

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Bioquímica y Farmacia

**“Determinación de metales pesados en leche cruda en una
hacienda modelo de la parroquia de Tarqui y Victoria del
Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay.”**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de
Bioquímico Farmacéutico.

Autoras:

Alison Fabiana Banegas Gualpa

CI: 0107351660

Correo electrónico: alisonbanegas5@gmail.com

Dayra Anabel Piedra Bonilla

CI: 1401060882

Correo electrónico: dayra_anabel@hotmail.com

Tutora:

Dra. María Fernanda Uguña Rosas

CI: 0103782280

Asesor:

Dr. José Guillermo Vidal Vidal. Mgt.

CI: 0102777331

**Cuenca, Ecuador
13 de Octubre de 2022**

RESUMEN

Actualmente existe una gran preocupación por parte de los Organismos de Salud a nivel mundial en los temas de toxicología alimentaria y la contaminación que tienen los alimentos por la presencia de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As) constituyendo un posible riesgo toxicológico para el hombre, además de los efectos tóxicos irreversibles a órganos diana, como es el caso del plomo, el cual lesiona el sistema nervioso central e interfiere en la síntesis de globulina llegando a causar saturnismo, mientras que, el cadmio y el arsénico pueden llegar a causar problemas gastrointestinales e insuficiencia renal. Estos metales son considerados de alto riesgo toxicológico y ecotoxicológico, debido a que al no degradarse van aumentando su concentración en la naturaleza por medio de la cadena trófica hasta llegar al ganado vacuno a través de forrajes contaminados con metales pesados, los cuales al ser ingeridos a través del pastoreo son excretados en la leche de vaca, la cual es expendida a la población en general y puede ser consumida por el ser humano constituyendo un riesgo para la salud humana. Así también, la presencia de metales pesados en leche es considerado un indicador de la contaminación medio ambiental, provenientes de diferentes actividades antrópicas, por tal motivo este estudio se realizó con el objetivo de conocer las concentraciones de metales pesados tales como plomo, cadmio y arsénico en leche cruda en una hacienda en la parroquia de Tarqui y Victoria del Portete, fueron analizadas 20 muestras mediante la técnica analítica de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Este estudio es de tipo observacional, descriptivo de corte transversal a conveniencia, en el cual el muestreo se realizó para 20 muestras en donde se encontraron valores superiores a los límites permisibles, en el caso del plomo se obtuvo como valor máximo de concentración en las muestras procesadas 5,640 mg/kg, del cual el valor referencial es de 0,02 mg/kg, según los requisitos de la norma NTE INEN 9:2012 para Leche Cruda. Por otro lado, para el cadmio se encontró un valor máximo de 0,365 mg/kg, del cual el valor referencial es 0,01 mg/kg según lo establecido en la Norma Higiénico Sanitaria de límites máximos de metales pesados en alimentos de la Normativa Técnica Rumana NTR orden 975/ 1998. Mientras que, para el arsénico la norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002 de especificaciones sanitarias de leche, indica que el valor referencial del arsénico es de 0,2 mg/kg y el valor máximo encontrado fue 0,514 mg/kg.

Palabras claves: Plomo. Cadmio. Arsénico. Leche cruda. ICP-MS.

ABSTRACT

There is currently a great concern on the part of Health Agencies worldwide on the issues of food toxicology and the contamination of food by the presence of heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As) constituting a possible toxicological risk to man, In addition to the irreversible toxic effects on target organs, such as lead, which damages the central nervous system and interferes with globulin synthesis, causing saturnism, while cadmium and arsenic can cause gastrointestinal problems and renal failure. These metals are considered to be of high toxicological and ecotoxicological risk because, as they do not degrade, their concentration increases in nature through the trophic chain until they reach cattle through fodder contaminated with heavy metals, which, when ingested through grazing, are excreted in cow's milk, which is sold to the general population and can be consumed by humans, constituting a risk to human health. Also, the presence of heavy metals in milk is considered an indicator of environmental contamination from different anthropogenic activities. For this reason, this study was carried out to determine the concentrations of heavy metals such as lead, cadmium and arsenic in raw milk from a farm in the parish of Tarqui and Victoria del Portete. 20 samples were analyzed using the analytical technique of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). This is an observational, descriptive study of cross-sectional convenience, in which sampling was performed for 20 samples where values above the permissible limits were found. In the case of lead, a maximum concentration value of 5,640 mg/kg was obtained in the processed samples, of which the reference value is 0,02 mg/kg, according to the requirements of the NTE INEN 9:2012 standard for raw milk. On the other hand, for cadmium, a maximum value of 0,365 mg/kg was found, of which the reference value is 0.01 mg/kg as established in the Sanitary Hygiene Standard for maximum limits of heavy metals in food of the Romanian Technical Regulation NTR order 975/ 1998. For arsenic, the Official Mexican Standard NOM-184-SSA1-2002 on milk health specifications indicates that the reference value for arsenic is 0,2 mg/kg, and the maximum value found was 0.514 mg/kg.

Keywords: Lead. Cadmium. Arsenic. Raw milk. ICP-MS.

Contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	7
Cláusulas	8
DEDICATORIA.....	12
AGRADECIMIENTOS	14
INTRODUCCIÓN	16
Objetivo general:	17
Objetivos específicos:.....	17
MARCO TEÓRICO.....	18
CAPÍTULO I	19
1.1 Generalidades	19
1.2. Plomo	20
1.2.1. Fuentes de exposición.....	20
1.2.2. Toxicodinamia	21
1.2.3. Toxicocinética	21
1.2.3.1. Absorción.....	21
1.2.3.2. Distribución	22
1.2.3.3 Metabolismo	22
1.2.3.4 Excreción.....	22
1.2.4. Sintomatología	23
1.2.5. Impacto en ganado vacuno	26
1.3. Cadmio	26
1.3.1. Fuentes de exposición.....	26

1.3.2. Toxicodinamia	27
1.3.3. Toxicocinética	27
1.3.3.1. Absorción.....	27
1.3.3.2. Distribución	27
1.3.3.3. Metabolismo	27
1.3.3.4. Excreción	28
1.3.4. Sintomatología	28
1.3.5. Impacto en ganado vacuno	29
1.4. Arsénico.....	29
1.4.1. Fuentes de exposición.....	30
1.4.2. Toxicodinamia	30
1.4.3. Toxicocinética	31
1.4.3.1 Absorción y Distribución.....	31
1.4.3.2 Metabolismo	31
1.4.3.3 Excreción.....	31
1.4.4. Sintomatología.....	32
1.4.5. Arsénico en ganado vacuno.....	33
1.5. Descripción de la leche.....	34
1.5.1. Definición biológica, fisicoquímica, legal e importancia.....	34
1.5.2. Composición química	34
1.5.3. Importancia y valor nutricional	35
1.5.4. Disposiciones generales.....	35
1.6. Fundamento de la técnica cuantitativa análisis en ICP-MS.....	36
1.7. Valores referenciales de metales pesados en leche	37
METODOLOGÍA	39
CAPÍTULO II	40
2.1. Tipo de estudio y diseño.	40
2.2. Muestra y muestreo	40
2.2.1. Recolección de las muestras.....	40

2.3. Método de análisis	41
2.4. Procedimiento.....	41
2.4.1. Preparación de muestras y digestión:.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
CAPÍTULO III	44
3.1. Resultados.....	44
3.2. Interpretación de resultados y discusión	47
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA:	53
ANEXOS	59
GLOSARIO	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales fuentes de exposición al plomo.	21
Tabla 2. Valores referenciales.	38
Tabla 3. Codificación de los animales muestreados.	40
Tabla 4. Lectura directa del ICP-MS luego de la digestión.	45
Tabla 5. Valor de coeficiente de regresión de la curva y límite de detección del método.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Toxicocinética del plomo en el organismo humano.	23
Figura 2. Modelo multicompartimental de distribución del plomo.	23
Figura 3. Parálisis del nervio radial.	24
Figura 4. Izquierda: Ribete de Burton en paciente con anemia secundaria a intoxicación por plomo. Derecha: Ribete de Burton en intoxicación crónica.	25
Figura 5. Toxicocinética del cadmio en el organismo humano.	28
Figura 6. Toxicocinética del arsénico en el organismo humano.	32
Figura 7. Manifestación clínica en la intoxicación por arsénico	33
Figura 8. Partes de un espectrómetro de masas.	37
Figura 9. Flujograma de toma de muestra	41
Figura 10. Flujograma del proceso de digestión	42
Figura 11. Lectura por ICP-MS de plomo, cadmio y arsénico en ppm de las muestras analizadas	46

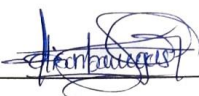
ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Muestras de leche cruda etiquetadas en condiciones adecuadas de transporte	59
Anexo 2. Recolección de leche cruda en una hacienda de Tarqui	59
Anexo 3. Sujeto de estudio representativo de la población analizada	60
Anexo 4. Toma de muestra en los recipientes	60
Anexo 5. Recolección de muestras en el lugar de estudio	61
Anexo 6. Resultados emitidos por el laboratorio de análisis química de agua y suelo de la Universidad de Cuenca	61

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Alison Fabiana Banegas Gualpa, autora del trabajo de titulación "**Determinación de metales pesados en leche cruda en una hacienda modelo de la parroquia de Tarqui y Victoria del Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 13 de Octubre de 2022



Alison Fabiana Banegas Gualpa

C.I: 0107351660

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Dayra Anabel Piedra Bonilla, autora del trabajo de titulación **“Determinación de metales pesados en leche cruda en una hacienda modelo de la parroquia de Tarqui y Victoria del Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 13 de Octubre de 2022



Dayra Anabel Piedra Bonilla

C.I: 1401060882

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Alison Fabiana Banegas Gualpa en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Determinación de metales pesados en leche cruda en una hacienda modelo de la parroquia de Tarqui y Victoria del Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 13 de Octubre de 2022



Alison Fabiana Banegas Gualpa

C.I: 0107351660

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Dayra Anabel Piedra Bonilla en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Determinación de metales pesados en leche cruda en una hacienda modelo de la parroquia de Tarqui y Victoria del Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 13 de Octubre de 2022



Dayra Anabel Piedra Bonilla

C.I: 1401060882

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía a lo largo de este camino, por otorgarme la seguridad y fortaleza que necesitaba y que me ayudó a culminar uno de mis propósitos.

A mis padres por siempre apoyarme, por brindarme su amor incondicional, por sus grandes consejos, por escucharme y siempre estar a mi lado.

A mis hermanos/as que me supieron comprender y ayudar en cada dificultad presentada.

A mis amigos/as quienes fueron mi soporte en este trayecto académico.

Y finalmente quiero dedicar este trabajo a mi persona por nunca desistir ni abandonar ninguna de mis metas

Alison Fabiana Banegas Gualpa

DEDICATORIA

A todas las personas que me han acompañado durante este trayecto.

Dayra Anabel Piedra Bonilla

AGRADECIMIENTOS

A María Caridad, quien me acompañó y me dio su apoyo incondicional por 13 años y que a pesar de ya no estar a mi lado siempre seguirá presente en cada pensamiento y paso que dé.

A Raymond A., por animarme y alegrarme en varias ocasiones, y por enseñarme que: “fallar es parte de la vida, no hay problema con eso, ahí es donde debemos afinar los resultados de los conocimientos que ya tenemos, si se falla se vuelve a intentar” y que “ las decisiones basadas en emociones nunca te llevarán a obtener los mejores resultados, la disciplina es la que te va a diferenciar de los demás”.

A la Dra. Fernanda Uguña por compartir su sabiduría, experiencia y conocimientos en el desarrollo de este trabajo demostrando su compromiso profesional y calidad humana.

Alison Fabiana Banegas Gualpa

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme en mi camino y permitirme cumplir con mis objetivos.

A mis padres por su apoyo incondicional y por ser ejemplo de perseverancia, humildad y sacrificio, fomentando el deseo de superación durante mi formación académica y personal.

A Marlene por sus consejos y enseñanzas y ser mi guía y total apoyo en las decisiones que he tomado.

A la Universidad de Cuenca por abrirme las puertas de su institución y permitir mi formación académica.

A la Dra. Fernanda Uguña por compartir su sabiduría, experiencia y conocimientos en el desarrollo de este trabajo demostrando su compromiso profesional y calidad humana.

Dayra Anabel Piedra Bonilla

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son persistentes y bioacumulables tanto en los ecosistemas como en el organismo humano y animal constituyendo un alto riesgo toxicológico y ecotoxicológico como contaminante, al no ser biodegradables se acumulan en los distintos niveles de la cadena trófica y llegan a afectar a organismos como el ganado vacuno y el hombre (Rodríguez Heredia, 2017).

La presencia de metales pesados como plomo, arsénico, cadmio en leche cruda constituye un tema de importancia en salud pública a nivel de Toxicología Alimentaria, debido a que estos metales se encuentran en concentraciones importantes en los efluentes y pueden provenir de actividades agrícolas, ganaderas e industriales. Los metales que se encuentran en estas fuentes antrópicas contaminan los suelos y los ríos, que son usados posteriormente para las actividades ganaderas pudiendo bioacumularse en el ganado bovino, estos animales pueden ingerir los metales pesados a través de forrajes contaminados con fertilizantes fosfatados o nitrogenados y aguas de regadío contaminados con metales e ingeridos a través del pastoreo, en donde estos elementos ingeridos, son excretados a través de la leche cruda, en concentraciones que pueden ser consideradas un posible riesgo toxicológico y genotóxico para el ser humano (Gutiérrez Arce, 2017; Patarroyo & Ochoa, 2020).

Con respecto a la problemática local, investigaciones desarrolladas en el suelo de zonas industriales de la ciudad de Cuenca, indicaron que las concentraciones encontradas fueron de 39 mg/kg de plomo y 0,7 mg/kg de cadmio, las cuales sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por el ministerio del ambiente, que determina un máximo de 25 mg/kg para plomo y 0,5 mg/kg para cadmio. De la misma manera existen estudios sobre la bioacumulación del plomo, del cual se ha observado un incremento notable en los últimos 5 años. Se ha demostrado que en la actualidad las personas adultas bioacumulan 400 a 1000 veces más plomo en el organismo, principalmente en los huesos, en comparación con generaciones de cincuenta años atrás. Estos datos nos dan un indicio sobre la calidad toxicológica del medio ambiente por tal motivo es importante conocer la biodisponibilidad en fuentes agrícolas destinadas para el consumo humano.

En el presente trabajo se investigó la presencia y concentración de plomo, arsénico y cadmio en leche cruda comparando las concentraciones con los valores establecidos para la Normativa Nacional vigente NTE INEN 9: 2012 (Requisitos para leche cruda),

la Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002 (Especificaciones sanitarias de leche) y la Norma Técnica Rumana NTR orden 975/1998 (Norma Higiénico Sanitaria de límites máximos de metales pesados en alimentos) lo que permite conocer la inocuidad o riesgo alimentario de la leche cruda.

Los objetivos propuestos para la presente investigación fueron:

Objetivo general:

- Cuantificar los niveles de concentración de metales pesados: plomo, arsénico y cadmio en muestras de leche cruda obtenida de un hato lechero en una hacienda en la parroquia Tarqui y sector de Victoria del Portete de la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos:

- Determinar las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en muestras de leche cruda mediante ICP-MS y evaluar la sensibilidad del método mediante estadística descriptiva.
- Evaluar si las concentraciones encontradas se encuentran dentro de las normativas nacionales e internacionales.
- Interpretar los valores de concentración en función del posible riesgo toxicológico.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

1.1 Generalidades

La leche de vaca se ha introducido como parte de la dieta humana, debido a la calidad nutricional y aporte energético que brinda en la alimentación ya que incluye proteínas de alto valor biológico, hidratos de carbono, grasas, vitaminas liposolubles, vitaminas del complejo B y minerales como el calcio y fósforo, por lo cual se lo considera un alimento importante en la población (Ormaza et al., 2022).

En la actualidad se ha incrementado la contaminación a nivel de la cadena alimentaria por diferentes metabolitos tóxicos y se han evidenciado sus posibles riesgos toxicológicos a nivel de la población y en distintos eslabones de la cadena trófica en su proceso de biomagnificación. Sus fuentes naturales en el medio ambiente incluyen la meteorización de las rocas y entre las fuentes antropogénicas están las emisiones industriales, la minería, la fundición y la aplicación de pesticidas y fertilizantes fosfatados en la agricultura. La combustión de combustibles fósiles también contribuye a la liberación de metales pesados como el cadmio al medio ambiente (Balali Mood et al., 2021; Pacco Choquepata, 2018).

Una característica fundamental que presentan los metales pesados estudiados, como plomo, cadmio y arsénico es que al ser consumidos por los bovinos no son metabolizados por lo tanto podrían originar su bioacumulación en algunos órganos diana de elección tales como: hígado, riñones, testículos, pulmones, huesos, corazón, sistema nervioso, músculo, tracto gastrointestinal, bazo. Estos metales pueden ser excretados por las glándulas mamarias de la vaca contaminando la leche que al ser consumida por las personas constituye un posible riesgo toxicológico por su bioacumulación a largo plazo que puede ocasionar graves trastornos de salud. La concentración elevada de estos elementos en los productos lácteos se considera un indicador del grado de contaminación de la leche y de igual forma de las condiciones ambientales del agua, aire, suelo y vegetación de la zona donde se localiza el ganado (López Salazar & Vázquez Huaranca, 2021).

Entre algunas de las alteraciones que pueden llegar a causar están: la inflamación sistémica severa, deterioro del sistema inmune el cual puede conducir a enfermedades crónicas como son la artritis y el cáncer. Así también se ha demostrado que factores exógenos como los metales pesados participan en la generación de especies reactivas

de oxígeno (EROs) y especies reactivas de nitrógeno (ERNs) que al haber una producción descontrolada puede generar estrés oxidativo, lo que conlleva al daño de muchas estructuras celulares e incluso pueden causar daños genotóxicos, esta alteración del estado oxidativo intracelular tiene un potencial para activar o sensibilizar una célula a la apoptosis (López Palacios, 2021).

Según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) el arsénico y el cadmio se encuentran como carcinógeno tipo I para el hombre, asociados principalmente a tipos de cáncer que afectan la piel (basalioma y carcinoma de células escamosas), linfoma, pulmón (carcinoma broncogénico), hemangiosarcoma hepático y cáncer de vejiga. Mientras que, el plomo inorgánico se encuentra como carcinógeno IIA para el hombre, este efecto carcinogénico también puede observarse en animales (Hidalgo Tapia, 2019; Garcés & Jeampierre, 2020).

1.2. Plomo

El plomo (Pb, con número atómico 82 y peso atómico de 207,19) posee ciertas características fisicoquímicas tales como: punto de ebullición de 1751°C y punto de fusión de 327°C, es blando al tacto, dúctil, de color grisáceo, se oxida rápidamente, al fundirse emite vapores tóxicos y se encuentra de forma natural en la corteza terrestre (Condori Acero, 2020).

1.2.1. Fuentes de exposición

La contaminación natural por plomo procede de explosiones volcánicas e incendios forestales. Las fuentes no naturales proceden de las actividades humanas, principalmente de las emisiones de plomo de la industria y el transporte. La *Tabla 1* muestra un resumen de las fuentes de exposición de plomo; se destaca la explotación minera, metalurgia, actividades de fabricación y reciclaje, este metal se encuentra ampliamente usado en las diferentes industrias e incluso el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o soldadas de este metal y lo podemos encontrar en los alimentos, aire, polvo, suelo y agua, en estos últimos se puede acumular y ser usados posteriormente para actividades ganaderas llegando a formar parte de la alimentación del ganado bovino a través del pastoreo (Azcona Cruz et al., 2015; Marcano Godoy, & Delvasto Angarita, 2016).

Se ha demostrado que la mayor concentración de plomo se encuentra en las emisiones atmosféricas, de esta manera se ha determinado que en las áreas rurales, los niveles de plomo en el aire son de 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dependiendo del grado de

contaminación, en zonas urbanas las cantidades de plomo en el aire pueden aumentar hasta $3 \mu\text{g Pb/m}^3$ (Zhang et al., 2015).

Tabla 1. Principales fuentes de exposición al plomo.

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2010).

Procesos industriales	Tabaquismo/ alimentación	Agua potable	Fuentes domésticas
Baterías plomo-ácido, materiales de plomería, cables de revestimiento, pinturas, esmaltes y municiones, gasolina y sus aditivos, exposición ocupacional	Fumadores activos, Alimentos contaminados con polvo, hortalizas en suelos contaminados (como minas o fundiciones)	Sistemas de plomería que contienen tuberías de plomo, soldaduras, accesorios o agua que ha estado en contacto con el plomo durante un periodo prolongado	Juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos, pintura de las paredes de casas antiguas y polvo

1.2.2. Toxicodinamia

El plomo interacciona con metales pesados esenciales como: Ca, Fe, Zn y Cu compitiendo con ellos e incrementando la permeabilidad celular además de afectar la síntesis de ADN, ARN y proteínas inhibe la síntesis del grupo hemo alterando a su vez, la síntesis de hemoglobina. El plomo compite por el sitio de unión con el calcio, hierro, cobre y zinc, por lo que altera las concentraciones de los mismos interviniendo en su metabolismo. Así también el plomo tiene la capacidad de inducir el estrés oxidativo, además, el plomo induce un aumento en la lipoperoxidación mediante la unión a la fosfatidilcolina en la membrana celular (Azcona-Cruz et al., 2015; Mendoza Oscorima & Medina Pillaca, 2013).

1.2.3. Toxicocinética

1.2.3.1. Absorción

El plomo puede ingresar al organismo por vía respiratoria (*Figura 1*) donde la absorción es del 40% y a través de la dieta, en donde el 10% del mismo se absorbe en adultos, mientras que en niños se absorbe del 30 - 50% (Mendoza Oscorima & Medina Pillaca, 2013).

1.2.3.2. Distribución

Tras ser absorbido, el plomo en el organismo sigue un modelo tricompartmental (*Figura 2*):

- El sanguíneo (el 2% del contenido total, cuya vida media es de 36 días).
- En los tejidos blandos (cuya vida media es algo más prolongada).
- El óseo (que representa el 90% del contenido total con una vida media de 10-28 años) (Rey et al., 2017).

1.2.3.3 Metabolismo

Del 95 al 99 % del plomo se une a proteínas de los eritrocitos con una vida media de 7 a 35 días, por donde, se transporta a través del torrente sanguíneo y llega a tejidos blandos, donde tiene una vida media de 40 días y una pequeña parte llega al cerebro, aquí puede permanecer hasta dos años y se acumula principalmente en la materia gris y ganglios basales. También se acumula entre un 85 - 90% en huesos y dientes debido a que tiene un metabolismo similar al del calcio y es favorecido por la vitamina D depositándose en forma de fosfato de plomo terciario (Rey et al., 2017).

1.2.3.4 Excreción

El plomo tiene la capacidad de atravesar la barrera placentaria y hematoencefálica, por lo que este metal es asociado a intoxicación fetal, abortos, mortalidad infantil e incluso esterilidad. Su eliminación es de aproximadamente un 80% mediante la orina, del 10 al 15% a través de las heces, y también se puede excretar entre un 5 y 10% en la leche, sudor, saliva, pelo y uñas (Mendoza Ocorima & Medina Pillaca, 2013).

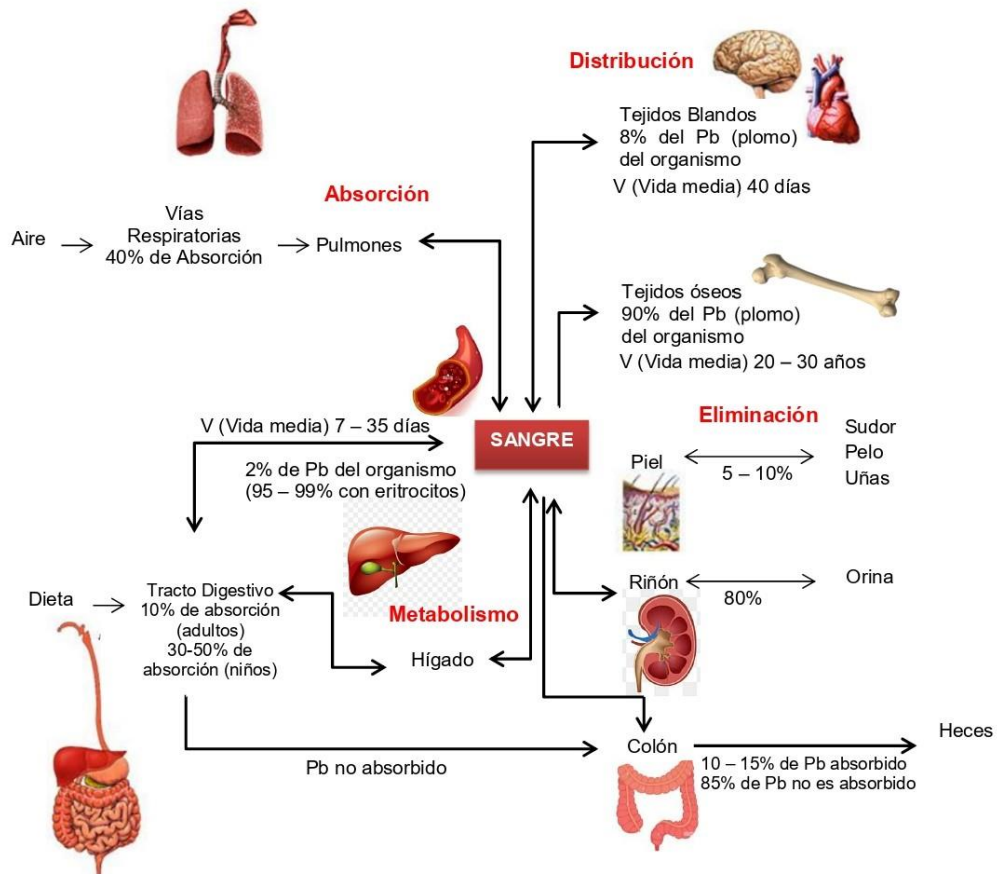


Figura 1. Toxicocinética del plomo en el organismo humano.
Fuente: Autoras.

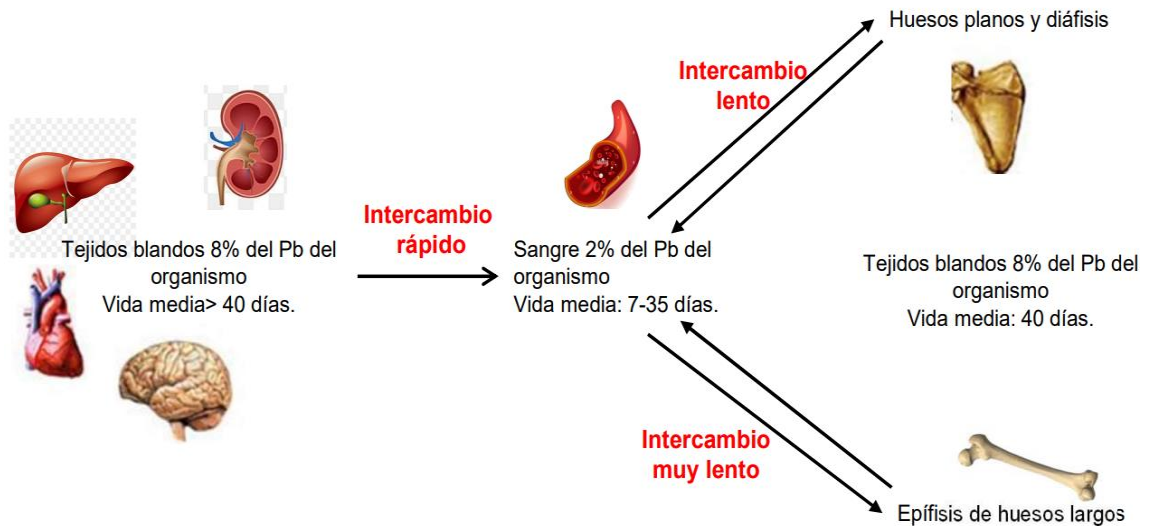


Figura 2. Modelo multicompartmental de distribución del plomo.
Fuente: Autoras.

1.2.4. Sintomatología

La sintomatología leve por intoxicación con plomo se puede manifestar con la disminución de habilidades verbales o problemas de concentración y memoria, se presenta con niveles en sangre entre 10 y 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$; los síntomas de intoxicación aguda

ocurren en concentraciones de plomo en sangre entre los 35 y 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ en niños y 40-60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ en adultos; y, la toxicidad severa, con valores ≥ 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ en niños y ≥ 100 $\mu\text{g}/\text{dl}$ en adultos. Algunas de las alteraciones sanguíneas pueden tener como causa directa la presencia de plomo, por ejemplo, la anemia microcítica es causada por deficiencia de hierro o hemoglobinopatía cuando el nivel del plomo en sangre es < 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Martínez Torres, 2019).

La intoxicación aguda se presenta cuando el paciente tiene una exposición al tóxico entre 24 horas hasta 15 días. Principalmente podemos encontrar parestesia, síntomas gastrointestinales, encefalopatía que puede cursar con edema cerebral, náuseas, vómitos, dolor, debilidad muscular, oliguria, albuminuria, crisis hemolítica que puede desencadenar una anemia hemolítica grave y hemoglobinuria (Polo Bravo & Sulca Quispe, 2018). Se presenta alteración renal, hepática y entre otros malestares aparecerán calambres musculares, debilidad, y algias en extremidades (Mendoza Ocorima & Medina Pillaca, 2013).

La intoxicación crónica se presenta cuando el paciente tiene una exposición al tóxico mayor a 3 meses. Es más grave en niños de 0 a 10 años a nivel del sistema nervioso central, debido a que en etapas tempranas de la vida existe una mayor capacidad de absorción de plomo y más susceptibilidad a sus efectos tóxicos, mientras que, en adultos es más común observar síntomas gastrointestinales (Rodríguez & Espinal, 2008). Se describen problemas de equilibrio postural y alteraciones de los nervios periféricos, presentando parálisis del nervio radial (*Figura 3*) debido a la disminución de la conducción del nervio y debilidad muscular (Poma, 2008).



Figura 3. Parálisis del nervio radial.
Fuente: (Poma, 2008).

El curso clínico se puede presentar en tres fases: impregnación, intoxicación franca e intoxicación antigua. El saturnismo se caracteriza por tener una fase de pre saturnismo, también llamada fase de impregnación que corresponde a la etapa asintomática o de síntomas inespecíficos como astenia, dispepsia, artralgiyas, mialgias,

pérdida de peso, insomnio y dolor abdominal. Se puede evidenciar en la clínica la presencia del denominado ribete de Burton (*Figura 4*) o línea de sulfuro, que es una línea oscura entre la base del diente y la encía, debido a que el sulfuro liberado por las bacterias se une al plomo generando depósito de sulfuro de plomo (Briceño Cabanillas, 2018).



Figura 4. Izquierda: Ribete de Burton en paciente con anemia secundaria a intoxicación por plomo. Derecha: Ribete de Burton en intoxicación crónica.
Fuente: (Cahuana Gonzáles, 2016).

Cuando la sintomatología empeora, comienza la conocida fase de intoxicación franca, aquí se tiene presencia de anemia con concentraciones a partir de 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$ de plomo. El cólico saturnino consiste en una crisis de dolor abdominal agudo, periumbilical, con vómitos, estreñimiento pertinaz y mal estado general. Se puede presentar encefalopatía por plomo y síndrome de hipertensión endocraneal. En niños se presenta encefalopatía y déficits cognitivos, alteraciones del comportamiento, déficits visuales y alteraciones de lenguaje. Por otro lado, la polineuropatía bilateral, simétrica afecta predominantemente a extremidades superiores, produce parálisis radial y después afecta a otros dedos y la extensión de la mano sobre el antebrazo que da lugar a una mano péndula y se puede extender hasta los miembros inferiores (Mendoza Ocorima & Medina Pillaca, 2013; Expósito & Hernández, 2014).

Y finalmente, en la etapa de impregnación antigua se da cuando la exposición es prolongada, como consecuencia se tiene hipertensión permanente, nefritis crónica asociada frecuentemente a la gota y alteraciones cardíacas, además puede causar nacimiento prematuras, abortos y niños con bajo peso debido al potencial teratógeno que tiene el plomo. En los hombres, la intoxicación prolongada puede alterar la calidad del esperma y se puede presentar astenozoospermia (Medina Pizzali et al., 2018).

1.2.5. Impacto en ganado vacuno

Se puede encontrar concentraciones elevadas de metales tóxicos en los derivados del ganado vacuno, como carne, queso y leche que pueden estar relacionados directamente con la cadena de producción como puede ser las prácticas de ordeño, matadero, transporte, así como del equipo usado para su procesamiento e industrialización. Así también, estas concentraciones están relacionadas con la edad, estadio, producción y genética del ganado (González Montaña, 2009; Tafur & Lapa, 2022).

Los bovinos y ovinos son las especies más susceptibles, si existe exposición al plomo por periodos prolongados los animales expuestos pueden tener elevados niveles de plomo en sangre sin ningún signo clínico aparente. El ingreso de plomo al organismo es por vía oral en particular, solamente el 2% de la cantidad ingerida es absorbida a nivel intestinal, y el resto es eliminado en las heces. La mayor parte de lo absorbido se distribuye al hígado, riñón y sistema nervioso, en el caso de los rumiantes se aloja en el retículo y se almacena, el resto se distribuye a varios órganos y tejidos como el óseo, por lo que se considera un metal tóxico sistémico. Existe una porción del plomo que puede ser eliminada por vía urinaria y láctea (Peña & Posadas, 2018; Vivas Garay, 2008).

1.3. Cadmio

El cadmio es un metal pesado (Cd, número atómico 48, masa atómica 111,40), blanco azulado, blando, dúctil, maleable, resistente a la oxidación y altamente reactivo. Las principales vías de exposición al cadmio son la inhalación y la ingestión de alimentos contaminados (Pernía et al., 2015).

1.3.1. Fuentes de exposición

Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

1. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente
2. Bioacumulación y baja excreción.
3. Persistencia en el medio ambiente.
4. "Viaja" grandes distancias con el viento y en los cursos de agua

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre con una concentración media de unos 0,1 mg/kg y puede liberarse en el suelo, aire y agua

donde se acumula y llega a formar parte de la cadena trófica. Otras fuentes de cadmio son las emisiones de actividades industriales, como la fundición de metales, la fabricación de baterías, pigmentos estabilizadores, aleaciones, combustiones, incineración de basura, tratamiento de aguas residuales, erosión de depósitos minerales entre otros (Briffa et al., 2020).

1.3.2. Toxicodinamia

El cadmio es un elemento tóxico debido a que tiene gran afinidad por los grupos sulfhidrilos (-SH), hidroxilos (-OH), carboxilos, fosfatil y cistenil de las proteínas intracelulares e inhiben las enzimas que poseen estos grupos, así también, tiene acción competitiva con elementos como el zinc, cobre, hierro y calcio por ende ocurre la inhibición de la actividad enzimática, procesos bioquímicos, síntesis de proteínas y absorción de hierro. Estos trastornos del metabolismo celular también dan lugar a producción de radicales libres y daña la peroxidación lipídica de las membranas celulares (Cárdenas Alcázar, 2017).

1.3.3. Toxicocinética

1.3.3.1. Absorción

La absorción por vía digestiva es secundaria a comparación de la vía respiratoria (*Figura 5*). La absorción va a depender de factores como: la forma química del compuesto, la dosis ingerida y el tiempo de exposición (Mendoza Ocorima & Medina Pillaca, 2013).

1.3.3.2. Distribución

Una vez absorbido, el cadmio se une a las células de la serie roja de la sangre y a la albúmina. Se distribuye ampliamente por el organismo, concentrándose principalmente en hígado y riñón. En el hígado y en el riñón se da la síntesis de un grupo de proteínas denominadas: metalotioneínas (MT), las mismas que se unen a metales y que servirán como “medio de transporte” (Mendoza Ocorima & Medina Pillaca, 2013).

1.3.3.3. Metabolismo

De esta manera, el cadmio tras ser absorbido, se transporta al hígado, donde se une a la metalotioneína presente en el mismo, e induce la síntesis de más metalotioneína, que secuestra a su vez cadmio de otros sitios de unión, protegiendo las células hepáticas de su toxicidad. El cadmio unido a metalotioneína (Complejo MTCd) se transporta por la circulación sanguínea hasta llegar al riñón, en el glomérulo se dará la

filtración y posterior a ello se va a reabsorber por pinocitosis en el túbulo proximal, como consecuencia el complejo MT-Cd se cataboliza en los lisosomas, liberándose iones de cadmio que inducen nuevamente la síntesis de metalotioneína en la célula renal (Raraz Palpán, 2015).

1.3.3.4. Excreción

El cadmio unido a esta proteína es eliminado en la orina y heces, cuando la cantidad de cadmio que ingresa al organismo excede la reserva de metalotioneína, la vida media del cadmio en el organismo es muy larga, entre 10 años a 30 años, por lo que puede acumularse en esta cantidad de tiempo en hígado y riñón especialmente (Raraz Palpán, 2015).

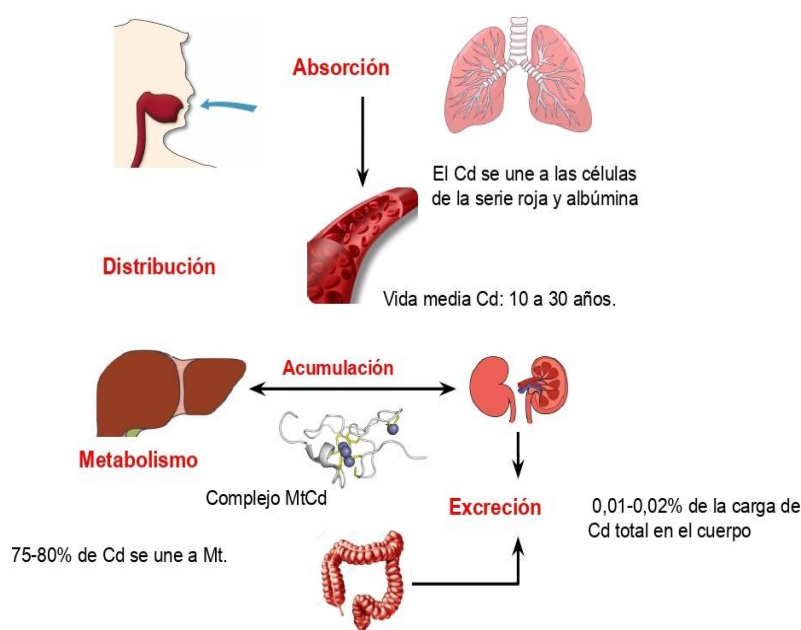


Figura 5. Toxicocinética del cadmio en el organismo humano.
Fuente: Autoras.

1.3.4. Sintomatología

La intoxicación aguda al cadmio en el caso de que el tóxico se encuentre en forma de vapor se considera entre 4 a 8 horas, caso contrario el tiempo definido es entre 24 horas hasta 15 días. La intoxicación de forma aguda se da principalmente por la ingestión de sales de cadmio, causando síntomas como náusea, vómitos y en muchos casos diarrea intensa con colapso y cefalea llevando incluso al choque, en la mayoría de casos de la intoxicación por sales de cadmio en el ganado de abasto se da por la exposición accidental a productos químicos agrícolas, sin embargo, esto es poco frecuente. Por otro lado, la inhalación de humos de cadmio puede irritar las mucosas produciendo fiebre, neumonitis, escalofríos, alteraciones digestivas, edema agudo del

pulmón y muerte por insuficiencia respiratoria. Al afectar la absorción del hierro también puede producir anemia (Mendoza Oscorima & Medina Pillaca, 2013).

La intoxicación crónica se presenta cuando el paciente tiene una exposición al tóxico mayor a 3 meses. La exposición crónica al cadmio puede generar complicaciones como nefropatía, en forma de tubulopatía proximal o de glomerulopatía, puede cursar con proteinuria, microhematuria, aminoaciduria, glucosuria e hipertensión arterial. La inhalación de sales de cadmio u óxido de cadmio de manera crónica está relacionada al enfisema pulmonar, fibrosis pulmonar, rinitis y anosmia por lesión del nervio olfatorio, pigmentación amarilla de los dientes y anorexia. Mientras que, la ingestión prolongada del cadmio es poco frecuente, pero se caracteriza por lesiones en el túbulo renal proximal, osteomalacia, enteropatía, osteoporosis con fracturas múltiples y anemia (Mendoza Oscorima & Medina Pillaca, 2013; Lasluiza Quishpe, 2022).

1.3.5. Impacto en ganado vacuno

El cadmio es absorbido por el ganado vacuno entre el 1 al 6% de la dosis administrada, mientras que, el ser humano tiene la capacidad de absorber hasta el 10%. En rumiantes, a pesar de que la absorción es baja la retención en el organismo es elevada, particularmente en los riñones, donde la vida media puede ser de varios años y tiene alta susceptibilidad debido a los largos períodos de alimentación en pastos (Antón Esteban, 2017).

A través del pastoreo el ganado puede ingerir hasta el 18% de tierra, que da lugar a una exposición significativa a compuestos tóxicos como plaguicidas, toxinas microbiológicas, metales pesados y medicamentos presentes en el suelo. En el caso de los terneros siempre pastan en rebaño y tienen alta sincronía en el comportamiento por lo que, en una manada tienen la misma vegetación disponible, por ende, la misma dieta e igual capacidad de absorción de metales disponibles en el hábitat, pudiendo encontrarse la misma concentración en todo el ganado. Sin embargo, en entornos amplios hay heterogeneidad en el patrón de alimentación, estos aspectos son importantes para predecir el riesgo de exposición a metales pesados (Antón Esteban, 2017).

1.4. Arsénico

El arsénico (As, con número atómico 15, peso molecular de 30,974) es de color gris, aspecto metálico y brillante, perteneciente al grupo VI del sistema periódico, tiene la capacidad de formar compuestos orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente y en

el cuerpo humano, y a su vez se puede presentar en algunos estados de oxidación como: arsenato $As+5$, arsenito $As+3$ y arsina $As-3$. Su punto de ebullición es de $613^{\circ}C$ y su punto de fusión es de $817^{\circ}C$. La toxicidad presente en este elemento depende en gran medida de su estado de oxidación y solubilidad, va a aumentar de manera significativa con la reducción de su estado de oxidación; el arsénico pentavalente ($As+5$) es 5-10 veces menos tóxico que el arsénico trivalente ($As+3$). El arsénico al tratarse de un elemento natural va a presentar propiedades físicas y químicas de metales, así como de no metales. Todos los compuestos de arsénico son tóxicos, el estado de oxidación del arsénico y la dosis suministrada determinará su grado de toxicidad, considerado Carcinógeno tipo I para el hombre (Hernández, 2018).

1.4.1. Fuentes de exposición

En la corteza terrestre el contenido de arsénico se encuentra entre 1,5 y 2 mg/kg, está en el puesto número 20 de la lista de los elementos más abundantes, por lo que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, los organismos vivos y en varias actividades laborales humanas (Hernández, 2018). Los trabajadores que producen o utilizan compuestos de arsénico en ocupaciones como la cerámica, la fabricación de vidrio, la fundición, el refinado de minerales metálicos, la fabricación y aplicación de plaguicidas, la conservación de la madera y la fabricación de semiconductores pueden estar expuestos a niveles sustancialmente más altos de arsénico (Briffa et al., 2020).

La toxicidad del arsénico depende en gran medida de la forma en que esté presente. Las formas de arsénico inorgánico, típicas del agua potable, son mucho más tóxicas que las orgánicas, presentes en los alimentos de origen marino. Debido a la cantidad excesiva de arsénico que está presente en el agua potable, aguas subterráneas y agua de los ríos, las personas se ven afectadas por enfermedades como el cáncer de piel, neurotoxicidad, úlcera y hasta la muerte (Singh Sankhla et al. 2018).

1.4.2. Toxicodinamia

El arsénico bloquea la glucólisis, causa desajustes en el metabolismo energético ya que va a bloquear el ciclo de Krebs, interacciona con los grupos sulfhidrilos de las proteínas alterando varias rutas enzimáticas. Inicialmente se encuentra localizado en los glóbulos rojos unido a la globina de manera transitoria por otro lado, se une en forma más estable a la transferrina alterando la eritropoyesis y por lo tanto ocurre depresión de la médula ósea y esto se manifiesta como anemia y leucopenia. El arsénico se acumula en la mitocondria, inhibe la deshidrogenasa succínica y desacopla la fosforilación oxidativa; el resultado es una pérdida de los niveles de ATP

que afecta a toda función celular, provocando un desbalance de estos electrolitos y en la síntesis de proteínas (Morales & Hidalgo, 2015).

1.4.3. Toxicocinética

1.4.3.1 Absorción y Distribución

Al ingresar el arsénico al organismo por vía digestiva, inhalatoria o cutánea (*Figura 6*), viaja a través de la sangre unido a una globulina para distribuirse en su mayoría al hígado, pared intestinal, tracto digestivo, riñones, bazo, hueso y piel, se encuentran pequeñas cantidades a nivel muscular y tejido nervioso. Para después proceder a unirse a los grupos sulfhidrilos de las proteínas tisulares. Múltiples factores como: características de solubilidad, movilidad gastrointestinal, pH gástrico, forma física del compuesto van a influir en la eficiencia de la absorción (Morales & Hidalgo, 2015).

1.4.3.2 Metabolismo

La absorción del arsénico ocurre en el intestino delgado, una vez absorbido, ocurre una etapa de reducción que convierte el As^{+5} en As^{+3} , el As^{+3} ingresa a los hepatocitos gracias al glutatión reducido (GSH) el cual actúa como transportador del arsénico. En los hepatocitos se lleva a cabo una segunda etapa de biotransformación en distintos subproductos, que al final, terminan por ser metilados obteniendo así compuestos orgánicos: ácido monometil arsénico (MMA) y ácido dimetil arsénico (DMA) las cuales poseen un potente efecto tóxico (Morales & Hidalgo, 2015).

1.4.3.3 Excreción

La vida media del arsénico dentro del organismo es de unas 10 horas, sin embargo, a través del riñón, la mayor parte del arsénico inorgánico absorbido se excreta por la orina, por lo que se puede detectar arsénico en orina hasta el décimo día después de la exposición y una pequeña cantidad lo hace por las heces, bilis, sudor, células descamadas, pelo y leche (Morales & Hidalgo, 2015).

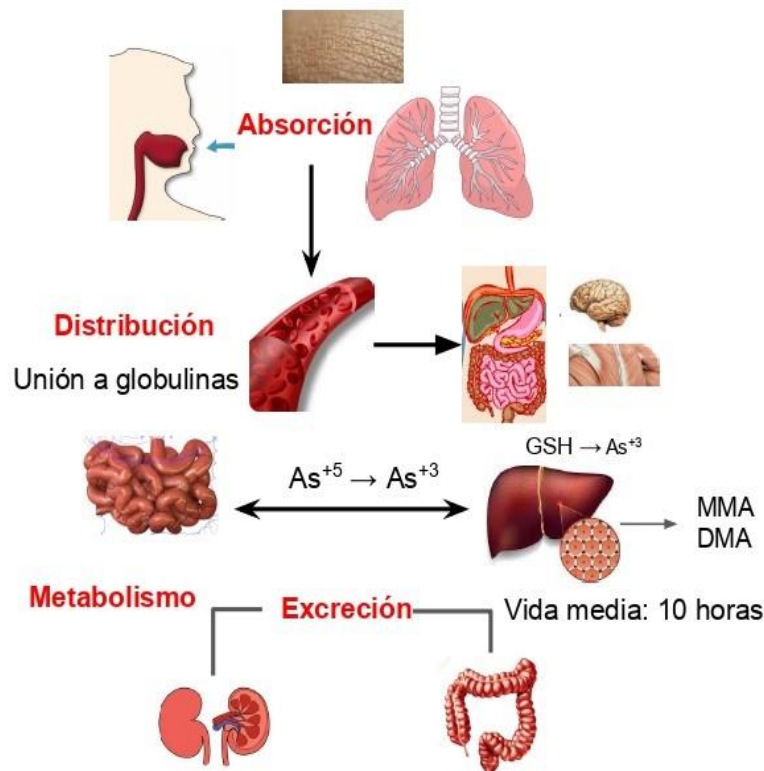


Figura 6. Toxicocinética del arsénico en el organismo humano.
Fuente: Autoras.

1.4.4. Sintomatología

La intoxicación aguda por arsénico se considera cuando la exposición al tóxico es hasta de 15 días y los síntomas iniciales sensitivos pueden aparecer entre 2 y 4 semanas después. Se pueden presentar como un cuadro gastrointestinal severo con dolores abdominales, vómitos, diarreas profusas, deshidratación, fiebre, insomnio, anemia, hepatomegalia, melanosis, alteraciones cardíacas. En pacientes seriamente envenenados se puede manifestar un olor a ajo en el aliento y en las heces, así como un sabor metálico en la boca, ardor de labios y disfagia. El efecto neurológico más frecuente es la pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico aparece una a dos semanas después de exposiciones grandes (Morán et al., 2013).

La intoxicación subcrónica se considera cuando la exposición al tóxico es hasta 90 días a partir de esto la intoxicación se convierte en crónica o grave. Las manifestaciones principales son gastroenteritis hemorrágicas, alteraciones degenerativas hepáticas que pueden llegar a desencadenar una cirrosis, lesiones y presencia de vesículas en el tracto gastrointestinal. Los síntomas gastrointestinales pueden surgir poco a poco, al grado de que no se considera la posibilidad de intoxicación por arsénico y puede confundirse con otra enfermedad haciendo que el paciente no reciba el tratamiento adecuado. También se presentan cuadros irritativos

cutáneos eccematoides (*Figura 7*) con melanosis e hiperqueratosis, conjuntivitis, necrosis corneal, perforación del tabique nasal, anemia, alteraciones cardiovasculares, con gangrena de extremidades, el cuadro más importante es la neuritis periférica (Morán et al., 2013).



Figura 7. Manifestación clínica en la intoxicación por arsénico
Fuente: (Rodríguez Padilla, 2021).

Se considera intoxicación crónica cuando hay una exposición al arsénico mayor a 3 meses y produce efectos multisistémicos como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, elevación de las transaminasas, hipertensión portal no cirrótica, neuropatía periférica sensoriomotora, insuficiencia vascular periférica, alteraciones cutáneas y cáncer de pulmón en quienes inhalan crónicamente As. Se han descrito otras neoplasias en la vejiga, el riñón y el hígado y puede llegar a causar cáncer de piel, hígado, riñón y próstata y neurotoxicidad (Morán et al., 2013).

1.4.5. Arsénico en ganado vacuno

El arsénico inorgánico (arsenito de sodio) se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal y en la piel por ser una sal muy soluble, este arsenito de sodio sufre una transformación a dimetil arsénico el cual se excreta, sin embargo al ingerirse en dosis altas puede interactuar con los grupos sulfidrilos de las proteínas afectando la función de diversas enzimas y posteriormente distribuirse a diversos órganos como son el hígado, riñones, pulmones, huesos, y tejidos queratinizados, como el pelo, pezuñas y uñas pudiendo quedar así depositados durante mucho tiempo. En las uñas se produce líneas transversales de color blanquecino también llamadas líneas de Mee, las mismas que aparecen en consecuencia de un consumo prolongado. Otro compuesto inorgánico es el trióxido de arsénico, sal poco soluble, este se absorbe muy lentamente y, en general, se excreta sin modificaciones por las heces (Peña & Posadas, 2018; Vivas Garay, 2008).

La vida media del arsénico inorgánico ingerido es de 10 h y el resto se excreta en tres días, por la piel. Los compuestos orgánicos e inorgánicos de arsénico son excretados por orina, heces, transpiración y leche. Una de las formas más rápidas de excreción se realiza por vía urinaria, ya que a las 5 a 6 horas luego de la ingestión del tóxico, se lo puede detectar en orina, manteniéndose su eliminación por esta vía durante 14 días en el bovino (Peña & Posadas, 2018; Vivas Garay, 2008).

1.5. Descripción de la leche

1.5.1. Definición biológica, fisicoquímica, legal e importancia

La INEN NTE 9, 2012 define la leche como el producto de la secreción normal de la glándula mamaria obtenida a partir del ordeño íntegro e higiénico de vacas sanas, sin adición ni sustracción alguna, exento de calostro y libre de materias extrañas a su naturaleza, destinado al consumo en su forma natural o a elaboración ulterior. La denominación de leche cruda se aplica para la leche que no ha sufrido tratamiento térmico, salvo el enfriamiento para su conservación, ni ha tenido modificación alguna en su composición.

1.5.2. Composición química

La composición química depende de muchos factores como la especie, raza, variabilidad animal, edad, fase de lactancia, alimentación, condiciones fisiológicas, higiénicas y el estado de salud del animal, sin embargo, los procedimientos para venta aseguran una composición constante, por ejemplo, según la norma INEN NTE 9, 2012 los valores exigidos en la composición química de la leche es un mínimo 3% de grasa; 2,9 % de proteína y 11,2% de sólidos totales. Dentro de los parámetros microbiológicos el conteo aceptable de bacterias totales es de hasta 300×10^3 UFC/ml. El agua es el componente más abundante de la leche y la lactosa es el componente más abundante del extracto sólido, la grasa se encuentra en forma de glóbulos grasos compuesto por el 67% de ácidos grasos saturados, la caseína presente en la leche es importante para la elaboración de quesos y productos fermentados, las vitaminas se encuentran en menor proporción pero ayudan al crecimiento, mantenimiento y funcionamiento del cuerpo humano, así también, contiene enzimas con actividad antimicrobiana, anticuerpos que pueden tener función de defensa o ser hormonal (García et al., 2014).

1.5.3. Importancia y valor nutricional

La leche de vaca es un alimento básico y clave en la alimentación humana en todas las etapas de la vida, por su excelente relación entre la calidad nutricional y el aporte energético. Todo esto hace de la leche uno de los alimentos más completos y equilibrados, sin embargo, puede contribuir al sobrepeso y la obesidad infantil (Fernández Fernández et al., 2015).

Investigaciones recientes hacen énfasis en el valor nutricional de la leche y su importancia para determinadas patologías como la enfermedad cardiovascular, actúa como inmunomodulador, algunos tipos de cáncer, hipertensión arterial, en patología ósea o dental y en la lucha frente al sobrepeso y la obesidad. Así también, estudios han demostrado que tiene función antimicrobiana debido a que aumenta la permeabilidad de la membrana celular en microorganismos susceptibles y facilita su eliminación, tanto gram positivos como negativos (Sánchez et al., 2020).

Se demostró que los mecanismos involucrados en la coagulación de la leche, interacción k-caseína/quimosina, y la coagulación de la sangre, interacción fibrinógeno/trombina, son comparables, por lo que posee actividad antitrombótica. Finalmente, debido a que la leche es la principal fuente de calcio alimentario está relacionado con la salud ósea y dental, el calcio en la leche tiene una alta biodisponibilidad, aproximadamente del 30 - 43% debido a la ausencia de factores inhibidores y a la presencia de otros componentes como la lactosa y caseína (fosfopéptidos) que evitan su precipitación (Sánchez et al., 2020).

1.5.4. Disposiciones generales

La norma NTE INEN 09, 2012 de requisitos de leche cruda, dispone que la leche cruda no es apta para el consumo humano cuando:

- Es obtenida de animales cansados, deficientemente alimentados, desnutridos, enfermos o manipulados por personas enfermas.
- Es alterada por sustancias ajenas a la naturaleza del producto como: conservantes como formaldehído, peróxido de hidrógeno, cloraminas o adulterantes como harinas, almidones, sacarosa, cloruros o grasa vegetal; neutralizantes, colorantes o antibióticos.
- Contiene calostro, sangre, o cuando la leche se obtiene entre 12 días antes del parto y 7 días posteriores al parto.

- Supera el límite de gérmenes patógenos o un contaje microbiano superior al máximo permitido.
- Presencia de toxinas microbianas o residuos de pesticidas, medicamentos veterinarios y metales pesados en cantidades superiores al máximo permitido.
- La leche cruda después del ordeño debe ser enfriada, almacenada y transportada hasta los centros de acopio y/o plantas procesadoras en recipientes apropiados autorizados por la autoridad sanitaria competente.
- En los centros de acopio la leche cruda debe ser filtrada y enfriada, a una temperatura inferior a 10°C con agitación constante

1.6. Fundamento de la técnica cuantitativa análisis en ICP-MS

La espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente o ICP-MS es una técnica analítica que permite determinar de manera cuantitativa a nivel de traza y ultra traza elementos químicos presentes en muestras líquidas, tiene capacidad de detección superior a otros equipos. Se basa en un sistema multielemental en el cual se combinan: el plasma acoplado inductivamente como fuente de vaporización e ionización de la muestra y un espectrómetro de masas que separa y detecta los átomos o iones del plasma. Entre sus ventajas destacan: la capacidad de manejar matrices simples y complejas con un mínimo de interferencias de matriz debido a la alta temperatura de la fuente de plasma acoplado por inducción (5500-7500°C), alta precisión, puede determinar los isótopos individuales de cada elemento, la capacidad de detección es superior a la espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP-AES) con el mismo rendimiento de la muestra y la capacidad de obtener información de isótopos (Wolf, 2005).

Dicho sistema se encuentra formado de cuatro procesos principales:

1. Introducción de muestras y la generación de aerosoles: las muestras ingresan al equipo mediante una bomba peristáltica, después de ser absorbida la muestra, va a ser inyectada por medio de un nebulizador en la cámara de nebulización. El nebulizador, alimentado con la muestra en forma de solución, produce la transformación a aerosol debido a la acción del gas argón.
2. Ionización: consiste en un plasma generado al someter un flujo de gas argón a la acción de un campo magnético oscilante inducido por una corriente de alta frecuencia; los iones formados ingresan en una celda de colisión (octopolo) lo que permite separar las interferencias poliatómicas.

3. Discriminación en masa: iones libres de interferencias poliatómicas son separados en el espectrómetro de masas (cuadrupolo) por su relación masa/carga.
4. Sistema de detección: los iones ya separados son detectados por un electromultiplicador el cual se traduce en una señal analítica que es procesada y mostrada mediante el software del equipo (*Figura 8*) (Chevallier et al., 2015).

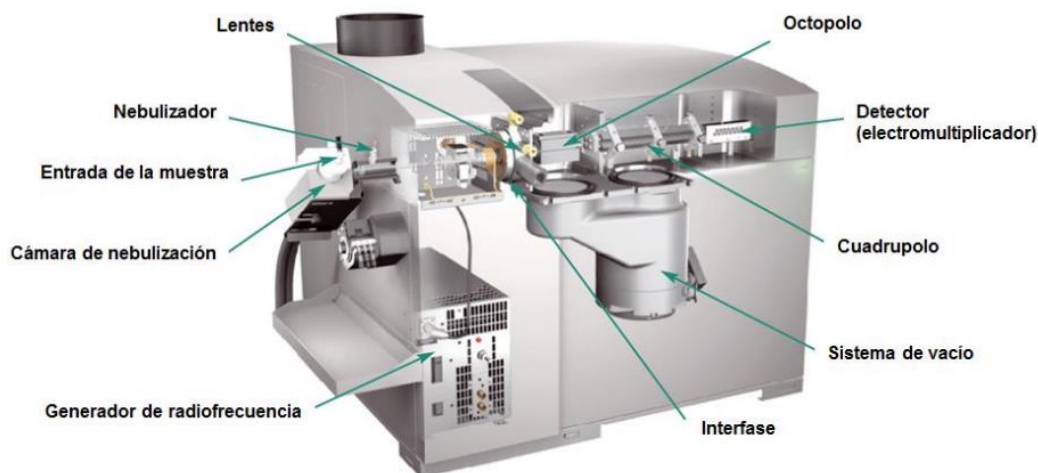


Figura 8. Partes de un espectrómetro de masas.
Fuente: (Morales, 2014).

1.7. Valores referenciales de metales pesados en leche

Plomo: Según la Norma NTE INEN 09(2012), el límite máximo de plomo para leche cruda de vaca es de 0,02 mg/kg; equivalente a 0,02 ppm. Mientras que, la Organización Mundial de la Salud (OMS) define como intoxicación los valores de plumbemia de más de 15 $\mu\text{g/dl}$ (0,015 mg/kg). Para el Center of Disease Control (CDC) el nivel de intoxicación es mayor o igual a 10 $\mu\text{g/dl}$ (0,01 mg/kg).

Cadmio: No existen valores máximos permisibles en la normativa INEN del Ecuador, ni en el Codex Alimentarius para leche cruda. Sin embargo, la Norma Higiénico Sanitaria de límites máximos de metales pesados en alimentos de la Normativa Técnica Rumana NTR orden 975/ 1998 considera un valor máximo para cadmio en leche de 0,01 mg/kg (0,01 ppm) (Portal Legislativo, 1998).

Arsénico: No existen valores máximos permisibles actuales en la normativa INEN del Ecuador, ni en el Codex Alimentarius para leche cruda. Por otro lado, la Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002 de especificaciones sanitarias de leche establece que el límite máximo permisible es de 0,2 mg/Kg (0,2 ppm) (*Tabla 2*).

Tabla 2. Valores referenciales.

Fuente: Autoras

Metal analizado	Valor máximo permisible (ppm)	Normativa
Plomo	0,02	Norma NTE INEN 09 (2012)
Cadmio	0,01	Normativa Técnica Rumana NTR orden 975/ 1998
Arsénico	0,2	Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002

METODOLOGÍA

CAPÍTULO II

2.1. Tipo de estudio y diseño.

El presente estudio es una investigación experimental en el que se aplicó un método científico descriptivo analítico, de tipo observacional, descriptivo de corte transversal y a conveniencia.

2.2. Muestra y muestreo

De un total de 50 vacas que se encontraban en producción, se recolectaron 20 muestras de leche debidamente codificadas como se muestra en la *Tabla 3*, mediante un único muestreo a conveniencia de un hato lechero de una hacienda de la parroquia Tarqui y Victoria del Portete.

Tabla 3. Codificación de los animales muestreados.

Fuente: Autoras

Fecha de toma de muestra: 04/03/2022	
N° de muestra	Código
1	01LCV-Mied
2	02LCV-129
3	03LCV-105
4	04LCV-Eladia
5	05LCV-Nadia
6	06LCV-Paolita
7	07LCV-Yunea
8	08LCV-104
9	09LCV-132
10	10LCV-Kiara
11	11LCV-Ninfa
12	12LCV-110
13	13LCV-Keisy
14	14LCV-Opalo
15	15LCV-Bola
16	16LCV-108
17	17LCV-Mini
18	18LCV-140
19	19LCV-Aurea
20	20LCV-Antonella

2.2.1. Recolección de las muestras

Las muestras usadas en el presente estudio se recolectaron en una hacienda de la parroquia Tarqui y Victoria del Portete, teniendo un total de 50 ejemplares bovinos (*Anexo 1*), de los cuales 20 se usaron para la extracción de la leche realizado en la primera semana del mes de marzo, siendo el segundo ordeño del día (*Anexo 2 y 3*) en un horario de 16:00 a 17:00pm, las muestras se recolectaron en frascos cerrados herméticamente (*Anexo 4*) previamente etiquetados con códigos para cada muestra según cada ejemplar, y para su posterior análisis se transportaron las muestras en un contenedor a temperatura aproximada de 4 - 6°C, con las respectivas medidas de

bioseguridad, tales como: uso de guantes, mandil, cabello recogido y uso de la cofia (Figura 9).

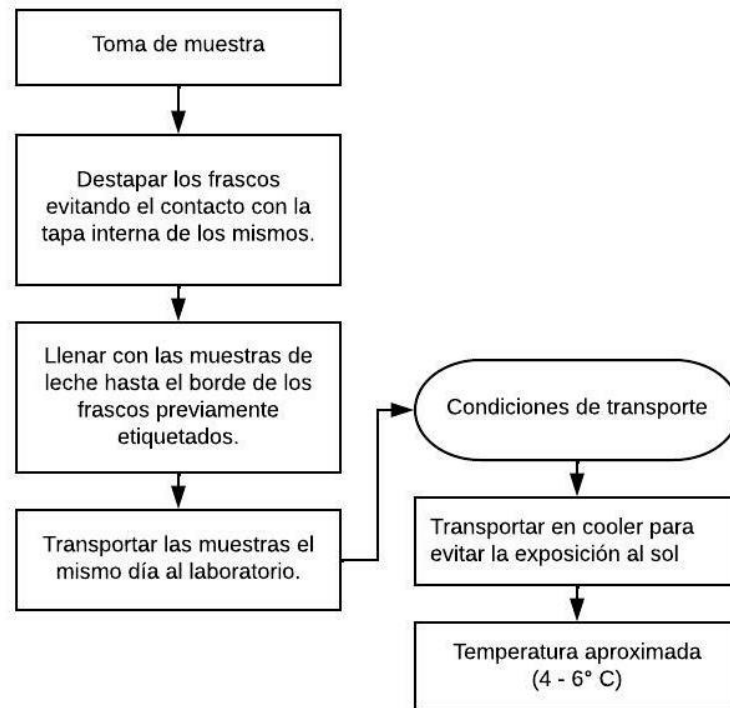


Figura 9. Flujograma de toma de muestra
Fuente: Autoras.

2.3. Método de análisis

El equipo utilizado fue un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inductivo con su respectivo set de metales pesados de análisis. Utilizando el método 200.8 EPA (United States Environmental Protection Agency).

Previa digestión de las 20 muestras realizadas con el equipo Ethos One.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Preparación de muestras y digestión:

El método usado fue la digestión ácida asistida por microondas (DAAM) debido a que es adecuada para muestras orgánicas, como en este caso la leche, este método presenta algunas ventajas, tales como emplea menor tiempo, evita la contaminación de las muestras e impide la pérdida por volatilización eliminando todas las interferencias (Torres Heras, 2020).

La DAAM es una variación de la digestión, aquí la muestra se calienta con la energía del horno digestor de microondas la cual es generada por un magnetrón con ondas de 2.54GHz que se dispersan en el recipiente que contiene la muestra con ayuda de un

agitador, se usa ácidos como HNO₃, H₂O₂ o HCl dependiendo del origen de la muestra. Para el proceso (Figura 10) se pesan 0,5 g del volumen de leche cruda y se coloca en los tubos en el rotor del digestor del microondas, al mismo que se añaden 6 ml de HNO₃ al 68% ultrapuro y 2 ml de H₂O₂ al 30% y se procesa para la digestión a temperaturas que oscilan entre 180 - 220° C por 90 minutos, a presión constante, en este punto cabe destacar que el horno de microondas cuenta con sistema especial de monitoreo de temperatura y presión, una vez que se concluya este proceso se retira del equipo y se deja enfriar a temperatura ambiente, posterior a ello filtrar el residuo y aforar a 100 ml. Una vez aforado se puede procesar en el espectrómetro de masas el mismo que nos da la lectura directamente (Torres Heras, 2020; Cori Condori et al., 2021).

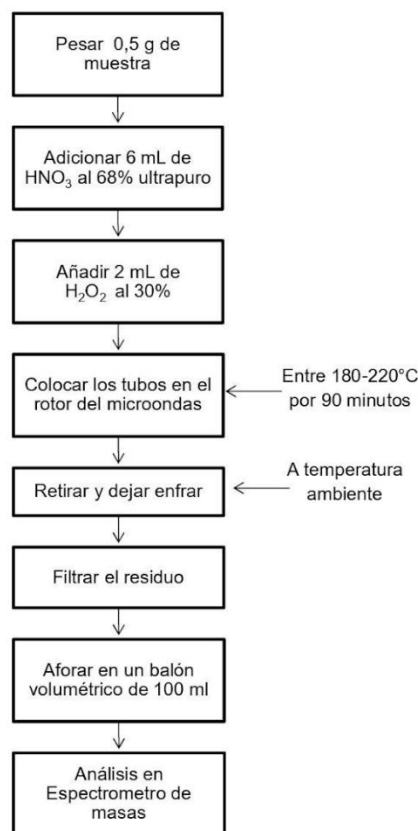


Figura 10. Flujograma del proceso de digestión
Fuente: Autoras

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

En todas las muestras de leche cruda analizadas se obtuvieron niveles de plomo, cadmio y arsénico por encima del límite permitido indicado en las respectivas normas que se señalan en la *Tabla 4*, además en esta se puede observar la desviación estándar de los metales estudiados la cual indica que los valores obtenidos de las diferentes determinaciones de plomo se encuentran muy dispersos (1,296) con respecto al promedio, a diferencia del cadmio y arsénico, cuyas desviaciones estándares son 0,072 y 0,10 respectivamente, esto puede implicar que el plomo tiene una mayor variabilidad entre cuantificaciones y por lo tanto se debe analizar más a fondo las causas del nivel de concentración de plomo.

En la *Tabla 4* presentada se indica los valores enviados por el laboratorio (*Anexo 5*) en mg/L y transformado con la fórmula indicada en el *anexo 6*.

Los límites de detección detallados en la *tabla 5* permiten conocer la sensibilidad del método analítico escogido ya que muestran las concentraciones mínimas detectadas para cada metal por el equipo y el coeficiente de regresión de la curva (*Tabla 5*), el mismo que al ser 1 nos indica que el ajuste al modelo es más preciso.

Tabla 4. Lectura directa del ICP-MS luego de la digestión.

Fuente: Autoras

Fecha de toma de muestra: 04/03/2022			TECNICA Y METODO: Metales, Plasma de Acoplamiento Inductivo - Espectrometría de Masas (ICP-MS), Método 200.8 EPA (United States Environmental Protection Agency). Digestión con equipo Ethos One.											
Fecha de emisión de resultados: 13/05/2022			Plomo (Pb ²⁰⁸)				Cadmio (Cd ¹¹¹)				Arsénico (As ⁷⁵)			
N° de muestra	Código	Peso de la muestra (g)	(mg/L)	(mg/kg)	LMP* INEN NTE (mg/kg)	Observación	(mg/L)	(mg/kg)	LMP* Norma Técnica Rumana NTR 975 (mg/kg)	Observación	(mg/L)	(mg/kg)	LMP* Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002 (mg/kg)	Observación
1	01LCV-Mied	0,5102	0,0322	0,132	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,1164	0,475	0,2	Sobrepasa el LMP
2	02LCV-129	0,5451	0,0489	0,214	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0683	0,298	0,2	Sobrepasa el LMP
3	03LCV-105	0,5522	0,1632	0,721	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
4	04LCV-Eladia	0,5631	0,3718	1,675	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0765	0,345	0,2	Sobrepasa el LMP
5	05LCV-Nadia	0,5877	0,1131	0,532	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
6	06LCV-Paolita	0,5746	0,1070	0,492	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0480	0,221	0,2	Sobrepasa el LMP
7	07LCV-Yunea	0,5392	0,2618	1,129	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,06838	0,295	0,2	Sobrepasa el LMP
8	08LCV-104	0,5059	0,2901	1,174	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,1270	0,514	0,2	Sobrepasa el LMP
9	09LCV-132	0,6418	0,3083	1,583	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0496	0,255	0,2	Sobrepasa el LMP
10	10LCV-Kiara	0,6873	0,4201	2,310	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0724	0,398	0,2	Sobrepasa el LMP
11	11LCV-Ninfa	0,6615	0,6314	3,342	0,02	Sobrepasa el LMP	0,04640	0,246	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0936	0,495	0,2	Sobrepasa el LMP
12	12LCV-110	0,5401	0,1968	0,850	0,02	Sobrepasa el LMP	0,04756	0,206	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0740	0,320	0,2	Sobrepasa el LMP
13	13LCV-Keisy	0,6785	0,4829	2,621	0,02	Sobrepasa el LMP	0,06728	0,365	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0789	0,429	0,2	Sobrepasa el LMP
14	14LCV-Opalo	0,702	0,3647	2,048	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
15	15LCV-Bola	0,5118	0,4386	1,796	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
16	16LCV-108	0,4966	0,5597	2,224	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
17	17LCV-Mini	0,6784	10,391	5,640	0,02	Sobrepasa el LMP	0,060326	0,327	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0797	0,433	0,2	Sobrepasa el LMP
18	18LCV-140	0,5016	0,3698	1,484	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	0,0578	0,232	0,2	Sobrepasa el LMP
19	19LCV-Aurea	0,5682	0,1338	0,982	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
20	20LCV-Antonella	0,5116	0,0569	0,233	0,02	Sobrepasa el LMP	<0,000351	<0,351	0,01	Sobrepasa el LMP	<0,00047	<0,477	0,2	Sobrepasa el LMP
Promedio			0,319	1,559			0,055	0,286			0,08	0,362		
Desviación estándar			0,242	1,296			0,01	0,0728			0,02	0,1013		

*LMP: Límite máximo permisible

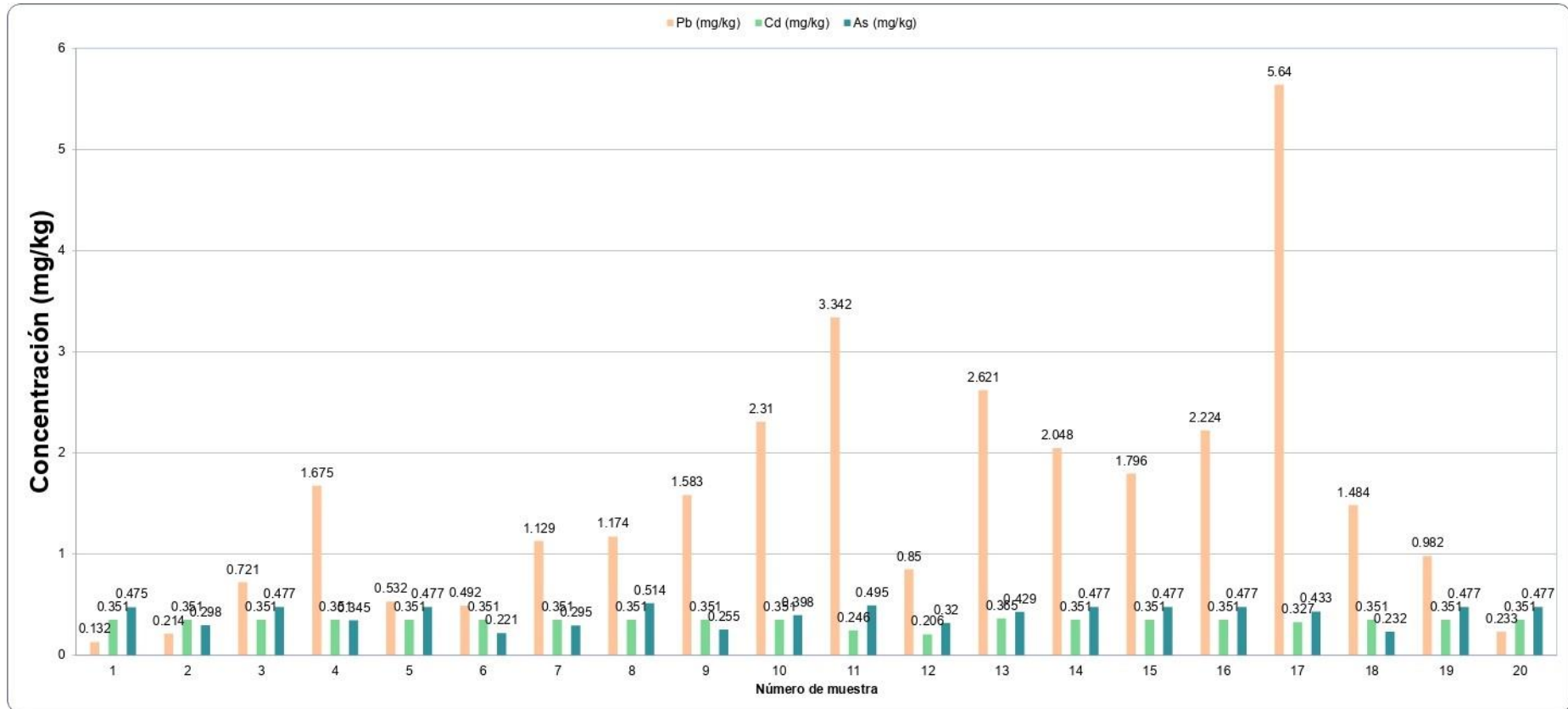


Figura 11. Lectura por ICP-MS de plomo, cadmio y arsénico en ppm de las muestras analizadas

Fuente: Autoras

Tabla 5. Valor de coeficiente de regresión de la curva y límite de detección del método.

	Pb 208	Cd 111	As 75
R (coeficiente de regresión de la curva)	1,00	1,00	1,00
LDM (Límite de detección del método)	0,000177 mg/L	0,000351 mg/L	0,000477 mg/L

Fuente: Laboratorio De Análisis Químico De Agua Y Suelo de la Universidad de Cuenca

3.2. Interpretación de resultados y discusión

En los resultados encontrados en la *Tabla 4* y expresados en la *Figura 11* se puede identificar que el plomo es el metal que se encuentra en mayor concentración respecto a los otros dos metales analizados, como se puede observar en la muestra N° 17 la cual presenta una concentración de 5,640 mg/kg, lo que puede deberse a la edad de la vaca, productora joven, como se menciona en un estudio realizado por Antón Esteban, 2017 en donde, indica que el plomo es uno de los metales más frecuentes de intoxicación en bovinos, y en mayor medida en terneros jóvenes por la ausencia de una microflora funcional lo que los hace más sensibles a la intoxicación.

En otro estudio realizado por De la Cueva et al., 2021 en donde se analizaron 29 fincas lecheras del Municipio de Machachi, Pichincha, Ecuador de un total de 58 muestras analizadas, se encontró para plomo únicamente un valor por debajo del límite permisible, el mismo que fue de 0,0016 mg/kg, mientras que, en las otras 57 muestras los valores superan el límite máximo establecido por la norma NTE INEN 9, 2012 con una media de 0,208 mg/kg y un valor máximo de 0,719 mg/kg.

Un estudio realizado por Sarsembayeva et al., 2020 menciona que, los niveles altos de plomo en leche cruda pueden ser el resultado del uso de agua contaminada o aguas residuales para fines agrícolas que pueden acceder directamente a través del agua potable o a través de la bioacumulación de estos residuos metálicos en el suelo, el forraje y las verduras. Se ha reportado que tanto el arsénico como el plomo y cadmio llegan a encontrarse en la leche cruda ya que el ganado bovino pastorea e ingiere agua de las orillas de los ríos contaminados con desechos mineros, fumigaciones aéreas y aguas negras (Rodríguez Lopez, 2016).

De igual manera, Coronel Balcazar & Villanueva Tinta (2022) realizó un estudio sobre el efecto en la salud del plomo en Lima, Perú e indicó que se encontró concentraciones elevadas de plomo en leche cruda, con una media de 0,25 mg/kg, en donde el 100% de las muestras superaron el valor permitido por la OMS, el 86,8% de los consumidores de leche de vaca nunca presentaron efectos sobre la salud en relación a los signos y síntomas; el 8,8% casi nunca, el 3,1% algunas veces y el 1,3% casi siempre presentaron efectos sobre la salud, lo que puede deberse al tiempo de exposición y cantidad ingerida, por lo cual, los autores sugieren un control constante a la leche e incrementar los estudios sobre las posibles fuentes de contaminación, como agua potable, agua de riegos, hierbas y alimentos que ingiere el ganado.

Por otro lado, en la muestra N° 8 se encontró un valor de 0,514 mg/kg para arsénico sobrepasando notablemente el límite máximo permisible por la norma Mexicana. Tafur & Lapa, 2022 mencionan que, la concentración de arsénico en leche cruda de vaca depende primordialmente de las condiciones de nutrición y contaminación ambiental, se considera al agua como la fuente frecuente de arsénico. Mientras que, Medina Pizzali et al., 2018 indican que en Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, Nicaragua y Perú se han encontrado valores elevados de arsénico, no solo en leche cruda, sino también en pescado, granos y hortalizas, incluidas la papa, cebolla, remolacha, calabaza, rábano, col y frijoles.

En el caso del arsénico Mochizuki, 2019 indica que los signos y síntomas causados por la polución de este metal es impreciso, por lo cual para reconocer a los pacientes que perciben problemas de salud, se necesita un enfoque multisistémico, que incluya no solo análisis de laboratorios, sino también a médicos y especialistas de múltiples campos.

Con respecto al cadmio, se encontró un valor de 0,365 mg/kg para la muestra N° 13, este se considera uno de los metales pesados de mayor preocupación debido a los daños severos que ocasionaría en humanos, que podemos contrastar con el estudio realizado por Muhib et al., 2016 en Bangladesh que encontraron valores 29 veces superiores al valor permitido y compara las concentraciones de Cd según los límites permitidos por las normas internacionales de la Unión Europea (CEE, 2006), Rumanía (Banu et al., 1985), Codex Alimentarius (FAO y OMS, 2015) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9: 2012 que nos indica que los valores superiores ponen en peligro a los consumidores, especialmente niños, ya que por su larga vida media (15-

30 años aproximadamente) tienen mayor facilidad para transferirse a través de la cadena alimenticia como menciona Tafur & Lapa, 2022. En otro estudio realizado por Queiroz et al., 2019 mencionan que la capacidad de absorción de los metales por el organismo puede variar con el tamaño de las partículas, la solubilidad de los compuestos ingeridos y las características de las personas expuestas, como la edad, el sexo, el estado nutricional y la herencia.

Castro González et al., 2018 en México, analizaron la presencia de metales pesados en los forrajes del ganado vacuno, como la alfalfa, donde se muestreó 16 sitios de cultivo y se recolectó leche de 160 vacas. Se demostró que la alfalfa es una planta bioacumuladora y resistente a los metales pesados principalmente cadmio, arsénico y plomo, considerándose un medio importante para la transferencia de metales pesados al ganado vacuno, por ser cultivada en suelos contaminados. Finalmente se determinó que la leche producida en estas regiones contiene elementos tóxicos como el plomo y arsénico. El plomo estuvo por encima de los límites internacionales permisibles (0,020 mg/kg) por la Comisión Europea y FAO ya que los valores encontrados estuvieron en un rango de $0,039 \pm 0,02$ a $0,059 \pm 0,05$ mg/kg. Sin embargo, los valores de arsénico y plomo, fueron inferiores a los valores establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002, que considera permisible para plomo 0,1 mg/kg y 0,2 mg/kg para arsénico.

Con el estudio realizado se demostró la bioacumulación significativa de plomo, cadmio y arsénico, al comparar los resultados de la presente investigación con el estudio realizado por Fuentes et al., 2005 desarrollado en Monterrey, México acerca del análisis de plomo y cadmio en 120 muestras de leche cruda, en donde, se encontró que las concentraciones estuvieron por encima del límite permitido según los entes regulatorios internacionales y sobrepasan el límite de detección del equipo que fue de 0,10 Pb y 0,032 Cd, mg/L respectivamente. En este estudio se mencionó que los valores máximos promedios encontrados en los distintos establos analizados para los metales de interés fueron de 0,8714 mg/kg de Pb y 0,3142 mg/kg de Cd, los autores recomiendan emplear otro método de análisis en lugar de la espectroscopía de absorción atómica. Por tal motivo la elección de la técnica de espectrometría de masas por acoplamiento de plasma inductivo, es recomendable por ser selectiva, rápida, con un grado de sensibilidad y precisión aceptable para determinar metales pesados en concentraciones de ppm.

Eleboudy et al., 2016 destacan la importancia del análisis elemental de la calidad de la leche para evitar adulteraciones o contaminación ambiental debido a que frecuentemente las haciendas con actividad ganadera se encuentran cerca de zonas industriales o carreteras concurridas. Por otro lado, Ziarati et al., 2018 mencionan que, se pueden realizar cambios en el proceso de producción de la leche para lograr una reducción notable de la contaminación por metales pesados. Para ello se puede implementar ciertas medidas correctivas como una inspección periódica del agua, mantener alejados a los rebaños de ganado vacuno y a su vez realizar el pastoreo en zonas rurales para evitar la interacción con áreas industriales y de tráfico intenso, realizar un seguimiento continuo y una política de control para metales pesados en leche cruda. Además, Villa González, 2020 indica que existen varios materiales adsorbentes que nos ayudan a la eliminación de metales pesados, entre estos materiales se tiene suelos naturales, entre los que destacan, caliza, arcilla, carbón activado, zeolita, arena de cuarzo, y roca volcánica; así también residuos agrícolas como el compost de estiércol, salvado de arroz, cáscara de maní, teniendo una capacidad de adsorción mayor al 95% y de la misma manera la presencia de árboles y plantas, que son capaces de eliminar hasta el 90% de metales pesados presentes en el agua pluvial.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los objetivos planteados para el estudio se logró determinar la cuantificación de los niveles de concentración de metales pesados: plomo, cadmio y arsénico en muestras de leche cruda obtenida de un hato lechero en una hacienda en la parroquia Tarqui y Victoria del Portete, en donde los resultados máximos obtenidos fueron de 5,640 mg/kg de plomo, 0,365 mg/kg de cadmio y 0,514 mg/kg arsénico. Se debe tomar en cuenta que a pesar de que los valores encontrados no cumplen con las especificaciones establecidas en las normativas, estos resultados fueron solo de una parte de la población del hato lechero, en donde se realizó un único muestreo por conveniencia y observacional, por lo que los valores encontrados no son representativos de toda la población, ni de la zona realizada el análisis.
- El análisis de la leche cruda por el método ICP-MS permitió evaluar la eficacia de esta técnica ya que gracias a su alta sensibilidad por sus bajos límites de detección se logra obtener valores confiables.
- Los valores obtenidos sobrepasan notablemente los límites máximos permitidos por las normativas reguladoras, tanto para la norma NTE INEN 9:2012 usada para el plomo, la Norma Higiénico Sanitaria de límites máximos de metales pesados en alimentos de la Normativa Técnica Rumana NTR orden 975/ 1998 empleada para el cadmio y la norma Oficial Mexicana NOM-184-SSA1-2002 usada para el arsénico, debido a que no se encontraron valores máximos permisibles de cadmio en la normativa INEN del Ecuador.
- A través del presente estudio se puede observar el posible riesgo Toxicológico para la salud humana por la alta concentración encontrada en la leche cruda, existen posibles causas para ello, en particular la contaminación ambiental, actividad industrial y por tanto conlleva a la presencia de piensos contaminados por metales pesados, lo que acarrea una alimentación dañina para el ganado bovino que llevará a contaminación de la leche para consumo humano y en consecuencia un riesgo para la salud humana.

RECOMENDACIONES

- Determinar las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en un mayor número de muestras de leche cruda (realizar por duplicado), considerando diferentes factores, como la alimentación y período de lactancia, para determinar el origen de la contaminación que influye para obtener valores elevados.
- Determinar la concentración de metales pesados en suelo y agua de lugares aledaños a la parroquia Tarqui con el fin de analizar a profundidad el origen de la contaminación.
- Realizar monitoreos periódicos de los niveles de plomo, arsénico y cadmio en el estiércol de ganado vacuno, fertilizantes y agroquímicos.
- Es importante contar con laboratorios certificados o especializados en la detección de metales pesados en nuestro país para garantizar una mejor calidad del alimento ante la sociedad y poder socializar con las autoridades regulatorias del Ecuador y la posibilidad de adoptar medidas para evitar que estos productos contaminados sean comercializados y a su vez las industrias lácteas deben realizar exámenes toxicológicos frecuentes a la materia prima así como del ganado para asegurar su inocuidad.

BIBLIOGRAFÍA:

- Antón Esteban, C. (2017). *Exposición al cadmio (Cd) por carne, vísceras y derivados cárnicos de consumo humano*.
- Azcona Cruz, M. I., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de especialidades médico-quirúrgicas*, 20(1), 72-77.
- Balali Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium and Arsenic [Mecanismos tóxicos de cinco metales pesados: Mercurio, Plomo, Cromo, Cadmio y Arsénico]. *Frontiers in Pharmacology*, 12(1), 2-10. ISSN=1663-9812
- Briceño Cabanillas, A. M. (2018). *Nivel de conocimiento de las madres sobre los efectos del plomo en la salud bucal de los niños menores de 12 años en la localidad de expansión-cobrizo Huancavelica en el semestre 2018-II*.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), 2-25. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04691.
- Cahuana Gonzales, F. S. (2016). *Niveles de intoxicación por plomo y sus efectos en la salud de los trabajadores de talleres de soldadura del distrito de Barranca*.
- Castro González, N. P., Moreno Rojas, R., Calderón Sánchez, F., Moreno Ortega, A., & Tamariz Flores, J. V. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(3), 466-485.
- Chevallier, E., Chekri, R., Zinck, J., Guérin, T., & Noël, L. (2015). Simultaneous determination of 31 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation based on the accuracy profile [Determinación simultánea de 31 elementos en productos alimenticios por ICP-MS después de la digestión por microondas en recipiente cerrado: Validación del método basada en el perfil de precisión]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 41, 35–41. doi:10.1016/j.jfca.2014.12.024.
- Condori Acero, R. G. (2020). *Niveles de plomo y arsénico en leche y pelo de vacas de la cuenca del Valle de Moquegua*.
- Cori Condori, D. M., Chambí Tapia, M. I., Gúzman Alegria, L., Quintanilla Aguirre, J., & Ramos Ramos, O. E. (2021). Optimización del método de digestión ácida en sistema de microondas para la determinación de concentraciones pseudo-totales de Fe, Mn y Zn en sedimentos de la cuenca Katari bajo, La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 38(5), 13-27.

- Coronel Balcazar, B. D., & Villanueva Tinta, M. (2022). *Concentración de arsénico y plomo en leche cruda de vaca y el efecto de la salud en los consumidores del distrito de Huay Huay región Junín, 2020-2021.*
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga Torres, B., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 33(1), 21-30.
- Eleboudy, A. A., Amer, A. A., Abo El-Makarem, H. S., Hadour, H., & Abo, H. (2016). Heavy Metals Residues in Some Dairy Products [Residuos de metales pesados en algunos productos lácteos]. *Alexandria journal for veterinary sciences*, 51(2).
- Expósito, I. C., & Hernández, M. V. (2014). El plomo y sus efectos en la salud. *Acta Médica del Centro*, 8(3), 141-148.
- Fernández Fernández, E., Martínez Hernández, J. A., Martínez Suárez, V., Moreno Villares, J. M., Collado Yurrita, L. R., Hernández Cabria, M., & Morán Rey, F. J. (2015). *Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche.* *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 92–101. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8253>.
- Fuentes, H. R., Alejo, E. S., Sánchez, M. R., Contreras, J. A. V., Askar, K. A., Turanzas, G. M., & Ortíz, J. C. R. (2005). Metales pesados en leche cruda de bovino. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, 6(4).
- Garcés, G., & Jeampierre, A. (2020). *Determinación de la presencia de metales pesados en leche cruda bovina en la parroquia Bilován provincia Bolívar* (Bachelor's thesis, Guaranda. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Medicina Veterinaria. Universidad Estatal de Bolívar.
- García, C., Montiel, R. L. A., & Borderas, T. F. (2014). Grasa y proteína de la leche de vaca: componentes, síntesis y modificación. *Archivos de zootecnia*, 63, 85-105.
- González Montaña, J. R. (2009). Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(3), 305-310.
- Gutiérrez Arce, W. J. (2017). *Metales pesados en lolium multiflorum y trifolium repens cultivados en agua residual in vitro.*
- Hernández, P. (2018). Efectos toxicológicos: Arsénico. *Manual de toxicología*, 10(2), 36-43.

- Hidalgo Tapia, E. C. (2019). *Manual de Agentes Carcinógenos de los Grupos 1 y 2 A de la IARC, de interés ocupacional en la industria textil, Cantón Cuenca 2018*. (Master's thesis, Universidad del Azuay).
- INEN. (2012). *Leche cruda: Requisitos*. Norma NTE INEN 9:2012. Recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/9-5.pdf>
- Lasluiza Quishpe, M. F. (2022). *Determinación de la concentración de metales pesados (cadmio, plomo y cromo) en la lechuga (Lactuca sativa) que se cultiva en la parroquia Presidente Urbina del cantón Píllaro* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- López Palacios, L. M. (2021). *Relación entre la exposición al arsénico por el agua de consumo y el estrés oxidativo en pobladores del distrito de Molinos-Jauja*.
- Lopez Salazar, A. J., & Vasquez Huaranca, G. M. (2021). *Determinación de la concentración de arsenico, cadmio, cobre, mercurio y plomo en leche de bovino*.
- Marcano Godoy, K. A., & Delvasto Angarita, P. L. (2016). Contaminación de suelos por metales pesados debido a la presencia de pilas gastadas. *Revista de investigación*, 40(88), 78-104.
- Martínez Torres, C. (2019). *Factores de exposición relacionados con los niveles de plomo y cadmio en leche materna en muestras provenientes de un hospital de Bogotá 2019*.
- Medina Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 93-102.
- Mendoza Ocorima, Y. G., & Medina Pillaca, C. A. (2013). *Determinación de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral del año 2013*.
- Mochizuki, H. (2019). Arsenic neurotoxicity in humans. *International journal of molecular sciences*, 20(14), 3418.
- Morales, A. (2014). *Espectrometría de masas ICP con acoplamiento a MS*. Obtenido de: <https://danum74.wordpress.com/category/espectroscopia/>
- Morales, L., & Hidalgo, L. (2015). Consumo de Arsénico y Riesgo Cardiovascular. *Medicina Legal de Costa Rica*, 32 (1), 1-6. ISSN 1409-0015.
- Morán, I., Baldirà, J., Marruecos, L., & Nogué, S. (2013). *Toxicología clínica*. Madrid: Difusión Jurídica y Temas de Actualidad S.A. ISBN-13: 978-84-95545-52-7
- Muhib, M. I., Chowdhury, M. A. Z., Easha, N. J., Rahman, M. M., Shammi, M., Fardous, Z., ... & Alam, M. K. (2016). Investigation of heavy metal contents in

- cow milk samples from area of Dhaka, Bangladesh. *International journal of food contamination*, 3(1), 1-10.
- Organización Mundial de la Salud. (2010). *Prevención de enfermedades a través de ambientes saludables, exposición al plomo: una preocupación importante de salud pública*. Geneva, *World Health Organization*. Obtenido de: <http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>
- Ormaza, M. M. C., Velázquez, R. V., Holguín, W. D. V., Tumbaco, M. V., & Indacochea, N. O. (2022). Composición Orgánica De Los Alimentos Que Garantizan La Soberanía Alimentaria En La Parroquia San Jacinto Del Búa. *Unesum-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2602-8166, 6(2), 29-46.
- Pacco Choquepata, D. (2018). *Determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río Llallimayo Melgar–Puno*.
- Patarroyo, C. E. G., & Ochoa, D. A. R. (2020). Sobre la relación entre el consumo de leche cruda y la salud humana: una revisión sistemática. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 30(2), 23.
- Pernía, B., Mero, M., Bravo, K., Ramírez, N., López, D., Muñoz, J., & Egas, F. (2015). *Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador*. *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien*, 8(2), 81-86.
- Peña, S., & Posadas, E. (2018). *Enfermedades Sistémicas E Intoxicaciones En El Ganado Bovino Y Animales De Compañía*. Universidad Autónoma Metropolitana. México: DR.
- Pinzon Choque, C. G. (2015). Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá DC. *Departamento de Toxicología*.
- Polo Bravo, C., & Sulca Quispe, L. (2018). METALES PESADOS: FUENTES Y SU TOXICIDAD SOBRE LA SALUD HUMANA. *Ciencias*, 2(1), 20-36.
- Portal legislativ. (1998). *Limite maxime de arsen și metale grele în alimente| Normă* [Límites máximos de arsénico y metales pesados en los alimentos] Norma.]. GVERNUL ROMÂNIEI Ministerul Dezvoltării Regionale si Administratiei Publice. Recuperado de <https://lege5.ro/Gratuit/ge4dcnjx/limite-maxime-de-arsen-si-metale-grele-in-alimente-exprimate-in-miligrame-1-kg-de-produs-norma?dp=geydkmrzha4di>.
- Queiroz, T. K. L. D., Naka, K. S., Mendes, L. D. C. D. S., Costa, B. N. S., Jesus, I. M. D., Câmara, V. D. M., & Lima, M. D. O. (2019). Human blood lead levels and the first evidence of environmental exposure to industrial pollutants in the Amazon [Niveles de plomo en sangre humana y primera evidencia de exposición ambiental a contaminantes industriales en la Amazonia].

- International journal of environmental research and public health*, 16(17), 3047.
- Raraz Palpán, E. A. (2015). *Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa–distrito de Yanacancha–Pasco*.
- Rey, A. R., Luna, L. C., Cantillo, G. M., & Espinosa, M. E. S. (2017). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(3), 251-271.
- Rodríguez Heredia, D. R. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MediSan*, 21(12), 7003-7016.
- Rodríguez López, N. E. (2016). *Determinación de la presencia de plomo en leche cruda producida en la parroquia de Machachi* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Rodríguez Padilla, C. (2021). Intoxicación por arsénico. *Medicina Legal de Costa Rica*, 38(2), 4-16.
- Rodríguez, A., & Espinal, G. (2008). Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo asociados en niños de 2 a 10 años en el barrio Villa Francisca, Santo Domingo, República Dominicana. *Ciencia y sociedad*.
- Sánchez, M. A., Murray, R. S., Montero, J., Marchini, M., Iglesias, R., & Saad, G. (2020). IMPORTANCIA DE LA LECHE Y SUS POTENCIALES EFECTOS EN LA SALUD HUMANA IMPORTANCE OF MILK AND ITS POTENTIAL EFFECTS ON HUMAN HEALTH. *Actualización en Nutrición*, 21(2), 50-64.
- Sarsembayeva, N. B., Abdigaliyeva, T. B., Utepova, Z. A., Biltebay, A. N., & Zhumagulova, S. Z. (2020). Heavy metal levels in milk and fermented milk products produced in the Almaty region, Kazakhstan [Niveles de metales pesados en la leche y los productos lácteos fermentados producidos en la región de Almaty, Kazakhsta]. *Veterinary world*, 13(4), 609.
- Singh Sankhla, M., Kumar, R., Agrawal, P., & Sankhla, M. S. (2018). *Arsenic in water contamination & toxic effect on human health: Current scenario* [Contaminación por arsénico en el agua y efecto tóxico en la salud humana: Escenario actual]. <https://doi.org/10.19080/JFSCI.2018.10.555781>
- Tafur, D. L., & Lapa, R. M. L. (2022). Metales pesados en la producción ganadera lechera y riesgos a la salud humana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3629-3645.
- Torres Heras, A. P. (2020). *Comparación Bibliográfica De La Eficiencia Del Método De Digestión Ácida Tradicional Y Asistida Por Microondas En La Preparación De*

Muestras. Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Ingeniería química UTMACH.

Villa González, M. C. (2020). *Revisión bibliográfica sobre el empleo de materiales filtrantes para la eliminación de metales pesados en aguas de escorrentía urbana.*

Vivas Garay, J. A. (2008). *Toxicología veterinaria.* Universidad Nacional Agraria.

Wolf, R. E. (2005). What is ICP-MS?... and more importantly, what can it do [¿Qué es la ICP-MS?... y lo que es más importante, ¿qué puede hacer?]. *US Geological Survey*, 7.

Ziarati, P., Shirkhan, F., Mostafidi, M., & Zahedi, M. T. (2018). An overview of the heavy metal contamination in milk and dairy products [Una visión general de la contaminación por metales pesados en la leche y los productos lácteos]. *Acta scientific pharmaceutical sciences*, 2(7), 1-14.

Zhang, R., Wilson, V., Hou, A., & Meng, G. (2015). Source of lead pollution, its influence in public health and the countermeasures [Una visión general de la contaminación por metales pesados en la leche y los productos lácteos]. *Department of environmental sciences*, 2(1), 18 - 31.

ANEXOS



Anexo 1. Ejemplares bovinos de la hacienda analizada.



Anexo 2. Recolección de leche cruda en una hacienda de Tarqui.



Anexo 3. Toma de muestra en los recipientes.



Anexo 4. Muestras de leche cruda etiquetadas en condiciones adecuadas de transporte.



RUC N° 0160001240001

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA Y SUELO

Fecha: 13 de mayo de 2022

CAMPO DE ENSAYO: Análisis Químico en Muestras Líquidas que necesitan digestion

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR	TÉCNICA Y METODO		
Muestras de leche	Metales, Plasma de Acoplamiento Inductivo - Espectrometría de Masas (ICP-MS), Método 200.8 EPA (United States Environmental Protection Agency). Digestión con equipo Ethos One.		
	Pb 208 (mg/L)	Cd 111 (mg/L)	As 75 (mg/L)
R (coeficiente de regresión de la curva)	1.00	1.00	1.00
LDM (Límite de detección del método)	0.000177 (mg/L)	0.000351 (mg/L)	0.000477 (mg/L)
1	0.032284	<0.000351	0.116417
2	0.048983	<0.000351	0.088384
3	0.163203	<0.000351	<0.000477
4	0.371830	<0.000351	0.076526
5	0.113106	<0.000351	<0.000477
6	0.107095	<0.000351	0.048032
7	0.261838	<0.000351	0.088384
8	0.290115	<0.000351	0.127000
9	0.308373	<0.000351	0.049600
10	0.420147	<0.000351	0.072455
11	0.631452	0.046404	0.093622
12	0.196823	0.047564	0.074083
13	0.482937	0.067286	0.078968
14	0.364705	<0.000351	<0.000477
15	0.438628	<0.000351	<0.000477
16	0.559755	<0.000351	<0.000477
17	1.039157	0.060326	0.079782
18	0.369826	<0.000351	0.057801
19	0.133813	<0.000351	<0.000477
20	0.056998	<0.000351	<0.000477
Promedio	0.319553	0.055395	0.08
Desviación estándar	0.242991786	0.010130202	0.02

Los primeros corresponden a la lectura directa del ICP-MS luego de la digestión, esta lectura debe de ser corregida con el peso de la muestra utilizada para la digestión de la misma. En el segundo grupo de resultados encontrarán este proceso junto con la fórmula utilizada para el cálculo, el peso de cada muestra y el volumen de ácidos utilizados para la digestión. Este es el grupo de resultados que deberían de utilizarse para los cálculos.

Para transformar a mg/g se debe multiplicar los mg/l por los ml en que fue digerido y dividir para 1000 (mg/l a mg/g dividir para 1000) * peso de la muestra

	peso de muestra (g)	Pb 208 (mg/g)	Cd 111 (mg/g)	As 75 (mg/g)
1	0.5102	0.000132	<0.000351	0.000475
2	0.5451	0.000214	<0.000351	0.000298
3	0.5522	0.000721	<0.000351	<0.000477
4	0.5631	0.001675	<0.000351	0.000345
5	0.5877	0.000532	<0.000351	<0.000477
6	0.5746	0.000492	<0.000351	0.000221
7	0.5392	0.001129	<0.000351	0.000295
8	0.5059	0.001174	<0.000351	0.000514
9	0.6418	0.001583	<0.000351	0.000255
10	0.6873	0.002310	<0.000351	0.000398
11	0.6615	0.003342	0.000246	0.000495
12	0.5401	0.000850	0.000206	0.000320
13	0.6785	0.002621	0.000365	0.000429
14	0.702	0.002948	<0.000351	<0.000477
15	0.5118	0.001796	<0.000351	<0.000477
16	0.4966	0.002224	<0.000351	<0.000477
17	0.6784	0.005640	0.000327	0.000433
18	0.5016	0.001484	<0.000351	0.000232
19	0.5682	0.000982	<0.000351	<0.000477
20	0.5116	0.000233	<0.000351	<0.000477

Anexo 5. Resultados emitidos por el laboratorio de análisis química de agua y suelo de la Universidad de Cuenca

- Transformar de mg/L a mg/kg

Volumen en que fue digerido = 6 ml de HNO₃ y 2 ml de H₂O₂, total = 8 ml.

$$\text{Concentración} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{Concentración (mg/L)} * \text{volumen en que fue digerido (8 ml)}}{1000} * \text{peso de la muestra} * 1000$$

Anexo 6. Fórmula para transformar mg/L a mg/kg

GLOSARIO

Abasto: Se conoce como ganado de abasto a todo animal del cual sus derivados son destinados para la alimentación humana y animal.

Anosmia: Pérdida del sentido del olfato.

Astenozoospermia: disminución del porcentaje de espermatozoides móviles en una muestra seminal, es una de las principales causas de infertilidad masculina.

Bioacumulación: Acumulación de sustancias químicas dentro del organismo a lo largo de un periodo de tiempo largo, debido a fuentes bióticas o abióticas.

Biomagnificación: Aumento en la concentración de un contaminante químicos a lo largo de la cadena trófica. Por tanto se presenta en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende en dicha cadena.

Bomba Peristáltica: Tipo de bomba hidráulica que permite el desplazamiento y bombeo de una variedad de fluidos.

Células Descamadas: Cuando las células superficiales de la piel mueren se desprenden a medida que nuevas capas de células se van formando.

Daños Genotóxicos: Daño causado al material genético.

Disfunción Tubular: Es una enfermedad en donde los riñones no cumplen la función de eliminar los productos de desecho (ácidos) de la sangre a la orina.

Déficits cognitivos: Déficits en el desempeño intelectual global.

Dúctil: Propiedad de algunos metales de deformarse de manera sostenible sin romperse.

Eccematoides: Reacción cutánea, situada entre el eccema y la psoriasis.

Efluentes: Curso de agua o aguas residuales procedentes de una instalación industrial

Enfisema Pulmonar: Afección pulmonar que provoca dificultad progresiva para respirar.

Eritropoyesis: Es el proceso de generación de glóbulos rojos (eritrocitos).

Fertilizantes: Sustancia orgánica o inorgánica cuya función principal es proporcionar nutrientes a plantas.

Fuentes Antrópicas: Abarcan las emisiones generadas por las distintas actividades humanas.

Magnetron: Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía.

Neuritis periférica: Patología que daña a los nervios y ganglios nerviosos periféricos.

Peroxidación Lipídica: Degradación oxidativa de los lípidos. Es el proceso a través del cual los radicales libres capturan electrones de los lípidos en las membranas celulares.

Pinocitosis: Es un tipo de endocitosis que consiste en la captación de partículas del espacio extracelular por invaginación de la membrana citoplasmática eucariota. El material pinocitado se almacena en vesículas pequeñas, las moléculas que se encuentran dentro de la vesícula se liberan para ser utilizadas por otras partes de la célula.

Saturnismo: Intoxicación crónica causada por la acumulación de plomo en el organismo del ser humano en el transcurso de años o meses.

Volatilización: Proceso de convertir una sustancia química de un estado líquido o sólido a un estado gaseoso o de vapor.