cuando el cuajo y/o ácido se combinan con la leche, las proteínas de la leche se precipitan y finalmente se transforma de leche líquida a un gel semi compreso. Cuando este gel se corta en pequeños trozos (cuajada), el suero (principalmente compuesto por agua, proteínas y lactosa) empieza a separarse de la cuajada. La cuajada, mediante diversos procedimientos de fabricación se utiliza para producir diferentes variedades de queso (Hill and Prashanti, 2013).

4.7.2 Procesos de elaboración del queso

4.7.2.1 Aspectos para la elaboración de queso

Para obtener la calidad deseada, los puntos principales son la acidez (pH), contenido de grasas, proteínas y minerales (especialmente calcio) de la leche, así como establecer una estructura correcta del queso a nivel microscópico, visual y a dejar madurar el queso para obtener sabor y la textura deseada. (Adda *et al.*, 1982; Green y Manning, 1982; Lawrence *et al.*, 1984).

El queso principalmente es un concentrado de proteína de la leche (caseína) y grasa. Las diferentes técnicas de fabricación de queso se concentran en la eliminación de agua

en leche mediante la inducción de la sinéresis. La sinéresis se refiere a la contracción de la red de las proteínas, por consiguiente, se expulsa el agua (suero de leche) a partir de la cuajada. La contracción de las paredes de las proteínas se debe principalmente a un aumento de las interacciones hidrófobas, que se ven reforzados por un aumento de la temperatura hasta un máximo en alrededor de 80° C. El suero de leche contiene lactosa, proteínas de suero, ácido láctico, y algunos minerales. El contenido de humedad influye en el pH final de queso, ya que determina la cantidad de lactosa residual fermentable en el queso y a su vez el pH influye en la humedad del queso al afectar la velocidad y grado de sinéresis (Horne y Banks, 2004).

4.7.4 Importancia del queso en la alimentación

El queso es una rica fuente de nutrientes esenciales, en particular proteínas, grasas, vitaminas y minerales. Además de su función nutricional, los componentes del queso también han demostrado ejercer importantes beneficios para la salud (Walther *et al.*, 2008).

El calcio, es un mineral presente en los quesos, ha demostrado tener un efecto positivo en diversos trastornos como la osteoporosis (Heaney, 2000) y la caries dental (Kato *et al.*, 2002). En el queso están presentes algunos ácidos grasos, como el ácido linoleico conjugado, que se ha demostrado tener propiedades anticarcinógenas y antiaterogénicas (Lee *et al.*, 2005; Battacharaya *et al.*, 2006).

Los péptidos bioactivos también están presentes en el queso y estos producen durante la maduración del queso, donde la caseína se descompone mediante proteasas y peptídicas de la leche, el cuajo, el cultivo inicial y la flora microbiana

secundaria. Algunos de los péptidos generados pueden sobrevivir a la digestión gastrointestinal o servir como precursores de la forma peptídica final, que es responsable de una amplia gama de actividades biológicas (López *et al.*, 2012).

4.7.5 Metales pesados en queso

Hasta el momento son pocos los estudios que se han realizado sobre la determinación de metales pesados en queso a nivel internacional. En México es nula la información sobre este tema. En el Cuadro 5 se presenta una comparación de los resultados de algunos estudios obtenidos por diferentes autores.

Cuadro 7. Diferente contenido de metales pesados en diferentes variedades de queso.

Tipo de queso	Cd	Pb	Referencia
Comte	1.3 ng g ⁻¹	0.047 µg g ⁻¹ ^a	Maas <i>et al.</i> , 2011
Crescenza	0	0.06 ± 0.02 mg 100 g ^b	Lante <i>et al.</i> , 2006.
Squacqueron	0	0.06 ± 0.01 mg 100 g ⁻¹ ^b	
White cheese	-	0.31±0.03 µg g ⁻¹ 1	

^a: peso seco

^b: peso en fresco

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación de la zona de muestreo

Santa Ana Xalmimilulco (Figura 2), se ubica en el municipio de Huejotzingo en el estado de Puebla en las coordenadas geográficas latitud 19.211944 y longitud -98.383056 a una altura de 2220 msnm.

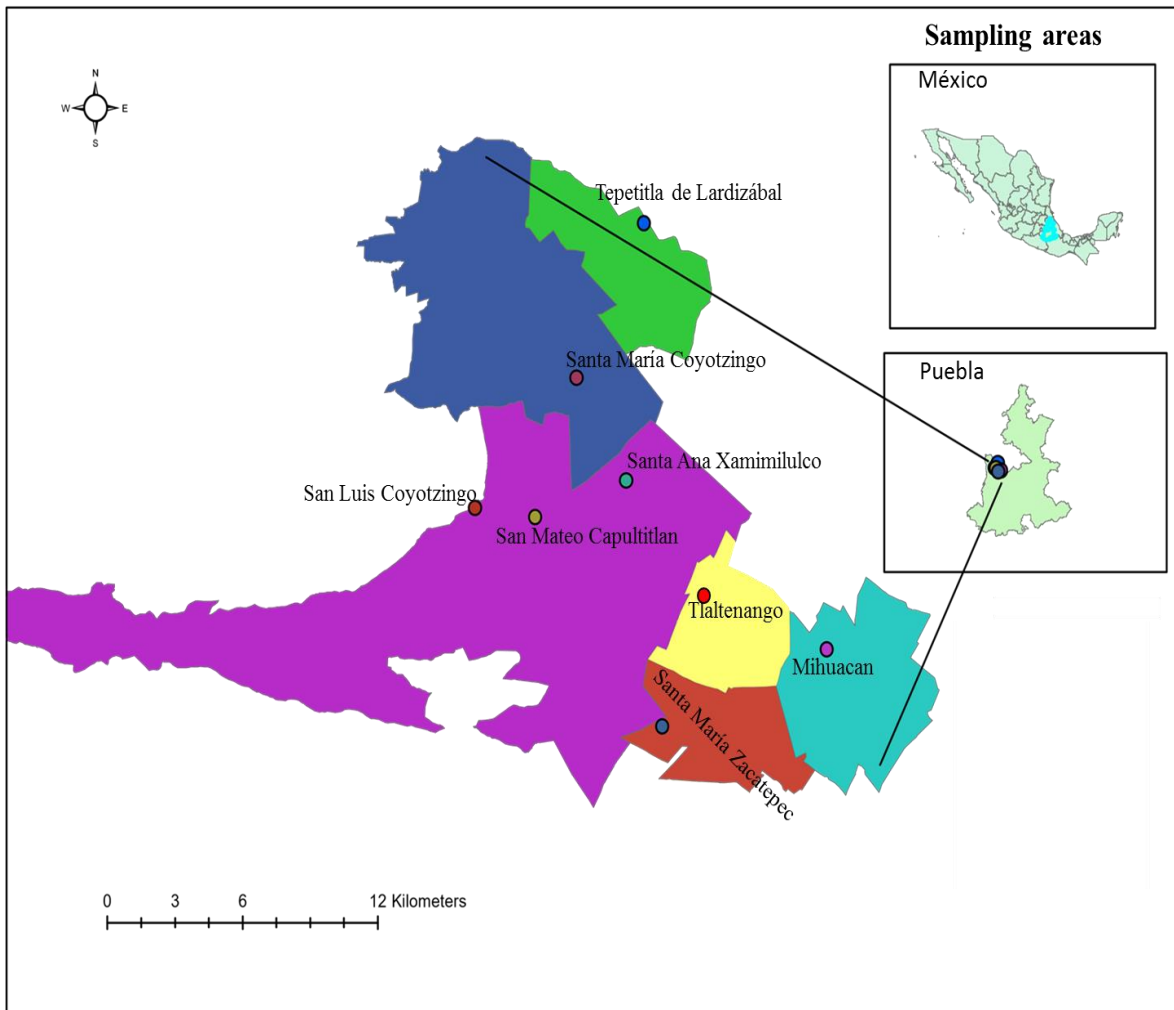


Figura 2. Ubicación de la zona de muestreo

5.2 Clima

En el municipio se presenta la transición climática de los templados del valle de Puebla, a los ríos de las cumbres altas de la sierra, pasando por los semifríos; se identifican tres climas: clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Es el clima predominante sobre todo en la zona correspondiente al Valle. Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Se presenta en las faldas inferiores de la sierra, al poniente. Clima frío. Se identifica en las partes más altas del Volcán Iztaccíhuatl (IFADED, 2014).

5.4 Desarrollo del trabajo de investigación

5.4.1 Toma de muestras

5.4.1.1 Leche

La recolección de leche se realiza en cinco rutas y quedan de la siguiente manera:

R1: Santa Anna Xalmimilulco (36 productores)

R2: Miguacan, Tlaltenango, y Santa clara (33 productores)

R3: Santa Ana Xalmimilulco, San Mateo Capultitlan, y San Luis Coyotzingo (42 productores)

R4: Tlaltenango (31 productores)

R5: Santa Anna Xalmimilulco (33 productores)

En total, al día se recogen aproximadamente 15,000 litros entre las cinco rutas. La mayoría de la leche proviene de pequeños productores donde La base de la alimentación del ganado es la alfalfa.

El muestreo fue realizado por las mañanas tomando un litro de cada tambo ingresado de cada ruta, para formar una muestra compuesta por triplicado. La toma de muestras fue realizada en la época de lluvias y tomando en consideración las rutas de recolección de la leche por parte del acopiador.

En total son cinco rutas de recolección de leche y se hizo una muestra compuesta por cada ruta tomando un litro de leche por cada tambo de 200 litros. Una vez que se tiene toda la leche recolectada, solo se tomaron tres repeticiones de 50 mL cada una en tubos falcón previamente lavados con HNO_3 para evitar una contaminación de la muestra. Dichas muestras fueron homogenizadas y congeladas a $-80\text{ }^\circ\text{C}$.

5.4.1.2 Suero y cuajo

Se hizo una muestra compuesta al finalizar todo el proceso de temperatura, amasado, picado y maduración. Las muestras se tomaron en tubos Falcon de 50 ml. Se tomaron tres repeticiones y se les tomo su peso.

Para el suero se usó el mismo patrón, y se tomaron 50 ml en tubos falcón antes de entrar al proceso de queso ranchero.

5.4.1.3 Quesos

Las muestras de quesillo se recolectaron haciendo una muestra compuesta, tomando cinco cm aproximadamente de quesillo al principio, en medio y al final de todas las tiras que iban saliendo. Recolectadas todas las submuestras, se deshebraron, se llenaron los tubos hasta el máximo, se cerraron los tubos y se les tomo su peso.

Para las muestras de queso ranchero, se tomaron 50 g de muestra por cada tina de queso elaborada. Una vez reunidas

todas las submuestras, se tomaron tres repeticiones en tubos falcón de 50 ml. Se llenaron hasta el máximo y se les tomo su peso.

Todas las muestras anteriormente mencionadas fueron congeladas a -80°C y después se liofilizaron en una maquina Labcomco 4.5 frizone hasta tener un peso constante de las muestras. Por lo general las muestras de leche duraron 72 h en ser secadas, las muestras de suero tardaron 120 h, y las de cuajada, quesillo y queso rancho tardaron 72 h a una presión de 0.008 Bar.

5.4.2 Liofilización

Previamente las muestras de leche, cuajo, suero, quesillo y queso tipo rancho fueron congeladas a -80°C en una ultracongeladora marca THERMO 8800. Todas las muestras recolectadas, se liofilizaron en una maquina marca Labcomco 4.5. Se consideró una muestra correcta, cuando esta mantenía un peso constante. La liofilizadora se programó a una temperatura de -49°C y a una presión de 0.008 BAR.

5.4.3 Digestión

Las muestras liofilizadas de la leche, cuajada, suero y los quesos se digirieron en un microondas (CEM MarsX, CEM Corporation, Mathews, North Carolina). Para ello, se pesaron 0.5 g de cada una de las muestras liofilizadas y se le agregó 10 mL de HNO_3 High purity HNO_3 (65%, Suprapur, Merck, Darmstadt, Germany), colocándolas en el microondas a una potencia de 1600 W, 15 minutos de rampa a una presión de 800 psi y 200°C de temperatura con una espera de 15 minutos. Al terminar la digestión, las muestras fueron filtradas en papel Wathman 42,

aforadas a 50 ml con agua desionizada y refrigeradas hasta su análisis.

5.4.4 Determinación de los elementos

Se determinó Pb, As y Li por medio de espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP - OES, Varian 730 - ES). Todos los productos químicos utilizados fueron de grado reactivo analítico. Se prepararon las soluciones en agua desionizada $18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$. Los estándares de calibración para cada metal fueron preparados utilizando solución patrón ICP multielemento standard XVI, compuesta de 21 elementos en HNO_3 Suprapuro 6%, con densidad de 1.032 g/cm^3 y 20°C de Merck KGaA, Frankfurter Str. 250, 64293 Darmstadt, Germany.

Los niveles de precisión y exactitud se realizaron con cinco blancos con diez repeticiones. El control de calidad se realizó utilizando un estándar de control y una muestra de control, que se utilizaron en cada 20 muestras analizadas. El valor de recuperación analítica se determina en un 102% en promedio, el coeficiente de correlación (r^2) fue 0,9999. La longitud de onda para Pb, As y Li fue de 220.353, 188.980 y 460.289, respectivamente. Los límites de detección y los límites de cuantificación (LOD - LOQ) se calcularon con tres y diez veces la desviación estándar del blanco dividido por la pendiente de la curva analítica, respectivamente, lo que nos permite determinar los elementos menores y los oligoelementos en la muestra (Khan et al., 2014).

5.5 Variables

- Contenido de Pb, As y Li en la leche procedente de vacas alimentadas con forrajes irrigados con aguas residuales
- Contenido de Pb, As y Li en queso tipo hebra durante el proceso de elaboración (cuajo, maduración).
- Contenido de Pb, As y Li en queso tipo rancharo durante el proceso de elaboración (suero, maduración).

Cuadro 8. Estándares de calibración del equipo utilizado.

Matriz	Elemento	%RSD	LOD	LOQ	r^2	VR
Leche	As	26.9	0.006	0.002	0.9993	102
	Pb	10.559	0.006	0.002	0.9995	102
	Li	-	0.0003	0.001	0.9996	102
Cuajo	As	26.9	0.006	0.002	0.9998	102
	Pb	10.559	0.006	0.002	0.9999	102
	Li	-	0.003	0.010	0.9995	102
Suero	As	26.9	0.006	0.002	0.9998	102
	Pb	10.559	0.006	0.002	0.9999	102
	Li	-	0.011	0.035	0.9996	102
Quesillo	As	26.9	0.006	0.002	0.9999	102
	Pb	10.559	0.006	0.002	0.9999	102
	Li	-	0.006	0.021	0.9995	102
Rancharo	As	26.9	0.006	0.002	0.9999	102
	Pb	10.559	0.006	0.002	0.9999	102
	Li	-	0.006	0.021	0.9995	102
	As	26.9	0.006	0.002	0.9999	102

Desviación estándar relativa (RSD), Mínima cantidad detectable (LOD), Cantidad cuantificable del equipo (LOQ), Coeficiente de correlación (r^2), Valor de recuperación (VR).

5.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar y el modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

- Y_{ijk} : variable respuesta en el tratamiento i en la repetición j
- μ : media general
- R_i : efecto de la i -ésima ruta
- B_j : efecto del bloque j -ésima semana
- E_{ij} : error aleatorio

Los datos se analizaron mediante un modelo general lineal (GLM) y la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9 (2002)

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente trabajo de investigación no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las 7 localidades correspondientes a las rutas de acopio. El contenido de metales pesados (Cuadro 9), denota un orden decreciente de los tres metales estudiados quedando de la siguiente manera; $Li > As > Pb$.

Los resultados muestran que el contenido de As está cerca del máximo límite permisible establecido por el Codex Alimentarius (0.15 mg kg^{-1}) y por debajo de la norma oficial mexicana (0.2 mg kg^{-1}). Cabe resaltar que la temporada del estudio fue en época de lluvias, y este valor puede aumentar en otras épocas del año debido a que se hace uso de aguas residuales para el riego de los forrajes que consume el ganado.

Cuadro 9. Contenido de metales pesados en leche cruda producida en 7 localidades del estado de Puebla.

Metales	Contenido (mg kg^{-1})	*NOM-184- SSA1-2002 (mg kg^{-1})	**WHO/FAO (mg kg^{-1})
As	0.12	0.2	0.001-0.15
Pb	0.03	0.1	0.02
Li	0.21	-	-

*Norma oficial mexicana

**Codex Alimentarius

Un estudio realizado por Kazi *et al.* (2016), en los distritos Mithi y Nagarparkar de Tharparkar, Pakistan, encontraron un rango de $15.6\text{--}18.1 \mu\text{g L}^{-1}$, para As, el cual es inferior comparado con el valor encontrado en este trabajo.

El Pb, al tener un valor de 0.03 mg/kg^{-1} , rebasa el límite permitido por la norma WHO/FAO que es de 0.02 mg kg^{-1} y está por debajo del valor permitido por la Norma Oficial Mexicana (Cuadro 1) que es de 0.1 mg kg^{-1} . Rahimi, (2013) reporto un valor de $9.88 \pm 4.75 \text{ ng ml}^{-1}$ en Irán y manifestó que estos valores pueden variar mucho debido a la zona de muestreo y la época del año. De igual forma Patra *et al.* (2008), en la India reportaron un valor de $0.28 \pm 0.039 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$, en una zona minera y $0.50 \pm 0.04 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$ zonas en donde fabrican hierro. Cabe mencionar que estos valores son inferiores a lo reportado en este trabajo.

Es importante mencionar, que se han documentado valores que superan a los del presente trabajo, tal es el caso de Bilandzic' *et al.* (2011) quienes reportaron un valor de $58.7 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ en la zona norte de Croacia, valor que es superior a lo establecido en esta investigación.

En Li, se determinó una concentración importante (Cuadro 9); sin embargo, no hay una norma que establezca un límite permitido en leche a nivel internacional ni nacional, que sirva para regular la cantidad permisible de ingesta al día. Sin embargo, a dosis administradas de $3\text{--}10 \text{ mmol L}^{-1}$ (Baselt, 2008), resulta tóxico y puede ser mortal.

González-Weller *et al.* (2013), encontraron valores de Li con un promedio de $1.352 \pm 0.750 \text{ mg kg}^{-1}$, en un estudio realizado en España, el cual, presenta un valor elevado comparado con lo encontrado en este trabajo.

Durante el proceso de elaboración de quesos, se encontraron metales pesados (Figura 2), donde el suero, fue el componente que mostro mayor contenido de As, teniendo un

comportamiento decreciente; suero > queso Oaxaca > queso ranchero > leche > cuajo.

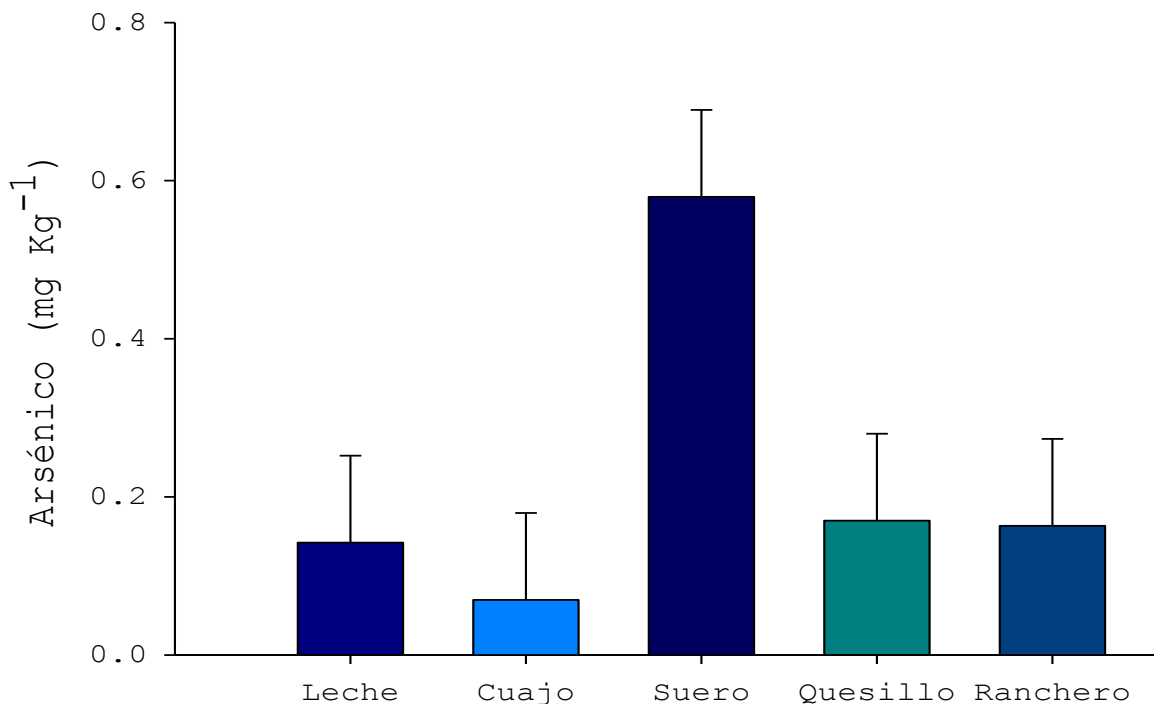


Figura 3. Contenido de arsénico (As) mg kg⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y ranchero. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significativa Tukey ($\alpha=0.05$).

En contraste con lo documentado por Bou Khozam *et al.* (2012), en queso libanes, reporto un valor de 7.0 ± 0.7 ng g⁻¹, el cual está por debajo del valor reportado en este trabajo.

El componente que tiene mayor contenido de Pb (figura 3), es el queso ranchero y tiene un orden ascendente quedando de la siguiente manera; queso ranchero > suero > queso Oaxaca > leche > cuajo. Moreno-Rojas *et al.* (2010) analizaron 50 variedades de quesos españoles y reportaron un valor de 32.77 ± 19.87 $\mu\text{g kg}^{-1}$, el cual, es inferior al valor obtenido en

este estudio para las dos variedades de queso (ranchero y Oaxaca).

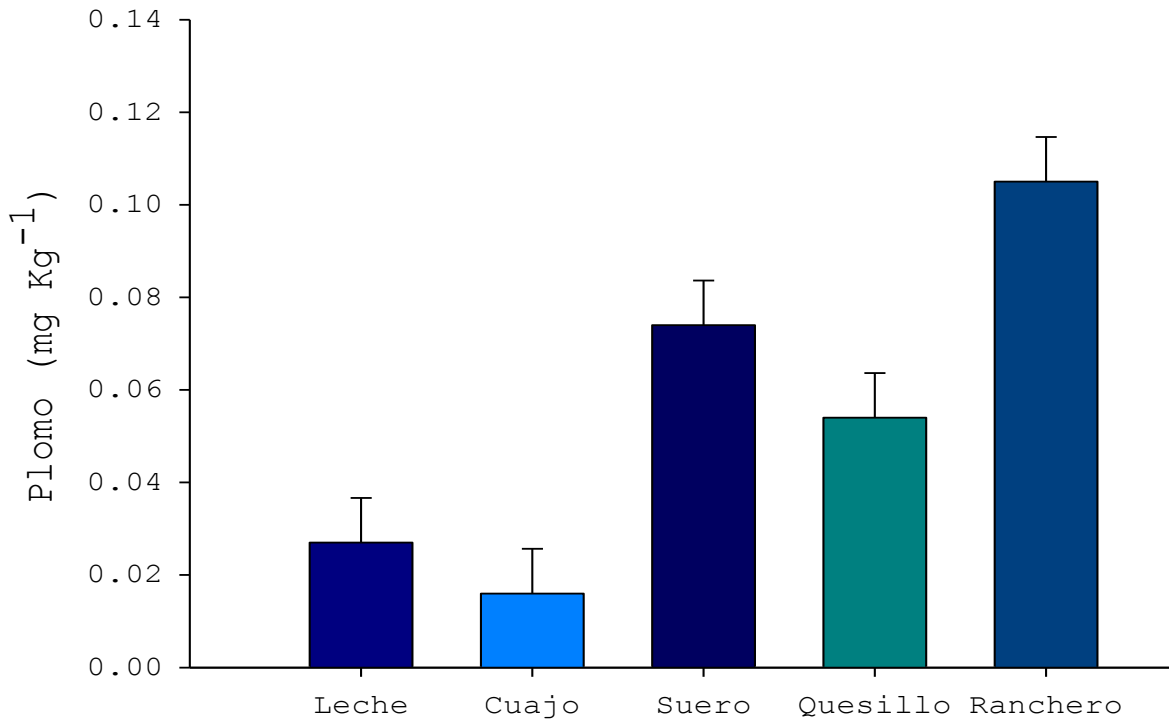


Figura 4. Contenido de plomo (Pb) mg kg⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y ranchero. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significativa Tukey ($\alpha=0.05$).

Yüzbası *et al.* (2009), hicieron un estudio, comparando las diferentes etapas del proceso de elaboración de queso tipo Kasar, evaluando el contenido de Pb en leche, suero, cuajo y queso en fresco en dos sitios de fabricación en Turquía, obteniendo valores (Cuadro 10), para Pb, comparando con los reportados en esta investigación. Cabe resaltar que las diferencias de producción de quesos, son que la leche para queso Kasar se pasteuriza y los tiempos de maduración y cuajos

utilizados no son los mismos para el queso tipo Oaxaca y rancharo.

Cuadro 10. Comparación de diferentes etapas del proceso de diferentes tipos de quesos (mg Kg⁻¹)

País	Componente				Referencia
	Leche	Cuajo	Suero	Queso	
Pakistán	0.45± 0.026	0.64±0 .036	0.095±0.0 6	0.21±0.05	Yüzbasi <i>et al.</i> (2009).
Francia	-	-	-	0.00047	Maas <i>et al.</i> , (2011).
Italia		-	-	0.31±0.03	Lante <i>et al.</i> (2006).
Presente estudio	0.027	0.016	0.074	*0.054 **0.105	

*Queso rancharo, **Queso Oaxaca.

Los resultados encontrados en el presente trabajo están por debajo de los valores reportados por Yüzbasi *et al.* (2009). Además, existe diferencia en cuanto a los valores detectados de Pb en el suero, donde en el presente trabajo se obtuvo un contenido mayor que el del resto de las fracciones de la elaboración de los quesos, caso contrario con lo reportado por Yüzbasi *et al.* (2009), donde el suero es el elemento que tiene menor contenido de Pb.

El Li (Figura 4), por su parte, la fracción que presenta el contenido más alto es el queso rancharo, comportándose de la siguiente manera; queso rancharo> queso Oaxaca> suero> cuajada> leche>. Son escasos los estudios en lácteos sobre el contenido de Li; probablemente debido a que no se le considera

un elemento tan peligroso como lo son As, Pb o Cd. Sin embargo, habría que realizar más estudios al respecto.

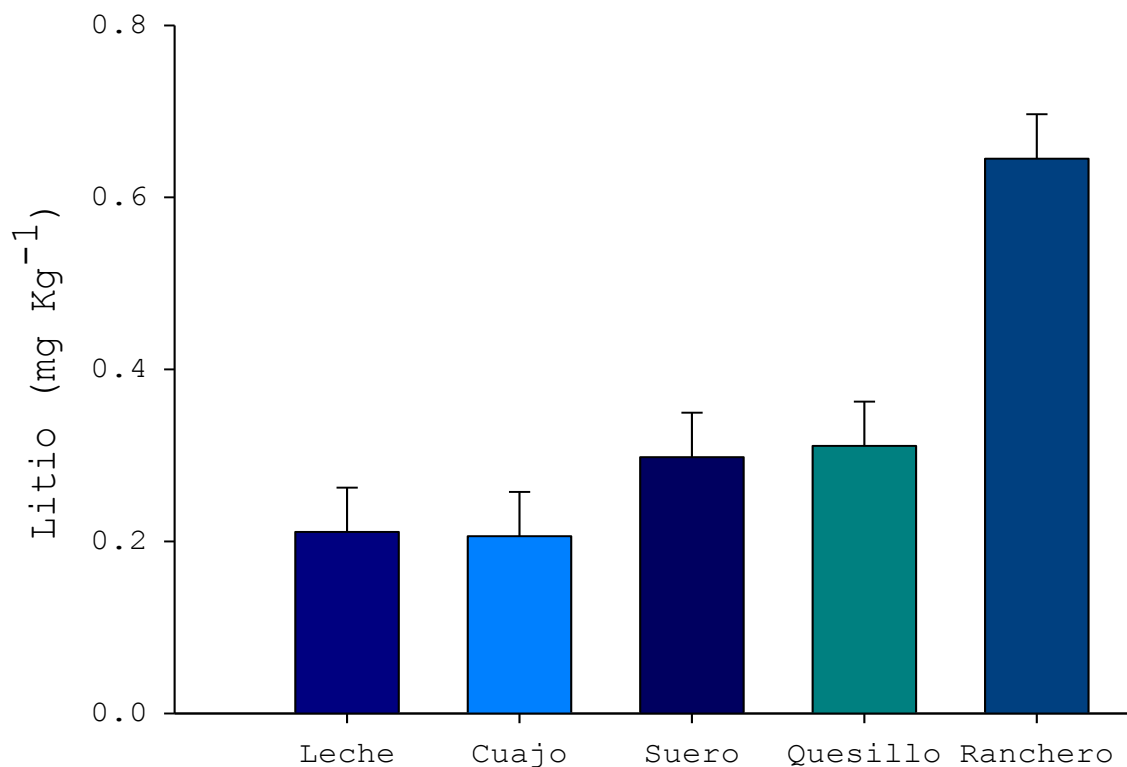


Figura 5. Contenido de litio (Li) mg kg⁻¹ en las diferentes etapas del proceso de elaboración de los quesos; Oaxaca y rancho. Los datos son medias y la línea vertical representa la diferencia mínima significativa Tukey ($\alpha=0.05$).

González- Wéller *et al.* (2013), en un estudio que realizaron en queso fresco, en España, reportaron que tenía un contenido de 3.194 ± 1.995 mg Kg⁻¹, el cual, es superior al valor reportado en este trabajo.

El contenido más alto de Pb fue para el queso tipo rancho y suero. Esto probablemente se debe a el proceso de la fabricación de este tipo de queso. Pues al agregar la enzima (cuajo), a la leche, inicia la hidrólisis de la proteína de la leche (κ -caseína), separándose en dos compuestos: cuajada y

suero; La cuajada está compuesta principalmente por grasas saturadas, lactosa y caseína. El suero, compuesto principalmente de caseína (Fox y McSweeney, 2004). El suero, al ser precursor del queso rancharo, tiende a poseer alto contenido de proteína, y esta cualidad permite que este posea mayor contenido de Pb, debido a la gran afinidad de este metal por las proteínas del suero (Ayar *et al.*, 2009).

Otro aspecto importante, es el contenido de humedad presente en los quesos, pues al haber un mayor contenido de agua, los metales se diluyen (Moreno-Rojas *et al.* 2010). En este sentido, el queso rancharo, al tener un prensado final para darle forma y empaquetarlo, se le aplica presión utilizando una prensa mecánica y con ello se retira el exceso de humedad, por lo tanto, al compararlo con el queso Oaxaca, se nota que existe un mayor contenido de metales como el plomo en el queso tipo rancharo, debido a un menor contenido de agua y por otra parte, el suero al ser precursor del queso rancharo, existe una mayor proporción de proteína en el suero, que va de 25-89% (Geiser, 2003), lo que contribuye a incrementar el contenido de Pb, debido a que al incrementar el nivel de proteína incrementa el contenido de este metal (Rahini *et al.*, 2013).

El As, tiene gran afinidad por los lípidos, y tiende a unirse más con el cuajo, aumentando el contenido significativamente en el proceso de fabricación del queso tipo Oaxaca.

Por otra parte, el litio, probablemente tenga el mismo comportamiento que el Pb. Pues el componente que tiene mayor contenido de este metal es el queso rancharo, seguido del queso Oaxaca. Sin embargo, no se han encontrado trabajo alguno al respecto.

VII. CONCLUSIONES

El contenido de As, Pb y Li encontrados en esta investigación nos muestra una alerta de los productos producidos en zonas industriales de Puebla. Las normas oficiales mexicanas marcan que el contenido de metales en leche y quesos presentes en esta investigación no son peligrosas para la salud de los consumidores. Sin embargo, la leche y los quesos, son solo una parte de la dieta del consumidor, falta analizar la ingesta de estos metales en agua, alimentos, bebidas, aire, suelo, etc.

El Li, no presenta un riesgo potencial, debido a que su contenido en leche y en quesos no es muy elevado en comparación con otros estudios a nivel internacional.

Solo queda por añadir, seguir monitoreando las diferentes zonas de acopio de leche, para examinar el aumento o la disminución del contenido de metales en leche, de acuerdo a la temporada del año.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adda, J., Gripon, J.C., Vassal, I., 1982. The chemistry of flavour and texture generation in cheese. Food Chem. 9, 115e129.
- Adityanjee, Munshi, K.R., Thampy, A., 2005. The syndrome of irreversible lithium effectuated neurotoxicity. Clin. Neuropharmacol. 28, 38-49.
- Alloway, B. J. 1995. Heavy metals in soils (2nd ed). Glasgow: Chapman & Hall.
- Arthur, R., Hill and Prashanti Kethireddipalli. 2013. Dairy Products: Cheese and Yogurt. Department of Food Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- ATSDR Monograph, Arsenic Toxicity, U.S. 1990. Department of Health and Services. www.atsdr.cdc.gov/HEC/CSEM.
- Ayar A, Sert D, Akm N. 2009. The trace metals levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia-Turkey. Environ Monit Assess. 152:1-12.
- Baselt, R., 2008. Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man, 8th ed. Biomedical Publications, Foster City, CA.
- Battacharaya, A., Banu, J., Rahman, M., Causey, J., Fernandes, G., 2006. Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. Journal of Nutritional Biochemistry 17, 789-810.

- Bentabol, A., & Jordal, M. 1995. Occurrence of organochlorine agrochemical residues in Spanish cheese. *Pesticide Science*, 44, 177-182.
- Bernard, Alfred. 2015. Lithium. *Handbook on the Toxicology of Metals*. Fourth Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier
- Bilandz`ic, Nina ´., Maja, Dokic´., Sedak, Marija ., Boz`ica Solomun., Ivana, Varenina ., Zorka Knez`evic´., Miroslav Benic´. 2011. Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. *Food Chemistry* 127. 63-66.
- Bourrelier, P. H., Berthelin, J., & Pedro, G. 1998. Contamination des sols par les éléments en traces: Les risques et leur gestion. In *Rapport de l'Académie des Sciences n 42*. Paris: Lavoisier Ed.
- CAC, 1999. General Standard for the Use of Dairy Terms (CODEX STAN 206-1999). Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Rome, FAO.
- Cambra, K., Martínez, T., Urzelai, A., Alonso, E., 1999. Risk analysis of a farm area near a lead and cadmium contaminated industrial site. *Soil Contam.* 8, 527-540.
- Chan, C.H., Leung, A.K., Cheung, Y.F., Chan, P.Y., Yeung, K.W., Lai, K.Y. 2012. A rare neurological complication due to lithium poisoning. *Hong Kong Med. J.* 18, 343-345.
- Cohen Lee S., MD; J. M. Friedman, MD, PhD; James W. Jefferson, MD. 1994. A Reevaluation of Risk of In Utero Exposure to Lithium. *JAMA* 271, 146-150.

Comisión del Codex Alimentarius. programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. Segunda reunión. La Haya, Países Bajos, 31 de marzo - 4 de abril de 2008.

Concha, G., Vogler, G., Lezcano, D., Nermell, B., Vahter, M., 1998. Exposure to inorganic arsenic metabolites during early human development. *Toxicol Sci.* 44, 185-190.

De Chaudhuri., Sujata., Manjari Kundu., Mayukh Banerjee., K. Das Jayanta., Papiya Majumdar., Basu Santanu ., Susanta Roychoudhury., Keshav K. Singh, Ashok K. Giri.2008. Arsenic induced health effects and genetic damage in keratotic individuals: Involvement of p53 arginine variant and chromosomal aberrations in arsenic susceptibility. *Mutation Research* 659 (2008) 118-125.

Devkota, B., Schmidt, G.H. 2000. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. *Agric. Ecosyst. Environ.* 78, 85-91.

Dudka, S., Miller, W.P., 1999. Permissible concentrations of arsenic and lead in soils based on risk assessment. *Water Air Soil Pollut.* 113, 127-132.

Ehrenstein Von, O.S., Poddar, S., Yuan, Y., Mazumder, D.G., Eskenazi, B., Basu, A., Hira-Smith, M., Ghosh, N., Lahiri, S., Haque, R., Ghosh, A., Kalman, D., Das, S., Smith, A.H. 2007. Children's intellectual function in relation to arsenic exposure. *Epidemiology* 18, 44-51.

FAO, 2016. Contenido de la leche. Consultado el 24 de noviembre de 2016. Disponible en <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/leche-y-productos-lacteos/composicion-de-la-leche>.

- Fels LM., Wunsch M., Baranowski J., Norska-Borowka I., Price RG., Taylor SA. 1998. Adverse effects of chronic low level lead exposure on kidney function a risk group study in children. *Nephrol Dial Transplant*; 13: 2248-56.
- Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., 1998. Milk proteins. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Blackwell, London, Uk.
- Frost, H.L., Ketchum, L.H., 2000. Trace metal concentration in durum wheat from application of sewage sludge and commercial fertilizer. *Adv. Environ. Res.* 4, 347-355
- Garau, G., Castaldi, P., Santona, L., P. Deiana, P. Melis, Influence of redmud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil, *Geoderma* 142(2007) 47-57.
- Geiser, M., 2003. The wonders of whey protein. *NSCA Perform. Training J.* 2, 13-15.
- Gidlow, D. 2004. Lead toxicity. *Occup. Med.* 54, 76-81.
- González-Weller Dailos., Rubio, Carmen., Ángel, José Gutiérrez., Gara Luis González., José María Caballero Mesa., Consuelo Revert Gironés., Antonio Burgos Ojeda., Arturo Hardisson. Dietary intake of barium, bismuth, chromium, lithium, and strontium in a Spanish population (Canary Islands, Spain). *Food and Chemical Toxicology* 62, 856-68.
- Green, M.L., Manning, D.J., 1982. Development of texture and flavour in cheese and other fermented products. *J. Dairy Res.* 49, 737e748.

- Griffiths M. 2010. Improving the Safety and Quality of Milk: Improving Quality in Milk Products. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Guha, M.D. 2001. Arsenic and liver disease. J. Indian Med. Assoc. 99 (311) 314-315, 318- 320.
- Guo, H.-R., Wang, N.-S., Hu, H., Monson, R.R. 2004. Cell type specificity of lung cancer associated with arsenic ingestion. Cancer Epidemiol. Biomark. Prev. 13, 638-643.
- He K, Wang S, Zhang J. Blood lead levels of children and its trend in China. Sci Total Environ 2009; 407:3986-93.
- Heaney, R.P., 2000. Calcium, dairy products and osteoporosis. Journal of American College of Nutrition 19, 83S-99S.
- Hernández Serrato MI, Fortoul TI, Rojas Martínez R, Mendoza Alvarado LR, Canales-Treviño L, Bochichio-Riccardelli T, et al. Lead blood concentrations and renal function evaluation: study in an exposed Mexican population. Environ Res 2006; 100:227-31.
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M.L., Smith, A.H., 1998. Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Cordoba, Argentina. Int J. Epidemiol 27, 561-569.
- Horne, D.S., Banks, J.M., 2004. Rennet-induced coagulation of milk. In: Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 1, General Aspects, (3rd ed.). Elsevier, Amsterdam, pp. 47-70.
- IFADED. 2014. Enciclopedia y de los municipios y delegaciones de México. Consultado el 6 de diciembre de 2016. Disponible en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21074a.html>.

- International Agency for Research on Cancer. 2009. A review of human carcinogens. Part C: metals, arsenic, dusts, and fibres. *Lancet Oncol.* 10 (5), 453-454.
- Jomova, K., Jenisova, Z., Feszterova, M., Baros, S., Liska, J., Hudecova, D., Rhodes, C., Valko, M. 2011. Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *J. Appl. Toxicol.* 31, 95-107.
- Kan, Naeem., Seon, Jeong., Min, Hwang., Sung, Kim., Hwa, Choi., Yeong, Nho. 2014. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry* 147. 220-224.
- Kato, K., Takada, Y., Matsuyama, H., Kawasaki, Y., Aoe, S., Yano, H., Toba, Y. 2002. Milk calcium taken with cheese increases bone mineral strength in growing rats, *Bioscience. Biotechnology and Biochemistry* 66, 2342-2346.
- Kazi, Tasneem, Gul., Kapil, Dev Brahman., Hassan, Imran Afridi ., Mohammad, Balal Arain., Farah, Naz Talpur., Asma Akhtar. 2016. The effects of arsenic contaminated drinking water of livestock on its total levels in milk samples of different cattle: Risk assessment in children. *Chemosphere* 165 (2016) 427e433.
- Khozam, Rola Bou., Pawel Pohl., Baydaa Al Ayoubid., Farouk Jaberar and Ryszard Lobinski. 2012. Toxic and essential elements in Lebanese cheese. *Food Additives and Contaminants: Part B Vol. 5, No. 3, September 2012*, 172-181.
- Koller, K., Brown, T., Spurgeon, A., Levy, L. Recent developments in low-level lead exposure and intellectual

- impairment in children. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 987-94.
- Kozma, Ch. 2005. Neonatal toxicity and transient neurodevelopmental deficits following prenatal exposure to lithium: Another clinical report and a review of the literatura *Am. J. Med. Genetics* 132A, 441-444.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., C. Maurice, Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments a review, *Waste Manage.* 28 (2008) 215-225.
- Lante, A., Lomolino, G., Cagnin, M., Spettoli P. 2006. Content and characterisation of minerals in milk and in Crescenza and Squacquerone Italian fresh cheeses by ICP-OES. *Food control.*
- Laurent, C., Feidt, C., & Laurent, F. 2005. Contamination des sols: Transferts des sols vers les animaux. *Les Ulys & Angers: EDP Sciences & ADEME Ed.*
- Lawrence, R.C., Heap, H.A., Gilles, J., 1984. A controlled approach to cheese technology. *J. Dairy Sci.* 67, 1632e1645.
- Lee, K.W., Lee, H.J., Cho, H.Y., Kim, Y.J. 2005. Role of the conjugated linoleic acid in the prevention of cancer. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45, 135-144.
- Lopez-Exposito, I., Amigo, L., Recio, I., 2012. A mini-review on health and nutritional aspects of cheese with a focus on bioactive peptides. *Dairy Science & Technology* 92, 419-438.
- Maas, Samuel., Lucot, Eric., Gimbert, Frédéric., Crini, Nadia., Badot, Pierre-Marie.2011. Trace metals in raw cows' milk

and assessment of transfer to Comté cheese. Food and chemistry.

- Maloney, M.E. 1996. Arsenic in dermatology. *Dermatol. Surg.* 22, 301-304.
- Mangwayana, E.S. 1995. Heavy metals pollution from sewage sludge and effluent of soil and grasses at Crowborough Farm. B.Sc. Thesis. University of Zimbabwe, p. 63.
- Martin, D., Glass, T.A., Bandeen-Roche, K., Todd, A.C., Shi, W., Schwartz, B.S. 2006. Association of blood lead and tibia lead with blood pressure and hypertension in a community sample of older adults. *Am. J. Epidemiol.* 163, 467-478.
- Martino, F. A. R., Sánchez, M. L. F., & Medel, A. S. 2000. Total, determination of essential and toxic elements in milk whey by double focusing ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 15, 163-168.
- Mazumder, D.G. 2007. Arsenic and non-malignant lung disease. *J. Environ. Sci. Health A* 42, 1859-1867.
- Milton, A.H., Smith, W., Rahman, B., Hasan, Z., Kulsum, U., Dear, K., Rakibuddin, M., Ali, A., 2005. Chronic arsenic exposure and adverse pregnancy outcomes in Bangladesh. *Epidemiology* 16, 82-86.
- Moore, L.E., Smith, A.H., Eng, C., Kalman, D., DeVries, S., Bhargava, V., Chew, K., Moore II, D., Ferreccio, C., Rey, O.A. 2002. Arsenic-related chromosomal alterations in bladder cancer. *J. Natl. Cancer I* 94, 1688-1696.
- Moreno-Rojas, R., Amaro-Lopez, M. a., & Zuerera-Cosano, G. 1994. Copper, iron and zinc variations in Manchego-type

cheese during the traditional cheese-making process. *Food Chemistry*, 49, 67-72.

Moreno-Rojas, R., Sánchez-Segarra, F., Cámara-Martos* and M.A. Amaro-López. 2010. Heavy metal levels in Spanish cheeses: influence of manufacturing conditions. *Food Additives and Contaminants: Part B Vol. 3, No. 2*.

Müller-Oerlinghausen, B., Lewitzka, U., 2010. *Neuropsychobiology* 62, 43-49.

Nishikawa, M., Toyoda, N., Nomura, E. 2012. Drug induced thyroid dysfunction. *Nihon Rinsho* 70, 1958-1964.

NORMA Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Especificaciones sanitarias. Segunda edición. Secretaria de Salud. Publicado en el diario oficial de la federación el 23 de octubre de 2002.

Onianwa, P. C., Adetola, I. G., Iwegbue, C. M. A., Ojo, M. F., & Tella, O. O. 1999. Trace heavy metals composition of some Nigerian beverages and food drinks. *Food Chemistry*, 66, 275-279.

Patra, R.C., D, Swarup., P. Kumar., D, Nandi., R, Naresh., S.L. Ali. 2008. Milk trace elements in lactating cows environmentally exposed to higher level of lead and cadmium around different industrial units. *Science of the total enviroment*. 404. 36-46.

Pattnaik, R., Yost, R.S., Porter, G., Masunaga, T., Attanandana, T. 2007. Improving multi-soil-layer (MSL)

- system remediation of dairy effluent. *Ecol. Eng.* 32 (1), 1-10.
- Pinto, A. P., A. de Varennes., Fonseca, R., and D. Martins Teixeira. 2015. *Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals: Techniques and Strategies.*
- Prencipe, M., Cicchella, A., Del Giudice, A., Di Giorgio, A., Scarlatella, A., Vergura, M., Aucella, F., 2013. The acute renal and cerebral toxicity of lithium: a cerebrorenal syndrome A Case Report. *G. Ital. Nefrol.*, 30.
- Rahimi, Ebrahim. 2013. Lead and cadmium concentrations in goat, cow, sheep, and buffalo milks from different regions of Iran. *Food Chemistry* 136 (2013) 389-391.
- Rahman, A., Vahter, M., Ekstrom, E.C., Rahman, M., Golam Mustafa, A.H., Wahed, M.A., Yunus, M., Persson, L.A. 2007. Association of arsenic exposure during pregnancy with fetal loss and infant death: a cohort study in Bangladesh. *Am. J. Epidemiol.* 165, 1389-1396.
- Salma, I., Maenhaut, W., Dubtsov, S., Papp, É. Z., & Záray, G. (2000). Impact of phase out of leaded gasoline on the air quality in Budapest. *Microchemical Journal*, 67, 127-133.
- Sanders, T., Liu, Y., Buchner, V., Tchounwou, P.B. 2009. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review. *Rev. Environ. Health* 24, 15-46.
- Scott, R. (Ed.). (1981). *Nutritional aspects of cheese: Cheese making practice.* London: Applied Science Publications.
- Servicio De Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP). 2014. Boletín informativo lechero. Con información de la FOASFAT 2014. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.

- Servicio De Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP). 2015. Boletín informativo lechero. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>
- SIAP con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM), INEGI. 2015. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>
- Silk, N. y K. Ciruna (2004). A Praktitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado.
- Sola-Larranaga, C., & Navarro-Blasco, I. 2009. Chemometric analysis of minerals and trace elements in raw cow milk from the community of Navarra, Spain. Food Chemistry, 112, 189-196.
- Srivastava, S., Chen, Y., Barchowsky, A. 2009. Arsenic and cardiovascular disease. Toxicol. Sci. 107, 312-323.
- Staffan Skerfving and Ingvar A. Bergdahl. 2015. Lead. Handbook on the Toxicology of Metals. Fourth edition. Volume I: General Considerations, Volume II: Specific Metals Academic Press as an imprint of Elsevier, Amsterdam (2015). 1385 p.
- Sterckeman, T., Douay, F., Proix, N., & Fourrier, H. 2000. Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. Environmental Pollution, 107, 377-389.
- Timmer, R.T., Sands, J.M., 1999. J. Am. Soc. Nehrol. 10, 66 674.
- Tripathi, R.M., Raghunath, R., Sastry, V.N., Krishnamoorthy, T.N. 1999. Dietary intake of heavy metals by infants

- through milk and milk products. *Sci. Total Environ.* 227, 229-235.
- Ullrich, A., Adamczyk, J., Zihl, J., Emrich, H.M., 1985. Lithium effects on ophthalmological-electrophysiological parameters in young healthy volunteers. *Acta Psychiatr. Scand.* 72, 113-119.
- Unión ganadera de Jalisco. 2014. Composición de la leche. Consultado el 20 de enero de 2017. Disponible en <http://www.ugrj.org.mx>
- United States Environmental Protection Agency. 2003. Ecological Risk Assessment for Nahant, Iowa. Step two. Screening level exposure estimates and risk calculations. Advanced Technology Environmental Education Center. Disponible en <http://www.ateec.org/publ/nahant/mike/mike-step2.cfm>.
- Vahidnia, A., Van der Voet, G., DeWolff, F. 2007. Arsenic neurotoxicity—a review. *Hum. Exp. Toxicol.* 26, 823-832.
- Wakelin, S.H., Lipscombe, T., Orton, D.I., Marren, P., 1996. Lithium-induced follicular hyperkeratosis. *Clin. Exp. Dermatol.* 21, 296-298.
- Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., Wehrmuller, K., 2008. Cheese in nutrition and health. *Dairy Science and Technology* 88, 389-405.
- Wasserman, G.A., Liu, X., Parvez, F., Ahsan, H., Factor-Litvak, P., van Geen, A., Slavkovich, V., LoIacono, N.J., Cheng, Z., Hussain, I., Momotaj, H., Graziano, J.H. 2004. Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh. *Environ. Health. Perspect.* 112, 1329-1333.

- Weaver, V.M., Jaar, B.G., Schwartz, B.S., Todd, A.C., Ahn, K-D., Lee, S.S., Wen, J., Parsons, P.J., Lee, B.-K. 2005. Associations among lead dose biomarkers, uric acid, and renal function in Korean lead workers. *Environ. Health Pers.* 113, 36.
- WHO Guidelines for Drinking Water Quality, second ed., vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information, Geneva,WHO, 1996, pp. 940- 949.
- Willes, R. F., Nestman, E. R., & Miller, P. A. (1993). Scientific principles for evaluating the potential for adverse effects from chlorinated organic chemicals in the environment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 18, 313-356.
- Xian, X., 1989. Response of kidney bean to concentration and chemical form of cadmium, zinc and lead in polluted soils. *Environ. Pollut.* 57, 127-137.
- Xu Fei, Ren Kang, YANG Yu-ze, GUO Jiang-peng , MA Guang-peng, LIU Yi-ming, LU Yong-qiang , LI Xiu-bo. 2015. Immunoassay of chemical contaminants in milk: A review. *Journal of Integrative Agriculture* 2015, 14(11): 2282-2295.
- Yang, C.Y., Chang, C.C., Tsai, S.S., Chuang, H.Y., Ho, C.K., Wu, T.N. 2003. Arsenic in drinking water and adverse pregnancy outcome in an arseniasis-endemic area in northeastern Taiwan. *Environ. Res.* 91, 29-34.
- Ye X, Fu H, Guidotti T. Environmental exposure and children's health in China. *Arch Environ Occup Health* 2007; 62: 61-73.

Yuzbası, N., Sezgin, E., Yıldırım, M., & Yıldırım, N. (2003). Survey of lead, cadmium, iron, copper and zinc in Kasar cheese. *Food Chemistry*, 20(5), 464-469.

Yüzbası, Nuray., Emel, Sezgin., Zeliha, Yildirim and Metin Yildirim. 2009. Changes in Pb, Cd, Fe, Cu and Zn levels during the production of kasar cheese. *Journal of Food Quality* 32 . 73-83.

IX. ANEXOS



Anexo 1. Producción de queso Oaxaca.



Anexo 2. Digestión de las muestras liofilizadas.



Anexo 3. Determinación de Pb, As y Li por medio de ICP-OES



Anexo 4. Producción de queso ranchero.



BUAP

Oficio No. IAH/492/2017

Asunto: Impresión de Tesis

C. Jair Castro de Jesús
Egresado de la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por el M.C. Numa Pompilio Castro González (**Director de Tesis**), Dr. Francisco Calderón Sánchez (**Codirector de Tesis**), Dr. Marcos Pérez Sato (**Asesor**) y Dra. Liliana Valdiviezo Morales (**Asesora**), en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la impresión de la tesis titulada:

“Contenido de Li, Pb y As en el Proceso de Producción de Quesos en el Poblado de Santa Ana Xalmimilulco, Puebla”

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agronómica y Zootecnia.

Sin otro particular por el momento me despido de Usted.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 09 de mayo de 2017

Dr. Armando Ibáñez Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica



c.c.p.- Archivo y Minutario
DR. AIM/gra.