



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA



NIVELES DE PLOMO Y ARSÉNICO EN LECHE Y PELO DE
VACAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE MOQUEGUA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ROCIO GUADALUPE CONDORI ACERO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A mis padres, el esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invirtieron en mi ser. Gracias a mis padres soy quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Cesar Luis Condori Quispe y Saturnina Acero Aceituno.

A mi esposo, quien con su apoyo alcance de mejor manera mi meta, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudo a concluir esta meta.

A mis hijos Ariztel y Eriazel, quienes fueron mi mayor inspiración, durante todo este proceso.

*A mi asesor de tesis, docentes y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido **hacer** esta **tesis**. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.*

Rocio Guadalupe

Condori Acero



AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Divina Madre por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a mi director de tesis Dr. Julio Málaga Apaza quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación.

Agradezco al director de la Agencia Agraria Mariscal Nieto Dr. Jorge Sotomayor Vasquez, por brindarme su apoyo incondicional en la ejecución de mi trabajo de investigación.

Agradezco a los todos maestros que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron al desarrollo dentro de la Universidad Nacional del Altiplano.

Rocio Guadalupe

Condori Acero



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. Los metales pesados	15
2.2. Origen de los metales pesados	16
2.3. Metales valorados en carne y leche como indicadores de contaminación ambiental.....	17
2.4. Plomo.....	19
2.4.1. Metabolismo del plomo en seres humanos	21
2.4.2. Toxicidad del plomo en seres humanos	25
2.4.3. Síntomas de intoxicación con plomo en seres humanos	26
2.4.4. Origen de intoxicación con plomo en animales	26
2.4.5. Toxicidad del plomo en bovinos	27
2.4.6. Riesgos de consumo de plomo	28
2.4.7. Plomo en leche cruda de vaca	29
2.5. Arsénico	30
2.5.1. Toxicidad del arsénico.....	32
2.5.2. Toxicidad del arsénico en bovinos.....	33
2.5.3. Origen de intoxicación con arsénico en animales.....	33
2.5.4. Riesgo de consumo de arsénico	33
2.5.5. Transporte de arsénico en las aguas.....	34



2.5.6. Arsénico en leche cruda de vaca	35
2.6. La leche	36
2.6.1. Propiedades fisicoquímicas de la leche	36
2.6.2. Composición química de la leche	37
2.7. Pelo	39
2.8. Espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito ...	39
2.9. Antecedentes.....	40
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Lugar de estudio	46
3.2. Material experimental.....	47
3.2.1. De los animales	47
3.3. Manejo de las vacas	47
3.3.1. Alimentación.....	47
3.3.2. Sanidad	48
3.4. Materiales para el recojo de muestras	48
3.4.1. Equipos	48
3.5. Metodología.....	49
3.5.1. Preparación del animal para el muestreo	49
3.5.2. Toma de muestras	49
3.5.3. Envío de muestras	51
3.6. Análisis estadístico	51
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. PLOMO.....	53
4.2. ARSÉNICO	55
V. CONCLUSIONES	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	61
ANEXOS	67

Área : **Salud Pública**

Tema : **Niveles de plomo y arsénico en leche y pelo de vacas**

Fecha de Sustentación: 17 de enero de 2020



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Límites máximos permisible de metales pesados.	29
Tabla 2:	Niveles máximos y niveles de referencia para plomo en los alimentos según Codex Alimentarius.	30
Tabla 3:	Concentración de plomo (mg) en la leche (mL.) y pelo (gr.) de vacas del Valle de Moquegua.	53
Tabla 4:	Concentración de arsénico (mg) en la leche y pelo de vacas del Valle de Moquegua.	55



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo biológico del plomo	22
Figura 2: Plomo y arsénico en leche de vacas - Moquegua	53
Figura 3: Niveles de arsénico en leche de vacas - Moquegua.....	56



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

OMS	: Organización Mundial de la Salud
SENASA	: Servicio Nacional de Sanidad Agraria
FAO	: Organización para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés (Food and Agriculture Organization).
NRC	: Consejo Nacional de Investigación (por sus siglas en inglés)
EPA	: Protección Medio Ambiental de Estados Unidos
$\mu\text{g}/\text{kg}$: Microgramos por kilogramo
mg/kg	: Miligramo por kilogramo
$\mu\text{g}/\text{L}$: Microgramo por litro
Pb	: Plomo
As	: Arsénico
EPA	: Agencia de Protección Ambiental
NOM	: Norma Oficial Mexicana
UI	: Unidad Internacional
UE	: Unión Europea.
Ppb	: Partes por billón
Abs	: Absorbancia
ECC	: Comisión de las Comunidades Europeas.
EAA	: Espectrofotometría de Absorción Atómica
SNC	: Sistema Nervioso Central
IARC	: International Agency for Research on Cancer
IUPAC	: Union Internacional de Química Pura y Aplicada
N	: Tamaño de muestra
D.S.	: Desviación Estándar



V.E. : Valores extremos

mL : Mililitros



RESUMEN

La contaminación por metales pesados es uno de los temas de mayor importancia a nivel mundial, debido a que estos metales no son biodegradables y tienden a bioacumularse en los tejidos y subproductos de los animales, comportándose como una cadena acumulativa, que es un factor de riesgo para la salud humana. El objetivo del estudio fue determinar los niveles de concentración de plomo y arsénico en leche y pelos de vacas de la cuenca lechera del Valle de la Moquegua. Para lo cual, se obtuvieron 12 muestras de leche y 12 muestras de pelos debidamente identificados para cuantificar las variables de estudio. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, mediante la técnica de absorción atómica con horno de grafito. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados mediante la prueba estadística de “t” (student) para muestras independientes a un $\alpha=0.05$. Los niveles de concentración de plomo en las vacas del valle de Moquegua; fueron 2.04 ± 0.438 mg de Pb/kg de pelo y 0.2867 ± 0.082 mg de plomo/ litro de leche; los cuales difieren estadísticamente ($P < 0.05$) mientras que la concentración de arsénico en el pelo y leche promediaron 0.961 ± 0.53 y 0.0916 ± 0.04 los mismos que fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.05$) Los resultados obtenidos significan un valioso aporte para evitar riesgos de contaminación con los metales pesados en la salud humana, ya que los dos metales analizados tanto en pelo y leche de las vacas alimentadas con pastos regados con aguas del río Moquegua muestran que supera los Límites Máximos Permisibles.

Palabras Claves: Arsénico, Plomo, Leche, Pelo, Vaca.



ABSTRACT

Heavy metal contamination is one of the most important issues worldwide, because these metals are not biodegradable and tend to bioaccumulate in animal tissues and by-products, behaving as a cumulative chain, which is a risk factor for human health. The objective of the study was to determine the concentration levels of lead and arsenic in milk and hair of cows in the dairy basin of the Moquegua Valley. For which, 12 milk samples and 12 hair samples duly identified were obtained to quantify the study variables. These samples were analyzed in the Quality Assay and Control Laboratory of the Faculty of Pharmaceutical, Biochemical and Biotechnological Sciences of the Catholic University of Santa María de Arequipa, using the atomic absorption technique with a graphite furnace. The data obtained were processed and analyzed using the statistical test of “t” (student) for independent samples at $\alpha = 0.05$. The levels of lead concentration in the cows of the Moquegua valley; They were 2.04 ± 0.438 mg of Pb / kg of hair and 0.2867 ± 0.082 mg of lead / liter of milk; which differ statistically ($P < 0.05$) while the arsenic concentration in hair and milk averaged 0.961 ± 0.53 and 0.0916 ± 0.04 , which were statistically different ($P < 0.05$). The results obtained represent a valuable contribution to avoid risks of contamination with heavy metals in human health, since the two metals analyzed both in hair and milk of cows fed with pastures irrigated with waters from the Moquegua River show that it exceeds the Maximum Permissible Limits.

Keywords: Arsenic, Milk, Lead, Hair, Cow



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados puede traer consecuencias graves de salud y seguridad alimentaria. La contaminación ambiental por metales pesados producida por la industria y el crecimiento urbano afecta el aire, agua, y suelos (Haiyan, 2003); pudiéndose acumular a largos plazos en niveles tóxicos en los suelos, donde permanece por largos periodos debido a que no son degradados y pueden biotransformarse en la cadena alimentaria (ATSDR, 2007) esta acumulación puede provocar grandes trastornos de salud en la población humana en donde los metales pesados como el plomo y arsénico, pueden ocasionar alteraciones a nivel del Sistema Nervioso Central, alteraciones dérmicas, cardiovascular, respiratorio, gastrointestinal y renal, así como alteraciones citogenéticas e inmunológicas y en el sistema reproductor, mientras que el plomo preocupa especialmente por su neurotoxicidad.

El plomo constituye el 2% de la corteza terrestre y se encuentra distribuido en todo el mundo. Durante la revolución industrial, el uso del plomo causó muchas enfermedades entre los trabajadores del plomo en la década de 1870, fue el origen de la que ahora es la mayor epidemia de intoxicación por plomo en la historia, la del plumbismo infantil (Harrison, 1989).

La presencia de plomo en la leche representa un peligro, ya que puede causar diferentes enfermedades en animales y humanos si sobrepasa el límite máximo permitido en la leche de 0.02 mg x kilogramo de leche ó 0.002 mg/dl., según el CODEX general estándar para contaminantes y toxinas en comida y alimentos (Codex, 1995).

A pesar de su importancia en la salud pública, hacen falta estudios acerca del papel que la leche de vaca juega como vehículo para el plomo, así como también un enfoque



más detallado de los posibles vehículos que hacen que esta se contamine desde el suelo hasta que llega a la mesa de los consumidores, y su consecuente importancia en la intoxicación por este metal, no solo de esta sino también de otros alimentos en los cuales se debe realizar de manera rutinaria. Ya que en estudios realizados en leche pasteurizada se han encontrado niveles mayores a los límites permisibles según la legislación nacional e internacional (Sosa-García, J.A., 2004)

La presencia de metales pesados en los lácteos, constituye un tema de actualidad debido a la contaminación de la cadena trófica involucrada y a los daños que ocasionan en la salud, la exposición crónica de estos metales en alimentos, que por lo regular se presenta en forma asintomática (Ayala y Bonilla, 2013).

Por las consideraciones expuestas y por lo que no existe investigaciones en relación a la concentración de metales pesados en la leche y pelo de vacas; se ha planteado realizar la presente investigación con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados en la leche y pelo de vacas alimentadas con pastos regados en aguas del río Moquegua, cuyos resultados permitirán sensibilizar a la población de la zona con fines de planificar, vigilar e implementar acciones preventivas sobre la presencia de metales pesados, de tal modo que se contribuya a una vida saludable.

1.1. Objetivo General

Determinar niveles de plomo y arsénico en leche y pelo de vacas de producción lechera de la cuenca del Valle de Moquegua

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de concentración de plomo en la leche y pelos de las vacas Holstein en la Cuenca del Valle de Moquegua.



- Determinar los niveles de concentración de arsénico en la leche y pelos de las vacas Holstein en la Cuenca del Valle de Moquegua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los metales pesados

Los metales pesados son componentes químicos altamente tóxicos, de baja densidad, con peso Atómico entre 63.5 y 200.6 g mol⁻¹ y gravedad específica mayor a 5 g cm⁻³ considerando al Cd, Pb, As, Hg y Cr, como de mayor toxicidad. Sin embargo, existen otros que aun que tienen funciones metabólicas, al ser ingeridos en mayores proporciones que las permitidas, se vuelven tóxicos, tal es el caso del Zn, Co, Ni, Cu y Se (Kabata-Pendias, 2000; Turdean *et al.*, 2011).

Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bio-acumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Combariza, 2009; Nava y Méndez, 2011).

El estudio de metales pesados para la población es de gran interés debido a que la presencia de estos en el ambiente como en los alimentos poseen efectos negativos en la salud del ser humano, de los animales y en la agricultura; ciertos metales pesados han sido encontrados en los alimentos los cuales provienen de diversas fuentes como: suelo contaminado, fertilizantes químicos y plaguicidas; la existencia de estos metales en alimentos, constituye gran importancia, debido a los daños que pueden ocasionar en la salud ya que regularmente se presentan en forma asintomática (Calderón y Maldonado, 2008).



La detección de metales tóxicos en los alimentos ha cobrado importancia debido a su toxicidad y a su capacidad de bioacumulación en el organismo. Su presencia en los productos de origen animal es el paso previo al consumo y depósito en el hombre, como último eslabón de la cadena alimenticia (Gonzales, 2009).

2.2. Origen de los metales pesados

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.*, 2002).

Así mismo los desarrollos industriales propiciados por la industria metalúrgica, de fundición, minera y las actividades antropogénicas (humanas) son las principales emisoras al ambiente de gases y cenizas con abundantes cantidades de metales pesados, que han ocasionado un paulatino aumento puntual de dichas concentraciones en los diferentes componentes del suelo (Singh *et al.*, 2010)

La contaminación por metales pesados se puede producir de forma natural en fenómenos como: actividad volcánica, procesos de erosión, escapes espontáneos de depósitos profundos y superficiales (Burger y Pose, 2010).

Tomando en cuenta que estas aguas acumulan diversos compuestos tóxicos, dependiendo de las actividades asociadas a los diferentes afluentes, ocasionando contaminación de los suelos irrigados con estas. El tiempo de irrigación de los suelos con aguas residuales contribuye a la elevada acumulación de metales, ya que suelos con 40 y 100 años de recibir aguas residuales muestran incrementos en



el nivel de metales pesados, donde los valores pueden encontrarse por encima de los límites permitidos y en consecuencia los cultivos como el de alfalfa, arroz, maíz, trigo y hortalizas se mostraron altamente contaminados (Vázquez *et al.*, 2001).

Factores de contaminación de la leche con metales pesados

Si consideramos que la producción de leche se establece en un sistema, debemos de entender que hay una relación entre cada uno de los componentes del sistema, en el caso de la leche que es el producto final y que la debemos de producir de manera inocua, es importante que sea libre de agentes patógenos, saludable desde el punto de vista nutricional, lo que significa que debe de proceder de animales sanos y para ello es necesario que se produzca bajo buenas prácticas agrícolas Y estas prácticas no solamente incluyen la sanidad, buena alimentación y bienestar sobre el animal, ya que para obtener una buena alimentación debemos de proporcionar forrajes sanos y nutritivos, siendo para ello necesario tener suelos fértiles libres de contaminantes, lo cual se logra cuando las aguas que son utilizadas para riego son también limpias y libres de toda sustancia o compuesto tanto químico como biológico que contamine a los suelos agrícolas (FAO, 2016).

2.3. Metales valorados en carne y leche como indicadores de contaminación ambiental.

La leche se conoce como una excelente fuente de Ca, y puede suministrar cantidades moderadas de Mg, de Zn y muy pequeños contenidos de Fe y Cu, pero debido a la contaminación del medio ambiente puede contener niveles de metales tóxicos (González, 2009).



Pueden ser múltiples los minerales medidos tanto en carne como en leche, los principales elementos valorados son calcio, fósforo, potasio, sodio y cloro, y se denominan macrominerales. Otros minerales, denominados microminerales u oligoelementos son mercurio, arsénico, cadmio, plomo, cromo, aluminio, níquel, molibdeno, zinc, hierro, manganeso y cobre. Algunos de ellos pueden ser tóxicos a cualquier concentración, mientras que otros, que se denominan esenciales (por ser necesarios para el hombre) y por lo tanto únicamente se consideran tóxicos a partir de determinados niveles (FAO, 2016).

El incremento de la concentración de alguno de los metales por encima de los límites permitidos puede causar efectos tóxicos. La gravedad del efecto tóxico depende de la naturaleza, la cantidad, la forma química del metal, el alimento, la concentración del elemento y de la sinergia y del antagonismo de sus efectos con otros compuestos o elementos químicos (González, 2009).

Muchos de estos metales están relacionados con la contaminación industrial, minera, agrícola y ganadera presente en la zona. Así, son muchos los ejemplos que se podrían citar acerca de los elevados niveles de plomo, cadmio, mercurio, y otros metales en zonas de amplia actividad siderúrgica, en las proximidades de centrales térmicas de carbón, en zonas de gran extracción minera, en las proximidades de autopistas y vías con gran afluencia de vehículos, así como en ciudades de gran concentración de automóviles y plantas industriales de todo tipo. También la utilización indiscriminada de fertilizantes usados en la agricultura o el uso de purines como fertilizantes proveen de algunos metales que se incorporan a los vegetales entrando con ello en la cadena trófica (González, 2009).



Aguas residuales y suelos agrícolas

El grado de contaminación del agua va en aumento debido al incremento de la población a nivel mundial, que crece a una tasa aproximada del 1.2% anual, generando mayor acumulo de metales pesados en las tierras irrigadas con aguas residuales (FAO, 2013).

Las actividades geológicas naturales, como desgastes de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados al suelo. También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados. En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos, (Pineda, 2004).

También la época del año puede contribuir a el grado de contaminación del agua y suelos, ya que se ha visto que afecta el índice de calidad del agua, siendo en los meses de previos a la época de lluvias donde los niveles de contaminación son más bajos, incrementándose posterior a las lluvias (Vázquez et al., 2001).

2.4. Plomo

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82; es un metal pesado, de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16°C, de color azul-grisáceo; es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fundición se produce a 327,4°C y hierve a 1725°C; las valencias químicas normales son 2 y 4; es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y



ante la presencia de bases nitrogenadas; industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo (Calderón y Maldonado, 2008).

A. Propiedades fisicoquímicas del plomo

El plomo es un elemento que se origina en la superficie de la tierra. Su número atómico es 82 y su peso atómico es de 207.20. Su número de grupo es 14. Su punto de fusión es de 327.4°C y su punto de ebullición es de 1,740°C. Y su abreviatura química es Pb. Cuando pasa al medio ambiente, el plomo con frecuencia encuentra iones negativos con los que forma compuestos como nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y acetato de plomo ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{O}_2)_2$). Estos compuestos no siempre tienen la forma metálica del plomo y sus propiedades pueden diferir de las de dicho elemento, como la capacidad de combustión, una vez dentro de la atmósfera, puede viajar 14 miles de kilómetros si las partículas son pequeñas o si los compuestos son volátiles (ATSDR, 2015).

B. Plomo en el ambiente

El Pb se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. En general el Pb es poco móvil en el ambiente; se dispersa en forma de partículas por fuentes de aire y a su vez es eliminado por acción gravitacional por la lluvia; de igual manera en el suelo es poco móvil encontrándose en capas poco profundas de los subsuelos de la corteza terrestre; cuando existe mayor presencia de materia orgánica y coloides inorgánicos su interacción es mayor; de manera inversa al aumentar el pH de



los suelos se disminuye la interacción y este se hace más móvil; esta movilización en el suelo dependerá del tipo de sal de Pb y de las características físicas y químicas del suelo (ATSDR 2007)

C. Usos del plomo

El hombre ha hecho uso de él desde hace 6.000 años, así los antiguos egipcios utilizaban compuestos de plomo como pigmentos, cosméticos y para la fabricación de estatuillas. La primera civilización que utilizó el plomo a gran escala fue Roma para fabricar tuberías del acueducto, en aleaciones con estaño para fabricar vajillas y como pigmento blanco (Moreno, 2003).

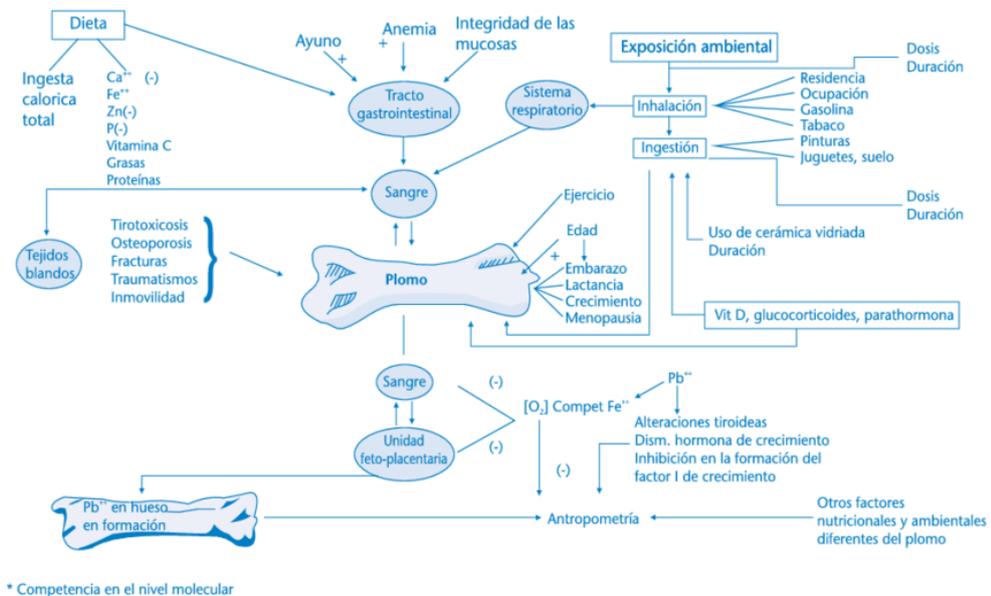
2.4.1. Metabolismo del plomo en seres humanos

A. Absorción

El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es hasta en un 50 % mientras que en el adulto es de 10%. El plomo por la vía digestiva ingresa a través del mismo sistema que el de calcio, lo que condiciona una gran absorción, ya que se absorben en el orden de 0,2 gramos de calcio al día. Dado que el plomo

compite por los mismos sistemas de transporte del calcio, a mayor concentración de calcio en la dieta, la absorción de plomo es menor (Calderón y Maldonado, 2008).

Figura 1: Modelo biológico del plomo



Fuente: Sanin *et al.*, 1998

Es importante destacar que su absorción dependerá mucho del estado nutricional la paciente y edad del paciente. Dependiendo del peso y hábitos dietéticos del paciente, este se absorberá con mayor rapidez en los estados déficit nutricional, una vez ingerido pasa por vía digestiva al torrente sanguíneo. Luego de su absorción, el plomo se distribuye en compartimentos. En primer lugar, circula en sangre unido a los glóbulos rojos, el 95% del plomo está unido al eritrocito, luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñones, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad. Luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico (Valdivia, 2005).



El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada. Su alcance y movilidad otorgada por la sangre le permitirá llegar a todos los órganos y tejidos del cuerpo: cerebro, nervios, hueso, riñones e incluso pasar al trinomio madre-placenta-hijo (Krantz y Dorevitch, 2004; Valdivia, 2005).

B. Distribución

Luego de su absorción el plomo se distribuye en el organismo a partir del plomo libre en el plasma; entra a los eritrocitos y al resto de las células del organismo para unirse a macromoléculas, se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, su gran afinidad por sales fosfato hace que se acumule en el hueso hasta en un 90%. Cruza la barrera hematoencefálica y la placentaria (Valdivia, 2005).

El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada.

El 95 % del plomo sanguíneo está unido a los eritrocitos. La vida media del plomo en el compartimento sanguíneo es de 35 días, pero pueden existir grandes variaciones individuales. El segundo compartimento lo constituyen los tejidos blandos (tejido nervioso, riñón, hígado, etc.). La vida media del plomo en este caso es de 40 días. De entre todos los compartimentos el esqueleto es quien contiene la gran mayoría (80-90%) del plomo almacenado en el organismo. La vida



media del plomo en el hueso es de 20 a 30 años. Una parte del plomo depositado a nivel óseo (tejido óseo trabecular) se encuentra en forma inestable, y por tanto fácilmente movilizable en determinadas condiciones (acidosis, decalcificación) y en equilibrio con la sangre. El resto queda almacenado (tejido óseo compacto) y va aumentando progresivamente a medida que continúa la exposición. Tanto los tejidos blandos como la sangre constituyen las unidades de intercambio activo, mientras que el esqueleto constituye la unidad de almacenamiento o de intercambio lento (Calderón y Maldonado, 2008).

Las sales de calcio se deshidratan y se hacen más compactas al interior de los huesos, generando el llamado hueso compacto, y la estructura de estas sales es un poco más laxa y más hidratada de la parte externa de los huesos, formando el hueso esponjoso. La deformación y degradación de estas sales permiten al organismo tener en el hueso un depósito interno de calcio, al grado que más del 90% de calcio se puede encontrar en el hueso.

Es decir, estas sales de fosfato de calcio, sobre todo las del hueso esponjoso, pueden romperse con enzima (fosfatasas) y liberar calcio a la sangre, incrementando sus concentraciones, o capturar calcio de la sangre formando las sales de fosfato de calcio y reduciendo la concentración de calcio en sangre, manteniendo una concentración estable de calcio, lo cual es necesario para el adecuado funcionamiento del sistema nervioso central y periférico, el muscular y muy diversas funciones del organismo. Aproximadamente 2 gr. de calcio al día se intercambian entre la sangre y el hueso. El plomo tiene gran afinidad



para asociarse con el fosfato, lo que permite la formación de sales de plomo en el hueso (Valdivia, 2005; Calderón y Maldonado, 2008).

C. Excreción

El plomo es excretado principalmente por la orina en un 90%, a través de filtración glomerular y secreción tubular. En mucha menor proporción el plomo puede salir por descamación y por algunas secreciones. La excreción total de plomo es muy lenta y limitada, porque se retiene unido a macromoléculas y sales de fosfato, además de que el organismo trata de conservarlo al confundirlo con calcio. Todo eso hace que al organismo le cueste años eliminarlo (Calderón y Maldonado, 2008).

Hay que recordar que en el hueso está depositado el 90% del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso (Valdivia, 2005).

2.4.2. Toxicidad del plomo en seres humanos

La cantidad ideal de plomo, como de cualquier otro tóxico, en el organismo debería de ser cero; es decir no tener nada del toxico. Sin embargo, en el caso del plomo esto no es posible debido a la contaminación natural y la generada por el hombre (antropogénica), los valores aceptados como “normales” de la concentración de plomo en sangre han variado notablemente a través de los años, conforme se han podido asociar efectos tóxicos a esas concentraciones. Se adoptó el índice de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$, lo que hasta ahora es válido, aunque actualmente se trata de bajar a 5, ya que se encuentra cada vez más evidencia de que niños con concentraciones entre



8 y 10, pueden presentar daño neurológico, que se refleja en su deficiencia académica, baja concentración y disminución de la atención (Calderón y Maldonado, 2008).

2.4.3. Síntomas de intoxicación con plomo en seres humanos

El plomo afecta principalmente a los sistemas gastrointestinal, nervioso, muscular y renal, causando problemas de poca intensidad y frecuencia, los que se incrementan al continuar la exposición y la intoxicación. Los síntomas predominantes son: cólicos abdominales, dolor de cabeza, náuseas y vómitos, tos, fatiga, problemas de conducta, fallas en la concentración, disminución de la eficiencia de aprendizaje y en el trabajo (Calderón y Maldonado, 2008).

2.4.4. Origen de intoxicación con plomo en animales

En el caso de los rumiantes la entrada de estos metales pesados puede iniciarse con los pastos consumidos, y que en muchas ocasiones tienen su origen en la actividad industrial desarrollada en las áreas donde los animales son criados (González, 2009).

Se ha comprobado que elevadas concentraciones de metales pesados como el plomo disminuyen la productividad y los índices reproductivos, afectan al sistema inmune, incrementando la susceptibilidad a las enfermedades, además de ser responsables de alteraciones mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas (Buck, 2003).

El envenenamiento por plomo puede ser consecuencia de que animales curiosos ingieran pinturas a base de plomo (bien pintura vieja y seca o pintura de envases vacíos), masilla de vidriero u otros materiales



para calafateo, aceite usado de motores, linóleo, gasolina con plomo, plomo sólido, soldaduras, materiales de cubrimiento de tejados, asfalto, o efluentes industriales en corrientes de agua o forrajes. La hierba próxima a carreteras con circulación intensa puede contener cantidades tóxicas de plomo procedentes de los tubos de escapes de los autos. Las fuentes naturales de plomo tales como la galena y el suelo no son particularmente tóxicas, aunque pueden sumarse a la carga total del organismo. La leche segregada por animales intoxicados por el plomo puede ser peligrosa para animales jóvenes. El vertedero de las explotaciones agropecuarias suele ser una fuente de venenos para los animales (Guillen y Medina, 2012).

2.4.5. Toxicidad del plomo en bovinos

Solo el 1-2% del plomo ingerido se absorbe en el tracto gastrointestinal formándose compuestos insolubles, incluso en el intestino. El medio ácido favorece la disolución del plomo y de sus compuestos inorgánicos. En la naturaleza, persiste indefinidamente. La dosis única letal oral aguda en terneros es de 50-600 mg/Kg con plomo o sales; vacuno adulto, 50-100 gramos dosis total en forma de acetato de plomo, o 600 a 800 mg/Kg procedentes de sales de plomo.

La toxicosis crónica se presenta si es ingerido durante un periodo de días, semanas o meses, la dosis oral crónica en terneros es de 1-3 gramos total/día; vacuno adulto, 6-7 mg de acetato de plomo/Kg/día durante 6-8 semanas (aunque puede enfermar con 6 mg/Kg/día durante 60 semanas cuando el plomo procede de pinturas). Ingeriendo prolongadamente



pequeñas cantidades puede desatar una enfermedad ligera o grave (Guillen y Medina, 2012).

Se produce por envenenamiento en los bovinos, el cual afecta el sistema nervioso central, cuando este tiene acceso al plomo, sumado a su curiosidad, la falta de selectividad hace común que tiendan a lamer o beber donde se encuentra el plomo, en cualquier forma de presentación en los alrededores donde se encuentran pastando.

Los síntomas de intoxicación son rápidos iniciando con ataxia, temblores musculares, con movimientos de masticación y expulsión de espuma de la boca. Marcada hiperestesia a los ruidos, manifestando muchas veces ceguera dando lugar a inseguridad de movimientos que lo hacen retroceder en cualquier momento. También se presenta dilatación pupilar, opistótomos y temblor muscular persistente en periodos de convulsiones clónicas y tónicas en forma intermitente sucediendo la muerte en una de estas convulsiones por insuficiencia respiratoria (Calderón y Maldonado, 2008).

2.4.6. Riesgos de consumo de plomo

Los síntomas que produce son anorexia, adelgazamiento progresivo, depresión, debilidad muscular, postración y constipación. Los animales vagan, rechinan los dientes, sufren cólicos y convulsiones (ATSDR, 2007).

A medida se superan estos límites existe el riesgo de intoxicación de plomo y arsénico en los bovinos, posiblemente provocada por el agua que estos consumen y por tanto dichos metales pueden encontrarse en la leche que

este ganado produce. Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud (NSO, 2009).

Tabla 1: Límites máximos permisibles de metales pesados.

PARAMETRO (mg/L)	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Arsénico	0.01
Plomo	0.02

Fuente: Basado en la Norma Salvadoreña, 2009

2.4.7. Plomo en leche cruda de vaca

La recomendación toxicológica que establece el Codex Alimentarius STAN 193-1995 sobre la ingesta semanal tolerable provisional de plomo para los seres humanos es de 0.025 miligramos por kilogramo de peso corporal; además indica que el valor numérico del nivel máximo permisible de plomo en leche es de 0.02 miligramos por kilogramo como se muestra en la tabla 2, la presencia de plomo en la leche representa un peligro, ya que puede causar diferentes enfermedades en animales y humanos si sobrepasa el límite máximo permitido en la leche de 0.02 mg x kilogramo de leche ó 0.002 mg/dl., según el CODEX general estándar para contaminantes y toxinas en comida y alimentos (Codex, 1995).

Tabla 2: Niveles máximos y niveles de referencia para plomo en los alimentos según Codex Alimentarius.

Producto Código	Nombre	Nivel mg/kg	Tipo	Notas/Observaciones para el Codex Alimentarius
LM 0106	Leches	0.02	NM	Debe aplicarse a un factor de concentración a la leche parcial o totalmente deshidratada

Fuente: Codex Alimentarius STAN 193- 1995

2.5. Arsénico

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. El arsénico ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal. El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico (ATSDR, 2013).

La mayoría de los compuestos inorgánicos y orgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan. No tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial. Por esta razón, generalmente no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire. El arsénico inorgánico se encuentra naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen cobre o plomo. Cuando estos minerales se calientan en hornos, la mayor parte del arsénico se elimina a través de la chimenea en forma de un polvo



fino que entra a la atmósfera. Las fundiciones pueden recuperar este polvo y remover el arsénico en la forma de un compuesto llamado trióxido de arsénico (As_2O_3) (ATSDR, 2015).

El arsénico se encuentra naturalmente en el suelo y en minerales y por lo tanto puede entrar al aire, al agua y al suelo en polvo que levanta el viento. También puede entrar al agua en agua de escorrentía o en agua que se filtra a través del suelo. Las erupciones volcánicas constituyen otra fuente de arsénico. El arsénico está asociado con minerales que se minan para extraer metales, como por ejemplo cobre y plomo, y puede entrar al ambiente cuando se extraen o funden estos minerales. También se pueden liberar a la atmósfera cantidades pequeñas. La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, en general entre aproximadamente 1 y 40 partes de arsénico por millón de partes de suelo (ppm) con un promedio de 3 a 4 ppm. Sin embargo, los suelos cerca de depósitos geológicos ricos en arsénico, cerca de algunas minas y fundiciones, o en áreas agrícolas donde se usaron plaguicidas con arsénico en el pasado, pueden tener niveles de arsénico mucho más altos. Generalmente, la concentración de arsénico en agua de superficie o subterránea es aproximadamente 1 parte de arsénico por billón de partes de agua (1 ppb), pero puede exceder 1,000 ppb en áreas de minería o donde los niveles de arsénico en el suelo son naturalmente elevados. Generalmente, el agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua de superficie. Normalmente, cantidades pequeñas de arsénico entran al cuerpo en el aire, el agua que bebe y los alimentos. De estas fuentes, los alimentos son la fuente principal de arsénico. (ATSDR, 2013).

Así, para el caso del arsénico, la población en riesgo de exposición supera los 150 millones, esto obliga a fortalecer los programas de saneamiento apoyados



en tecnologías emergentes como la bio y nanotecnología para el desarrollo de procesos y estrategias experimentales en tareas de detección, cuantificación y remediación (González *et.al.*, 2015).

2.5.1. Toxicidad del arsénico

La toxicidad del arsénico (As) es un problema de salud mundial que afecta a millones de personas. Está presente de manera ubicua en el medio ambiente porque se libera de fuentes naturales y artificiales. La biodisponibilidad del arsénico en la leche y los riesgos As para la salud humana debe evaluarse cuidadosamente. En Bangladesh, la investigación limitada sobre el As está en progreso, pero están restringidas en la determinación de As en el agua potable, el suelo y los cultivos (Ghosh *et al.*, 2013).

La vida media del arsénico inorgánico ingerido es aproximadamente de 10 horas y del 50 al 80% es excretado alrededor de 3 días, mientras que el arsénico tiene una vida media de 30 horas. El arsénico se absorbe en el organismo y se almacena principalmente en hígado, riñón, corazón y pulmón; más bajas cantidades son almacenadas en músculo y tejido nervioso; este metal ha sido considerado como un carcinógeno principalmente relacionado con cáncer de pulmón, riñón, vesícula y piel. El arsénico se incorpora a las uñas, cabello y piel uniéndose a los grupos sulfhídricos de la queratina, siendo estos tomados como biomarcadores de intoxicación por arsénico (Nava y Méndez, 2011).



2.5.2. Toxicidad del arsénico en bovinos

Es posible la presentación de cuadros sobreagudos de arsenicismo, caracterizados por muerte súbita. En los cuadros agudos (bovinos) se presenta intenso dolor abdominal, tialismo, gastroenteritis severa con diarrea acuosa, negruzca y fétida, atonía ruminal, taquicardia, oliguria, hipotensión, temblor, ataxia y postración. La situación lleva a shock por deshidratación y muerte. En la necropsia se constata severa abomasitis y enteritis, casi siempre de tipo hemorrágico, apreciándose mucus y sangre en el contenido gastrointestinal, el cual es de mal olor; la mucosa gastrointestinal se desprende con facilidad y es frecuente la presentación de zonas de necrosis en ésta. El hígado puede presentarse de color amarillento y friable, debido a degeneración grasa; es infrecuente el hallazgo de eritema y edema pulmonar. Los riñones presentan severa degeneración y necrosis tubular, con esclerosis glomerular, detectándose paralelamente proteinuria, cilindruria y hematuria (Badillo, 2016).

2.5.3. Origen de intoxicación con arsénico en animales

El promedio del contenido en la corteza terrestre es de 2 ppm, no obstante, la distribución es muy heterogénea. El arsénico se encuentra frecuentemente en aguas naturales. Este llega a ellas por la erosión de rocas superficiales y volcánicas (Infante y Palomino, 1994).

2.5.4. Riesgo de consumo de arsénico

Aún en concentraciones pequeñas puede acumularse en el organismo y producir intoxicación crónica, sus síntomas son animales deprimidos, sin apetito, débiles y torpes, con temblores, convulsiones, diarreas y



gastroenteritis hemorrágica. Produce problemas de constipación crónica, aunque pequeñas concentraciones le confieren al agua sabor desagradable lo que limita el consumo por parte de los animales. Los más susceptibles son los más jóvenes. La máxima concentración soportable por el vacuno, según distintos autores se estima de 0,15 a 0,30 mg/L, pero aún con estas concentraciones se pueden producir intoxicaciones crónicas. Se establece una concentración de Arsénico de 0.2 mg/L para aguas destinadas a la Bebida de animales, este valor lo establece la FAO la cual tiene un amplio margen de seguridad, se basa en concentraciones generalmente encontradas en aguas subterráneas y superficiales aptas para el consumo animal y no representan necesariamente los niveles de tolerancia de los animales. Dado que los niveles sin peligro dependen de muchos factores, entre los cuales se encuentra el consumo diario de agua por el animal y el peso del mismo (ATSDR, 2013).

2.5.5. Transporte de arsénico en las aguas

La condición para que exista una alta concentración de arsénico en las aguas subterránea es que este no se haya perdido por transferencia (flujo) o dilución, lo que confiere una dimensión temporal al problema, que en definitiva dependerá del régimen hidrogeológico y paleohidrogeológico del acuífero. El tiempo que tarda el arsénico en aguas subterráneas en perderse por flujo depende de varios factores, siendo un factor crítico el tiempo de residencia del agua en el acuífero: a menor tiempo de residencia, mayor tasa de renovación, y por tanto mayor tasa de pérdida de arsénico por flujo. La consecuencia directa es que, en general, en acuíferos profundos y “antiguos”



será mucho más difícil encontrar altas concentraciones de arsénico, requiriéndose en estos casos flujos muy lentos

El arsénico es extremadamente tóxico por bioacumulación. Exposiciones prolongadas durante mucho tiempo son extremadamente nocivas para la salud humana: diversos tipos de cáncer, patologías cardiovasculares, diabetes, anemia, y alteraciones en las funciones reproductoras, inmunológicas, neurológicas y del desarrollo (Perez, 2006).

El arsénico se halla en las aguas naturales como especie disuelta, la cual se presenta por lo común como oxianiones con arsénico en dos estados de oxidación, arsénico trivalente, arsenito, [As (III)] y arsénico pentavalente, arsenato, [As (V)]. El estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (potencial redox, Eh) y el pH (Pérez, 2006; Gonzales, 2015)

2.5.6. Arsénico en leche cruda de vaca

El arsénico tiene establecido un valor de potencia carcinogénica de 1.5 (mg/kg) por día; los riesgos son el cáncer de pulmón, de la piel y del hígado. Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud en la ciudad de León (México) sobre la contaminación de la leche de bovinos con metales pesados, han comprobado que bovinos que pastorean e ingieren agua de las orillas de ríos contaminados con desechos mineros, fumigaciones aéreas y aguas negras con metales pesados como arsénico, plomo, cadmio, mercurio y zinc (bioacumulables), presentan trazas de estos elementos en la leche. Además, se ha encontrado que una parte de estos elementos se encuentran unidos a compuestos orgánicos, principalmente en



las proteínas, mientras que, otros se asocian a una baja porción de grasa (RCE, 2006)

La Legislación de MERCOSUR (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay) establece el límite máximo permisible de arsénico presente en leche de vaca cruda de 0.05 miligramo (Díaz, 2013).

2.6. La leche

La leche, desde el punto de vista biológico, es la secreción de las hembras de los mamíferos, cuya misión es satisfacer los requerimientos nutricionales del recién nacido en sus primeros meses de vida. Desde el punto de vista legal, se entiende por leche natural al producto íntegro, no alterado ni adulterado y sin calostros, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de las hembras mamíferas domésticas sanas y bien alimentadas (Baró *et al.*, 2010).

La leche cruda de vaca como el producto íntegro, no alterado ni adulterado de la secreción de las glándulas mamarias de las hembras del ganado bovino obtenida por el ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas y libre de calostro; que no ha sufrido ningún tratamiento a excepción del filtrado y/o enfriamiento, y está exento de color, olor, sabor y consistencia anormales (NSO, 2008).

2.6.1. Propiedades fisicoquímicas de la leche

La leche es blanca y opaca debido a los fenómenos de reflexión y dispersión de la luz que provocan las partículas en suspensión coloidal, glóbulos de grasa y micelas de caseína. En su estado natural no tratada térmicamente, tiene un sabor ligeramente dulce, debido a la presencia en mayor cantidad de lactosa. Desde el punto de vista fisicoquímico, la leche



se caracteriza por ser una mezcla muy compleja de diferentes sustancias: caseínas, albúminas, lactosa, grasa, sales, vitaminas y otros (Baró *et al.*, 2010).

El pH de la leche es ligeramente ácido, alrededor de 6.4 a 6.7; con punto de congelación entre $-0.530\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0.550\text{ }^{\circ}\text{C}$; densidad relativa de 1.028 g/L a 1.033 g/L a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NSO, 2008).

2.6.2. Composición química de la leche

Las cantidades de los distintos componentes puede variar considerablemente entre distintas razas de vacas, e incluso entre distintos individuos de la misma raza; cuantitativamente, el agua es el componente más importante. En la leche encontramos cuatro tipos de componentes importantes: a) lípidos (triglicéridos), b) proteínas (caseínas, albúminas y globulinas), c) glúcidos (lactosa), d) sales, y otros componentes en cantidades mínimas: lecitinas, vitaminas, enzimas, nucleótidos, gases disueltos, etc. (Baró *et al.*, 2010).

A. Proteínas

Caseínas, constituyen el 80% de las proteínas totales de la leche de vaca, se agrupan en formas de polímeros constituidos por centenares o miles de moléculas individuales. Estos complejos moleculares se conocen como micelas de caseína. Proteínas del lactosuero, suponen el 20% del total de las proteínas y presentan una gran afinidad por el agua, estando solubilizadas en él. Se suele definir como las proteínas que quedan en solución cuando el pH de la leche se lleva hasta 4,6 (punto isoeléctrico de la caseína). Entre las proteínas del suero se distinguen:



α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, albúmina sérica, proteasaspeptonas, inmunoglobulinas y otras proteínas (Baró *et al.*, 2010).

B. Hidratos de carbono (lactosa)

Los hidratos de carbono de la leche están compuestos esencialmente por lactosa y, en pequeñas cantidades algunos otros azúcares (glucosa y galactosa) y otros hidratos de carbono como glucolípidos, glucoproteínas y oligosacáridos. La lactosa es un hidrato de carbono que solo se encuentra en la leche y es el componente mayoritario de la materia seca de la leche. En la vaca, la cantidad de lactosa aumenta a lo largo del ciclo de lactación, siendo su valor medio de 28-30 g/L en el calostro y de 45-50 g/L en la leche madura (Baró *et al.*, 2010).

C. Materia grasa

La materia grasa de la leche está constituida por lípidos y por una fracción insaponificable; los lípidos constituyen el 99% en donde el 98% está compuesto por triglicéridos y otros lípidos simples, como monoglicéridos y diglicéridos, y ésteres del colesterol; la fracción insaponificable es del 1%, agrupa aquellas sustancias que no reaccionan con el NaOH o el KOH para dar jabones, entre ellas están el colesterol, las vitaminas liposolubles (principalmente A y D) y pigmentos como carotenoides y xantofilas (Baró *et al.*, 2010).

D. Minerales y sales de la leche

La leche contiene sales tanto disueltas como en estado coloidal formando compuestos con la caseína. La mayoría de las sales son



inorgánicas como por ejemplo los fosfatos, aunque también las hay de origen orgánico como los citratos. Estas sales están constituidas por cationes metálicos y aniones orgánicos e inorgánicos. Los minerales de la leche se distinguen entre: macroelementos que son las sales mayoritarias de la leche constituidas por cloruros, fosfatos y citratos de potasio, calcio, sodio y magnesio; y los oligoelementos, la presencia de determinados oligoelementos dependerá de la alimentación y no del medio ambiente (Baró *et al.*, 2010).

2.7. Pelo

El AMT mide el nivel promedio de minerales en las células durante un periodo de dos a tres meses, la gama de minerales que se encuentra es la que efectivamente llega a los tejidos y está implicado en los mecanismos de renovación celular y la reparación, así como en los procesos metabólicos en el análisis de minerales se realiza mediante una investigación de laboratorio esto permite valorar:

Los niveles de minerales esenciales para la salud macro minerales y electrolitos minerales traza

Los metales tóxicos pueden ser depositados hasta tres meses antes de los análisis principales

2.8. Espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito

Es una de las formas de EAA de mayor sensibilidad (permite detectar concentraciones hasta 1000 inferiores que las detectables con llama), siendo por tanto muy útil en el análisis de ultra trazas. Otra gran ventaja es que se requiere muy poca cantidad de muestra (pocos microlitros, normalmente). La energía



requerida para la atomización es obtenida aplicando una diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito dentro del cual ha sido colocada la muestra. El tubo está alineado con la luz procedente de la lámpara espectral. Así, el vapor atómico generado por la muestra cuando el horno está encendido, absorberá luz proveniente de la lámpara del elemento a determinar. En este caso, la señal de absorción es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno. En el proceso de atomización existen 4 etapas esenciales:

- Secado: permite eliminar el disolvente o diluyente
- Mineralización o Calcinación: destruye la matriz orgánica
- Atomización: consigue llevar los átomos al estado fundamental
- Barrido o limpieza: elimina los restos que puedan quedar en el tubo (Kastenmayer, 1995).

2.9. Antecedentes

Ayala J. y Romero H. (2013) investigación titulada: “Presencia de Metales Pesados (arsénico) en leche de vaca al sur de Ecuador” El presente trabajo fue desarrollado en el Cantón Arenillas, provincia de El Oro, al sur de Ecuador. El objetivo de este consistió en determinar la presencia de arsénico y mercurio en la leche que se comercializa y que es obtenida del ganado vacuno existente en el lugar. Las muestras de leche fueron recolectadas de vacas lecheras de la zona y del mercado del cantón Arenillas. Luego fueron analizadas mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación de Vapor de Hidruros, previa digestión según normativa EPA y AWWA. Los resultados muestran que para el caso del arsénico se encontró presencia de este metal, no sobrepasó en



ningún caso el valor de 0,015 mg/kg que es el límite permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008.

Rafael Moreno Rojas (2018) investigación titulada: Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. El objetivo fue determinar la presencia de Cd, Pb, Ni y As en la cadena alimentaria de la leche de vaca, producida en zonas donde la alfalfa es cultivada en suelos irrigados con aguas residuales de procedencia industrial, doméstica y agrícola. Se muestrearon suelo y alfalfa de 16 sitios ubicados en cuatro zonas; la leche se colectó de 160 vacas, correspondiendo a 40 vacas de cuatro hatos diferentes por zona, todo en dos épocas del año y por triplicado. Se calculó el factor de bioacumulación (BCF), el factor de translocación (TF) y el valor de transferencia de los metales de la planta a la leche. Las plantas tuvieron un BCF <1, indicando que la alfalfa es resistente a los metales pesados. Sin embargo, el TF >1 en orden decreciente quedó de la siguiente manera: Zn; Cu; Ni; Pb y Cr, lo que muestra la existencia de gran movilidad de los metales dentro de la planta. La leche tuvo un contenido de Pb en un rango de 0.039 ± 0.02 a 0.059 ± 0.05 mg kg⁻¹, valores por arriba del límite internacional permitido. Sin embargo, los niveles de Pb y As fueron inferiores a los valores permisibles por la Norma Oficial Mexicana. Se concluye que la alfalfa es una planta acumuladora y resistente a los metales pesados, y cuando es cultivada en suelos contaminados, se convierte en un medio importante para la transferencia de metales pesados a los animales y son eliminados a través de la leche.

Medina S.A, Guillen R. y Medina O.R. (2013) investigación titulada: “Determinación de plomo en leche de ganado bovino en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, departamento de La Libertad, El Salvador.” El



objetivo de este consistió en determinar la presencia de plomo en leche de ganado bovino y agua habiendo muestreado ambos fluidos en tres ganaderías, situadas en el radio de contaminación con plomo de 1,500 metros declarada por el Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MARN) y tres ganaderías situadas fuera del radio de contaminación; calculando los resultados con el lector de absorción atómica. Los niveles de plomo presentes en las muestras de leche de las tres ganaderías dentro del radio de contaminación demuestran que la ganadería 1, presenta los niveles más altos conteniendo hasta 2,254mg/litro de plomo y de las tres ganaderías fuera del radio de contaminación la ganadería 4 presento valores de 0.820mg/litro, por lo que se aprecia que existen niveles de plomo en leche con valores no permitidos en los sitios dentro y fuera del radio de contaminación (4,100 metros). Los altos niveles de plomo en el agua fueron en fuera del radio de contaminación, han afectado el manto freático encontrando hasta 7.16mg/litro de agua a 33 metros de profundidad y dentro del radio se encontró 0.720mg/litro Se demostró que existe una relación entre las muestras de leche y agua en cuanto a la presencia y ausencia de plomo.

Rodríguez H. (2002), investigación titulada: “Metales pesados en leche cruda de bovino”. Se determinó el contenido de plomo, cadmio, cobre y zinc en 120 muestras de leche cruda pertenecientes a 5 establos ubicados en municipios del noreste de Nuevo León, México. En todos los establos evaluados se detectó la presencia de plomo, cadmio, cobre y zinc. Los intervalos de concentración para plomo oscilaron entre 0.8714 y 0.5998 mg/kg y para cadmio entre 0.3142 y 0.2794 mg/kg, que superan los niveles máximos permisibles establecidos por normas internacionales para leche cruda de bovino.



Molina R. (2015) investigación Titulada: “Análisis de arsénico y metales pesados (cadmio, manganeso, mercurio y plomo) en orina y cabello de población infantil residente en Huelva”, El objetivo de esto consistió en determinar las concentraciones de un metaloide (As) y de cuatro metales pesados (Cd, Mn, Hg y Pb) en muestras de orina y cabello de población infantil residente en Huelva. Los niveles de Pb, Mn y As hallados en el pelo y la orina de los niños que viven cerca de las zonas industriales y mineras fueron en cabello 0,0033 para As; 0,00022, 0.0913 para Pb. Los cuales se encontraron dentro de los límites de referencia y fueron similares a los valores observados en otros estudios de biomonitorización de la población infantil sin exposición a contaminación ambiental. No se encontró correlación significativa para cada elemento metálico entre la orina y el cabello. Los niños que viven cerca de las zonas agrícolas mostraron niveles más elevados de As (en el cabello). Las niñas mostraron niveles de metales traza en el pelo significativamente más altos que los niños. Las concentraciones más elevadas se encontraron en los niños que beben agua de pozo o manantial. Aunque los niveles de metales en el cabello no se correlacionan con los hallados en la orina, pueden ser una herramienta útil para la biomonitorización humana en la exposición a metales a largo plazo.

Las muestras de leche de vaca recogidas en diferentes granjas de la provincia de León presentaron una concentración media de plomo de 4.34 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Mientras para el arsénico en las muestras de leche, tanto individuales como de tanque, registraron concentraciones por debajo del límite de detección de la metodología empleada. Los diferentes metales pesados analizados estuvieron dentro de los rangos señalados por otras investigaciones, por ello el riesgo para la



salud del consumidor de leche de vaca procedente de explotaciones de la provincia de León es muy bajo, aunque no nulo, Moreno (2013).

Bárcena N.R. (2011) investigación titulada: “Determinación de metales tóxicos en leche de ganado bovino en el ámbito de la microcuenca lechera de Umachiri, región Puno”. El objetivo consistió determinar niveles de metales tóxicos en leche de ganado bovino de la microcuenca lechera de Umachiri. Se utilizó La espectrofotometría de emisión atómica - plasma acoplado inductivamente (ICP - AES) es un método moderno, simple y exacto, que se usó para la determinación de metales en leche cruda de bovinos en 15 establos ubicados en el ámbito de la "cuenca lechera de Umachiri", Región Puno, en muestras colectadas en botellas de polipropileno que posteriormente fueron sometidas a digestión neumática. Se determinó metales esenciales (Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe, Mn y Zn), tóxicos (Pb, As, Cd y Cr) y otros (Ag, Al, B, Ba, Be, Co, Mo, Ni, Se, Sn, Tl y V), mediante el método USEPA 200.7, hallándose que determinados elementos ligados a depósitos auríferos epidermales; se encuentran en proporciones exorbitantes. En el caso de Plomo, su presencia en leche cruda, excede hasta en 638 veces el límite máximo permisible (0,020 mg/kg, fijado por la Comisión Codex y la Unión Europea); además, el Cobre (0,05 mg/kg) es superado en 300 veces, y el Hierro (0,2 mg/kg) en más de 40 veces. De la misma manera, las concentraciones de metales en leche rebasan en varias veces a sus concentraciones normales: el Arsénico se halla en una proporción de 38 veces por encima de sus niveles normales. Y actualmente, se encuentran a niveles que representan un riesgo toxicológico en el consumo de leche.

Chata A. (2015) investigación titulada: “Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata 2015” el objetivo fue



determinar la relación de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche de la cuenca del río Coata 2015. El tipo de estudio fue de tipo transversal, el método que se aplicó fue EPA por espectrofotometría de absorción atómica-llama, se analizó seis muestras de agua y seis muestras de leche, donde la concentración promedio de arsénico fue 0.048mg/l, en el caso del plomo la concentración promedio fue de 0.014mg/. Ninguno de los metales pesados analizadas en muestras de agua superan los estándares nacionales de calidad ambiental para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo establecidos por el Ministerio del Ambiente Peruano.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

El presente estudio se realizó en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto. Que se localiza al sur del territorio peruano, limitado por el Norte con el departamento de Arequipa, por el Este con el departamento de Puno, por el sur con el departamento de Tacna y por el Oeste con el Océano Pacífico; tiene una superficie territorial de 15,733.97 km².

Tomándose las muestras en los distritos de Torata, por estar cercanos al río del mismo nombre, cuyos pobladores riegan sus cultivos con aguas que provienen de la actividad minera de la empresa Souther Cooper Corporation y Pasto grande; y en el valle de Moquegua teniendo en cuenta que los pobladores pastan sus vacas al costado de la carretera Panamericana Sur y la carretera Interoceánica. Pues es conocido que el aumento intenso y constante de las actividades desarrolladas por el hombre, incluyendo las actividades industriales, ha favorecido la producción y emisión de sustancias contaminantes hacia el medio ambiente.

El Centro poblado de Torata, que se encuentra al lado izquierdo del río Torata aprox. a 28 km al noreste de la ciudad de Moquegua, tiene una superficie territorial de 1 337 km² y se ubica a una altitud de 2 215 msnm en los 1° 04' 18" de latitud sur y 70° 50' 8" de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich. Limita por el Norte con Carumas y Sanchez Cerro, por Sur con Moquegua, por el Este con Tacna, por el Oeste con Moquegua.



3.2. Material experimental

3.2.1. De los animales

La muestra se ha obtenido por el método no probabilístico, con los siguientes criterios.

A. Criterios de inclusión

- Vacas en lactación de raza Holstein.

B. Criterios de exclusión

- Vacas que estén recibiendo un tratamiento con antibiótico por cualquier enfermedad.
- Vacas de primera y segunda lactación.
- Vacas que sus pastos que no estaban regadas con agua del río Torata.
- Criadores que no utilizan riego del Río Torata.

Tras estos criterios se tomaron 12 vacas, las cuales fueron identificadas del resto de animales.

3.3. Manejo de las vacas

3.3.1. Alimentación

Las vacas en estudio se alimentaron bajo un sistema de crianza semi extensivo, alimentadas con alfalfa mayoritariamente y ensilado con poca frecuencia. En cuanto al consumo de agua estas beben agua proveniente del río Torata.

Con evidente relación entre volumen de consumo y bioacumulación de metales.



3.3.2. Sanidad

La sanidad es asistida por técnicos de la Agencia Agraria Mariscal Nieto, quienes se encargan de monitorear cualquier alteración sanitaria.

3.4. Materiales para el recojo de muestras

Los materiales que se utilizaron para la recolección de muestras fueron los siguientes:

- Cooler de 20 litros
- Hielo (gel para congelar)
- Termómetro no digital
- Botellas de plástico de 500ml limpios y estériles con tapa.
- Bolsas ziploc medianas con cierre hermético
- Balanza
- Tijeras
- Pinzas
- Guantes
- Toallitas húmedas
- Plumón indeleble

3.4.1. Equipos

- Horno microondas multiware 3000-Anton
- Lámpara EDL(As.Pb.)
- Grafitos longitudinales
- Lámpara de Hg



3.5. Metodología

3.5.1. Preparación del animal para el muestreo

3.5.2. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó previa coordinación con la Agencia Agraria Mariscal Nieto y los productores donde se realizó el estudio.

A. Leche

Las muestras de leche se colectaron en los sectores de Calacala, Santa Rita, Yacango y Torata Alta, del Distrito de Torata

Las vacas fueron de la raza lechera Holstein que es la más común en Moquegua.

Las muestras de la leche fueron recolectadas durante el proceso de ordeña diaria acostumbrada en cada sector.

En cada sector mencionado anteriormente, se tomaron muestras de leche directamente de las vacas, de donde pastaban los animales del estudio.

Se colectaron 12 muestras de leche. Las muestras de leche se recolectaron en recipientes de boca ancha para llenarlo en unas botellas de plástico estériles ya rotuladas (número de muestra, sector, arete, número de parto, estado sanitario), de cada vaca se tomaron 500 mL. de leche.



Recolección de las muestras de leche individuales.

Previa desinfección de la ubre y de los pezones se realizó la limpieza y preparación de las vacas seleccionadas. Para ello se aprovechó la rutina de ordeño, que finalizó con la limpieza y secado de pezones con unas toallitas húmedas desechables, con el fin de asegurar al máximo la obtención de una muestra libre de contaminantes (estiércol, tierra o restos de alimento, etc.) (Licata et al., 2004). Se desecharon los primeros chorros del ordeño manual y se tomaron 50 ml de leche de dos pezones diferentes. La leche fue envasada en botellas de plástico, rotulados y conservados en el cooler aprox. a 4°C, para ser llevados inmediatamente al Laboratorio de Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, para realizar el respectivo análisis de metales pesados.

B. Muestra de pelo de vaca

Se colectaron 12 muestras de pelo de vaca, se colecto de la cabeza, lomo, cola hasta conseguir 100 gr. Antes de su colección se hizo el cepillado correspondiente para quitar las malezas, tierra o estiércol, para luego ser colocados en una bolsa de plástico con cierre hermético para evitar cualquier tipo de contaminación, posteriormente todas estas muestras fueron remitidas al laboratorio al igual que las otras muestras.



Procesado de las muestras y procedimientos analíticos

Procesado de las muestras.

Fueron analizadas 12 muestras, incluyendo la leche fresca y 12 muestras de pelo, cabe mencionar que las muestras de leche y pelo se tomaron a la misma vaca, siendo un total de 12 vacas materia de estudio en diferentes sectores de Moquegua, ubicados a los costados de la carretera panamericana e interoceánica.

3.5.3. Envío de muestras

Procedimientos analíticos.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, mediante espectroscopia de absorción atómica, para lo cual se utilizó un equipo marca PerkinElmer® modelo Optima 8000; según protocolos que el laboratorio utiliza.

3.6. Análisis estadístico

Los datos de metales pesados en la leche y pelo de las vacas fueron analizados mediante la prueba estadística de “t” (student) para muestras independientes, cuya fórmula es la siguiente:

$$T = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n_1 + n_2}}}$$

Dónde:



x_1 = Promedio de los niveles de plomo en pelo de las vacas del Valle de Moquegua.

x_2 = Promedio de los niveles de plomo en leche de las vacas del Valle de Moquegua.

s_1 = Desviación estándar de los niveles de plomo en pelo de las vacas del Valle de Moquegua.

s_2 = Desviación estándar de los niveles de plomo en leche de las vacas del Valle de Moquegua.

n_1 y n_2 = Cantidad de animales que constituye el grupo.

La varianza se determinó mediante la siguiente formula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \mu)^2}{N}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

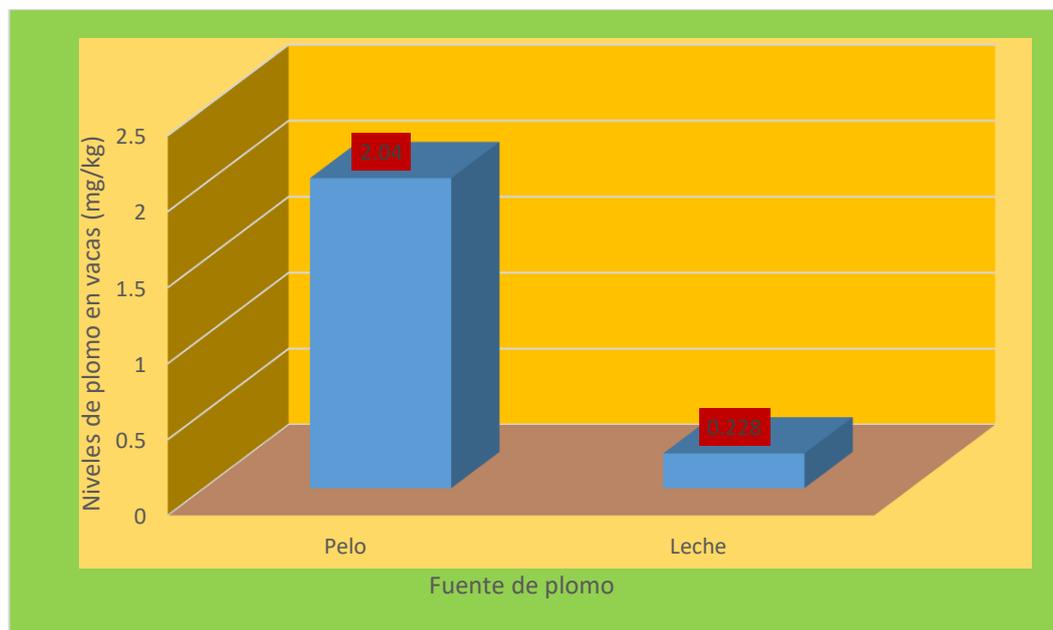
4.1. PLOMO

Tabla 3: Concentración de plomo (mg) en la leche (mL.) y pelo (gr.) de vacas del Valle de Moquegua.

FUENTE DE PLOMO	n	PROMEDIO \pm DS	V.E.
Pelo	12	2.0433 \pm 0.438 ^a	1.25 – 2.88
Leche	12	0.2867 \pm 0.082 ^b	0.22 – 0.52

^a y ^b Letras diferentes indican existe diferencias significativas ($P < 0.05$)

Figura 2: Plomo y arsénico en leche de vacas - Moquegua



En la tabla 3 y figura 2, se observa que las concentraciones promedio de plomo en la leche y pelo de las vacas del valle de Moquegua fueron diferentes ($P < 0.05$); donde se encontró en promedio 2.04 ± 0.438 mg de plomo en el pelo y 0.2867 ± 0.082 mg de plomo en leche. Los promedios encontrados en el presente



trabajo superan límites permisibles reportados y recomendados por (CE, 2006) e igualmente (Chata, 2015), manifiesta que, según estándares de permisibilidad de la Unión Europea, el plomo no debe superar el 0.02 mg/kg de leche; en este caso supera debido a que los animales podrían adquirir mediante el consumo de pastos y bebida de agua que contenga el metal por la actividad minera de Cuajone y el otro es que el ambiente del Valle de Moquegua esté contaminado por los vehículos que circulan en la Panamericana Sur del Perú, más que todo los vehículos que utilizan gasolina. Igualmente, (Bárcena, 2011) en la cuenca Llallimayo Umachiri – Puno, encuentra concentraciones de plomo en leche 638 veces superior al límite máximo permisible, es decir a 0.020 mg/kg de leche. Esta elevada concentración de debería a la actividad minera ARASI SAC, que está ubicado en la cabera de la cuenca Llallimayo, en el distrito de Ocuwiri.

Valores inferiores al presente estudio reporta (Pacco, 2018), quién registra concentración de plomo promedio 0.0256 mg /kg de leche en vacas alimentadas con pastos regados con agua del río de la cuenca Llallimayo. Igualmente, (Moreno, 2003), en estudios de metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Toxacla, México; determina la concentración de plomo de 0.039 mg /kg, siendo un valor superior al límite internacional permitido, este resultado obtenido es inferior a lo obtenido en nuestro estudio que también supera el límite máximo permisible establecido por la Unión Europea, lo que se debería a la acumulación de plomo en las hojas de alfalfa y estos al ser consumidos por los rumiantes se concentran más en los huesos largos y pueden ser movilizados a la leche de las vacas principalmente después del parto. Mientras, González M, et. al., (2006), al valorar diversos metales en muestras de leche de granjas localizadas en Asturias

(zona de gran actividad industrial y minera) encontraron los valores de plomo que oscilan entre 0,71 a 16,06 $\mu\text{g/l}$, estos valores de plomo son inferiores a los límites establecidos por las diversas reglamentaciones tanto nacionales como internacionales, si bien los valores más elevados aparecen en animales que pastan sobre zonas muy próximas a antiguas o a actuales minas de carbón.

Valores superiores al presente de estudio registra Rodríguez (2002), como 0.8714 y 0.5998 mg/kg de leche cruda de bovino de cinco establos del noreste de Nuevo León, México; estas concentraciones superan los niveles máximos permisibles establecidos por normas internacionales, esta superioridad se debería a factores tan variados como el agua de bebida del animal, los forrajes y/o el alimento balanceado; además de factores como la técnica y/o el método de análisis de los metales.

4.2. Arsénico

Tabla 4: Concentración de arsénico (mg) en la leche y pelo de vacas del Valle de Moquegua.

FUENTE DE PLOMO	n	PROMEDIO \pm DS	V.E.
Pelo	12	0.9616 \pm 0.530 \mathbf{a}	0.192 – 2.212
Leche	12	0.0916 \pm 0.046 \mathbf{b}	0.040 – 0.200

\mathbf{a} y \mathbf{b} Letras diferentes indican que existen diferencias significativas ($P < 0.05$)

Figura 3: Niveles de arsénico en leche de vacas - Moquegua



En la tabla 4 y la figura 3, se observa que, los niveles de concentración de arsénico en el pelo y leche de vacas pastoreadas en pastos regados con agua del río Moquegua contaminada por la actividad minera; fueron 0.9616 ± 0.53 mg/kg en el pelo y 0.0916 ± 0.046 mg en la leche de las vacas; estos contrastados a la prueba múltiple de significación de “t” (student) reflejaron diferencias significativas ($P < 0.05$). Esta diferencia posiblemente se debe a la disposición de pastos contaminados con el metal para la alimentación de los vacunos.

El laboratorio CERPER S.A. (Xstrata Tintaya S. A. 2009), reporta para arsénico valores menor a $0.06 \mu\text{g/kg}$ de muestra de hígado y riñón de los ovinos, no obstante que, estos no llegan a sobrepasar valores establecidos como permisibles para consumo humano. Igualmente, reporta en muestras de ovinos en un ámbito control sin actividad minera valores de arsénico en concentraciones por debajo del límite de detección. Este valor encontrado en el presente estudio fue superior al reporte Ponce R., et. al., (2006), quienes reportan, en el músculo de las llamas procedentes de Abra Pampa- Argentina, en la zona no contaminada los



niveles de arsénico de 0.132 ± 0.043 ng/g de peso fresco, son semejantes a los hallados en las llamas de Rinconadillas, zona contaminada 0.114 ± 0.062 ng/g peso fresco. Sin embargo, en la zona contaminada. Moreno, los contenidos de arsénico total se duplican 0.233 ± 0.041 pg/g de peso fresco. Respecto al arsénico inorgánico, los contenidos promedios hallados en el músculo de las muestras de Abra Pampa 3 ± 1 ng/g peso fresco y Rinconadillas 4 ± 2 ng/g peso fresco, no difieren significativamente entre sí. Las bajas concentraciones de arsénico inorgánico indican que la carne de llama no es un alimento de riesgo para los consumidores; que es diferente a lo obtenido en nuestro trabajo.

No obstante que, Gonzales M. (2006), en España registra este metal pesado arsénico en las muestras, concentraciones por debajo del límite de detección a través de la metodología empleada en forma individual, leche de cada una de las vacas ó del tanque. Los diferentes metales pesados analizados estuvieron dentro de los rangos señalados por otras investigaciones, es por ello el riesgo para la salud del consumidor la leche de vaca procedente de explotaciones de la provincia de León es muy bajo, aunque no nulo.

Estos valores encontrados en el presente estudio son superiores al reporte de Molina R. (2015) quién investigó arsénico y metales pesados (cadmio, manganeso, mercurio y plomo) en orina y cabello de población infantil residente en Huelva”, donde los niveles de Cd, Hg, Pb, Mn y As hallados en el pelo y la orina de los niños que viven cerca de las zonas industriales y mineras fueron en cabello 0.0033 para As y Cd; 0,00022 para mercurio; 0.0132 para Mn y 0.0913 para Pb y en orina 0, 120 para Mn, 0.002 para Hg, 0,030 para As y Cd y 0,830 para Pb. Los cuales se encontraron dentro de los límites de referencia y fueron similares a los valores observados en otros estudios de biomonitorización de la



población infantil sin exposición a contaminación ambiental. No se encontró correlación significativa para cada elemento metálico entre la orina y el cabello. En relación a estudios anteriores este resultado es menor y tiene cierta cercanía con el resultado a la cual arribamos con respecto a la concentración de los niveles de arsénico en el pelaje de los vacunos.



V. CONCLUSIONES

Los niveles de plomo en la leche y pelo de las vacas del Valle de Moquegua mostraron variabilidad y estos valores superan los límites permisibles según normas técnicas.

Los niveles de arsénico en la leche y pelo de las vacas del Valle de Moquegua muestran diferencias significativas y además superan los límites permisibles según normas técnicas.



VI. RECOMENDACIONES

Las instituciones pertinentes, centros de salud, oficinas de medio ambiente y zoonosis deben sensibilizar a la población sobre este factor de riesgos que están expuestos.

Implementar estrategias de vigilancia de metales pesados y extender investigaciones en el análisis de suelo, forraje y flora acuática en la cuenca del valle Moquegua.

Realizar estudios similares considerando en que lactación se encuentran las vacas porque en este estudio no se consideró este factor.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. and Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119: 177.
- Acosta, N.M., Castilla, Y. y Cortes, M. Identificación de riesgos químicos asociados al consumo de leche cruda bovina en Colombia. Ministerio de salud y Protección Social. Unidad de Evaluación de Riesgos para la Inocuidad de los Alimentos. 1 ed. Bogotá (Colombia): Instituto Nacional de Salud, 2011, 248 p
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Estudios de Caso en Medicina Ambiental (CSEM). (2013). La toxicidad del arsénico.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (2007). Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada). Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/plomo/es_pbplomo.html
- Alonso Díaz D. A. (2013). Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. Unión Europea Revisión, Octubre 2013.
- Arnous O.M, Hassan A.A.M. (2015). Heavy metals risk assessment in water and bottom sediments of the eastern part of Lake Manzala, Egypt, based on remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, (10), pp. 7899-7918. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-014-1763-6>
- ATSDR. 2015. The Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA. <http://www.atsdr.cdc.gov/>, 2013 Accessed Sept 29.



- Ayala Armijos, J. & H. Romero Bonilla. (2013). Presencia de metales pesados (Arsénico y Mercurio) en leche de vaca al sur de Ecuador. 17, 36-34. (2015) La granja. 17, 36-46).
- Barcena. N.R. (2011). Determinación de metales Tóxicos en la Leche de Ganado Bovino en el Ambito de la Microcuenca lechera de Umachiri – Puno.
- Baró Rodríguez, L., Lara Villoslada, F. y Corral Román, E. (2010). Leche y derivados lácteos. Tratado de Nutrición. Tomo II. 2a ed. (pp. 3 - 8). Madrid: Médica Panamericana D. L.
- Buck WB (2003). Toxicología Veterinaria Clínica (Spanish Edition) (Spanish) Paperback – October, 2003. Publisher: Acribia, Zaragoza.
- Burger, M., & Pose, D. (2010). Plomo Salud y Ambiente Experiencia en Uruguay. Montevideo-Uruguay.
- Calderón Salinas, J. V. y Maldonado Vega, M. (2008). Contaminación e intoxicación por plomo. 1ª ed. México: Trillas.
- Chary, N.S., Kamala, C.T., Suman, D.S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer 69, 513–524. doi:10.1016/j.ecoenv.2007.04.013
- Chata A. (2015) Presencia de Metales Pesados en Agua y Leche en la cuenca del río Coata. Puno-Perú.
- Codex. (1995). CODEX STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED. Codex stan.
- Combariza, B.D.A. 2009. Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración



- de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1– 115.
Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Badillo D.C. 2016. Determinación de la presencia de arsénico en leche cruda producida en la parroquia de Machachi (Tesis de pregrado).
- Ghosh, A., S. Majumder, M. A. Awal & D. R. Rao (2013). Arsenic Exposure to Dayri Cows in Bangladesh. 64, 151-159.
- Gonzales, R. (2009). Metales pesados en carne y leche de vacunos y certificación para la Unión Europea. Revista Colombiana de Ciencias Agropecuarias. Universidad de León, España. Disponible en: <http://rccp.udea.edu.co>. 22:3.
- Gu Y. G., Li Q. S., Fang J. H., He B. Y., Fu H. B. y Tong Z. J. (2014). Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the Pearl River estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105(1), 7–12. doi:10.1016/j.ecoenv.2014.04.003
- Guillen Paredes, R. y Medina Matus, S. A. (2012). Determinación de plomo en leche de ganado bovino en el cantón Sitio del niño, municipio de San Juan Opico, El Salvador. Tesis de Ingeniería no publicada, Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómica. Departamento de Medicina Veterinaria, San salvador, El Salvador.
- Infante L., Palomino S. Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Rio Rímac. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 1994.



- Kabata-Pendias A. Agricultural problems related to excessive trace element contents of soils. Salomons W, Mader P, Förstner U. (Eds), Pathway, Impact Eng. Asp. Met. Polluted Sites. Springer. 1995: 3–18.
http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-79316-5_1. Accessed Jun 23, 2016.
- Kastenmayer P. (1995) Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Depósito de Documentos de la FAO, Departamento de Agricultura.
- Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Giofrè, F., Martino, D., Calò, M., Naccari, F., Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International*, 2004. 30(1): p. 1-6.
- MOLINA, C., IBAÑEZ, C. y GIBON, F.M. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología*, 47(2), 2013, p. 99-118.
- Nava Ruiz, C. & M. Mendez-Armeta; (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio) 16, 140-147 (2017a). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio) 16, 140-147 (2017b). Neurotoxic effects of heavy metals cadmiun, lead arsenic and talium.16, 140-147.
- NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria): NSO.67.01.01:06 (20 – 06 - 2008). Productos lácteos. Leche cruda de vaca. Especificaciones (Primera actualización). Diario Oficial, Torno 189 N°380



- Pérez Carrera A. (2006). Taller de distribución del As en Iberoamérica, Arsénico en agua de bebida animal y alimentos de origen bovino. Buenos Aires Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires.
- Pineda, H.R. 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus L.*) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima
- Rodríguez Fuentes, H., Sánchez Alejo, E., Rodríguez Sánchez, M., Vidales Contreras, J. A., Karim Acuña, A. y Martínez Turanzas, G. (2005). Metales pesados en leche cruda de bovino. Recuperado de: <http://www.respyn.uanl.mx/vi/4/articulos/metales.html>.
- Sanín, L. et al., (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, 40(4). Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10640409>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0036-36341998000400009>
- Singh A., Sharma R. K., Agrawal M. y Marshall F. M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), 375–387. doi: 10.1016/j.fct.2009.11.041
- Unión Europea. (2016). Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. Recuperado de: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>



- Vázquez A.A., Justin C.L., Siebe C., Alcántar G.G. 2001. De La Isla De Bauer MDL. Cadmio, níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia* 2001;35:267-274.
- Infante L., Palomino S. 1994. Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Rio Rímac. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima.
- Gonzales L.2105. Determinación de la concentración de plomo y arsénico en agua para consumo animal y en leche cruda en cuatro ganaderías de El Salvador (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador.
- RCE (REGLAMENTO (CE), No 1881/2006 DE LA COMISIÓN. (2006). Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.
- Díaz A. (2013). Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. Unión Europea. Consultado en Octubre 2013.



ANEXOS



Figura 1 Materiales que se usaron para la toma de muestras.



Figura 2. Toma de muestra de leche



1Foto 3. Toma de muestra de pelo.



Foto 4. Muestra de pelo rotulada y pesado.



ANÁLISIS DE DATOS

PRUEBA DE T PARA VARIABLE PLOMO

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
									95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	Inferior	Superior
Plomo	Se han asumido varianzas iguales	11,588	,003	-13,652	22	,000	-1,756667	,128679	-2,023530	-1,489803
	No se han asumido varianzas iguales			-13,652	11,771	,000	-1,756667	,128679	-2,037641	-1,475692



PRUEBA DE T PARA VARIABLE ARSENICO

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
									95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		F	Sig.	t	gl.	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error t _{ij} de la diferencia	Inferior	Superior
Arsenico	Se han asumido varianzas iguales	10,015	,004	-5,664	22	,000	-,8699167	,1535936	-1,1884503	-,5513830
	No se han asumido varianzas iguales			-5,664	11,168	,000	-,8699167	,1535936	-1,2073554	-,5324779