



**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

Determinación de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica
en leche cruda de bovino en establos lecheros
del distrito de Chancay-Huaral, 2013

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE QUÍMICO FARMACÉUTICO**

Presentada por

Br. Mendoza Ocorima, Yeni Guisela
Br. Medina Pillaca, Carlos Antonio

Asesor

Q. F. Mg. Tox. César Augusto Canales Martínez

Lima-Perú

2013

*A Dios por darme la vida y por guiarme
por el camino de la paz y la salvación.*

*A mis padres Lucha y Juan, por todo su
amor, esfuerzo y dedicación para hacer de
nosotros personas de bien.*

*A mis hermanos Jhonny, César y Edgar,
por su tolerancia y comprensión.*

*A mi novio Carlos, por ser mi complemento
perfecto y aceptar este primer reto de
nuestra carrera profesional.*

A Dios, por darme la vida y permitirme culminar con éxito el esfuerzo de todos estos años de estudio.

A mis padres Pablo y Carmen, por ser el pilar fundamental en mi vida, por todo su esfuerzo y dedicación para hacer de nosotros personas de bien.

A mis hermanos Alex, Jorge y Lisset, por sus consejos y sus ejemplos.

A mi novia Yeni, por ser mi complemento perfecto y aceptar este primer reto de nuestra carrera profesional.

Nuestro sincero agradecimiento

A nuestro asesor Mg. Q.F. Tox. César Augusto Canales Martínez, por su invaluable e incondicional orientación, enseñanza y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A los señores miembros del jurado calificador y examinador

Por el interés, la motivación, el apoyo y la crítica, necesarios para la realización de este trabajo.

Mg. Q.F. Tox. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez

Mg. Teresa Gallardo Jugo

Q.F. Robert Cárdenas Orihuela

Un agradecimiento especial

Al Q. F. Ernesto Humberto Ávalos Cordero, por su colaboración en la parte experimental, y al Mg. Julio Montalvo Obregón, por su apoyo en la parte estadística.

ÍNDICE

Pág.		
	I. El problema	9
	1.1. Planteamiento del problema	10
	1.2. Objetivos	11
	1.2.1. Objetivo general	11
	1.2.2. Objetivos específicos	11
	1.3. Hipótesis	12
	1.4. Variables	12
	II. Generalidades	13
	2.1. Plomo	13
	2.1.1. Propiedades fisicoquímicas	13
	2.1.2. Principales formas de presentación	14
	2.1.3. Fuentes principales de contaminación	15
	2.1.4. Toxicocinética	20
	2.1.5. Toxicodinamia	25
	2.1.6. Manifestaciones clínicas	26
	2.1.7. Tratamiento de la intoxicación por plomo	29
	2.2. Cadmio	30
	2.2.1. Propiedades fisicoquímicas	30
	2.2.2. Fuentes de contaminación del cadmio	31
	2.2.3. Toxicocinética	34
	2.2.4. Toxicodinamia	37
	2.2.5. Manifestaciones clínicas	38
	2.2.6. Tratamiento de la intoxicación por cadmio	40
	2.3. Leche	41
	2.3.1. Definición	41
	2.3.2. Requisitos	41

2.3.3. Composición química	43
2.3.4. Importancia del consumo de leche	47
2.3.5. Antecedentes de plomo y cadmio en la leche	50
2.4. Legislación de plomo y cadmio en leche cruda	53
2.5. Establos lecheros del distrito Chancay-Huaral	55
2.5.1. Instalaciones	55
2.5.2. Características generales	55
2.5.3. Proceso funcional de los establos	56
2.5.4. Proceso de obtención de la leche	57
III. Materiales y métodos	58
3.1. Tipo de investigación	58
3.2. Área de estudio	58
3.3. Animales experimentales	60
3.4. Materiales, reactivos y equipos	60
3.5. Métodos	62
3.5.1. Recolección de muestras	62
3.5.2. Conservación y transporte de las muestras	63
3.5.3. Determinación de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica	63
3.6. Fundamento del método espectrofotometría de absorción atómica	65
3.7. Curvas de calibración	67
IV. Resultados	68
V. Discusión	80
VI. Conclusiones y recomendaciones	83
6.1. Conclusiones	83
6.2. Recomendaciones	84
Referencias bibliográficas	85
Anexos	91

RESUMEN

La leche es considerada como un alimento casi completo, y es el principal constituyente de la dieta diaria, por ser una buena fuente de proteínas, lípidos, carbohidratos y de los principales minerales. El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de plomo y de cadmio en leche cruda de bovino de establos lecheros del distrito de Chancay, provincia de Huaral. Se consiguieron 30 muestras de leche cruda en cinco establos lecheros de diferentes centros poblados de Chancay, que fueron analizados por el método de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, previa digestión asistida por microondas.

Los resultados mostraron que la concentración promedio de plomo fue de 0,0186 mg/kg, menor del límite establecido por la OMS (0,02 mg/kg). Sin embargo, las concentraciones de plomo en 10 de las 30 muestras (33,3 %) superan el límite establecido. La concentración promedio de cadmio fue de 0,338 mg/kg, mayor del límite establecido por la Norma de Rumanía (0,01 mg/kg) y, en este caso, las concentraciones de cadmio en las 30 muestras (100 %) fueron mayores al límite establecido. En conclusión, el resultado de este estudio mostró la importancia de vigilar periódicamente los niveles de plomo y de cadmio en leche de las diferentes regiones del Perú.

Palabras claves: plomo, cadmio, leche cruda de bovino, digestión asistida por microondas, espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

SUMMARY

Milk is considered as a nearly complete food and it is the main constituent of the daily diet since it is a good source of protein, fat, carbohydrates and major minerals. The objective of this study was to determine the presence of Lead and Cadmium in bovine's raw milk of dairy stables of Chancay district, Huaral Province. We collected 30 samples of raw milk in five dairy stables from different towns of Chancay and were analyzed by the method of atomic absorption spectrophotometry with graphite furnace, after microwave digestion.

The results showed that the average lead concentration was 0.0186 mg/kg, lower than the limit set by WHO (0,02 mg/kg). However, the concentrations of lead in 10 of the 30 samples (33.3 %) exceed the limit. The average cadmium concentration was 0.338 mg/kg, higher than the limit set by the standard of Romania (0,01 mg/kg) and in this case cadmium concentrations in the 30 samples (100 %) were higher than the limit. In conclusion, the result of this study showed the importance of periodically monitoring the levels of lead and cadmium in milk in different regions of Peru.

Keywords: lead, cadmium, bovine's raw milk, microwave digestion, atomic absorption spectrophotometry with graphite furnace.

I. EL PROBLEMA

El propósito de este estudio fue determinar la concentración de plomo y cadmio en leche cruda de bovino en el distrito de Chancay-Huaral, y al mismo tiempo, demostrar, desde el punto de vista toxicológico, si la leche se encuentra en óptimas condiciones para el consumo de la población, para así evitar los efectos deletéreos característicos de estos elementos tóxicos.

Los residuos de metales pesados en leche son de gran preocupación, porque ella es consumida por todos los grupos etarios de la población, sobre todo por aquellos de alto riesgo, como son los niños, las mujeres gestantes y los lactantes¹. Además, estos establos son proveedores de grandes industrias lácteas, que distribuyen sus productos a casi todo el Perú. Por ello, la determinación de los metales pesados en leche es particularmente atendida por la FAO/OMS.

El plomo se asocia con una amplia gama de efectos, incluyendo daños del desarrollo neurológico, manifestándose como retraso en el desarrollo cognitivo y en la capacidad intelectual en niños, insuficiencia renal, hipertensión, enfermedades cardiovasculares en adultos y problemas de fertilidad. El cadmio causa daños a los túbulos renales proximales y afecta el metabolismo del calcio, lo que ocasiona disminución de la densidad mineral ósea².

Hasta el momento no existe información suficiente que permita identificar un criterio general sobre las concentraciones de los metales tóxicos (a excepción del plomo) en la leche y en los derivados lácteos. En el Perú existen pocas investigaciones de metales tóxicos en leche. Por esta razón, es de suma importancia investigar el contenido de estos y relacionarlos con el entorno ecológico y con las diversas prácticas de manejo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido los límites máximos permisibles para el plomo (0,02 mg/kg) en leche cruda, pero no para el cadmio. Sin embargo, la Norma de Rumanía establece un máximo de 0,01 mg/kg para este último.

Esta investigación se justifica por las razones expuestas anteriormente, debido a su aporte en la determinación y en la cuantificación de plomo y cadmio en leche cruda de bovino.

1.1. Planteamiento del problema

El aumento de las actividades antropogénicas (industria, minería, agricultura) ha favorecido la emisión de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas, los cuales están íntimamente relacionados con los animales y humanos.

Según la información de derechos mineros registrada por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, en el distrito de Chancay-Huaral se encuentra la minera Colquisiri S. A., que tiene como actividad principal la extracción de minerales como cobre, plata, plomo y zinc, y que posiblemente, mediante el manejo inadecuado de los relaves, puede emitir estos contaminantes al suelo, al agua o al aire. En consecuencia, los bovinos de los establos lecheros cercanos a estas industrias podrían ser teóricamente los más afectados por la presencia de contaminantes, en especial de metales pesados, que, evidentemente, se acumulan y se eliminan a través de órganos y tejidos, y, especialmente, de la leche.

Entre las fuentes de exposición que permiten que los metales pesados tóxicos entren en contacto con los animales se tienen los alimentos (como chalas picadas contaminadas con fertilizantes químicos fosfatados o nitrogenados), el agua de ríos contaminados con desechos industriales (empleados para el regadío de las chalas), las aguas subterráneas que consumen y el uso de materiales durante ordeño, almacenamiento y transporte de la leche³.

Los animales expuestos a las emisiones de plomo y cadmio son propensos a contaminarse principalmente por las vías respiratoria y digestiva. Las vacas pueden acumular niveles de plomo en los huesos durante su exposición, y liberarlo en

ciertas condiciones (principalmente en las etapas de gestación y de lactancia) hacia el torrente sanguíneo y, posteriormente, hacia la leche, de manera muy similar a como se realiza con el calcio y con otros cationes divalentes de importancia fisiológica, pudiendo, de esta forma, competir el plomo y el cadmio con estos iones.

Por estos motivos se plantea lo siguiente:

¿La leche cruda de bovino de establos lecheros del distrito de Chancay presenta concentraciones de plomo y cadmio superiores a los límites máximos permisibles establecidos por la FAO/OMS y por la Norma de Rumanía?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la presencia de plomo y cadmio en leche cruda de bovino de establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la concentración de plomo en leche cruda de bovino de establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral.
- Cuantificar la concentración de cadmio en leche cruda de bovino de establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral.
- Comparar si las concentraciones de plomo y de cadmio obtenidas sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud y por la Norma de Rumanía.

1.3. Hipótesis

“Las concentraciones promedio de plomo y de cadmio presentes en leche cruda de bovino de los establos lecheros del distrito de Chancay sobrepasarían los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la Norma de Rumanía”.

1.4. Variables

1.4.1. Independiente

Leche cruda de bovino de los establos del distrito de Chancay-Huaral.

1.4.2. Dependientes

- Concentración de plomo.
- Concentración de cadmio.

II. GENERALIDADES

2.1. Plomo

2.1.1 Propiedades fisicoquímicas

El plomo (Pb) es un metal pesado de color grisáceo, brillante al corte reciente, que se oxida rápidamente, adoptando un aspecto mate. Es muy dúctil, blando y maleable. Número atómico, 82; peso atómico, 207,19; estado de oxidación en los compuestos inorgánicos, +2; posee alta densidad, 11,34 g/cm³ a 20 °C; bajo punto de fusión, 327 °C; entra en ebullición a 1751 °C. Al fundirse, emite vapores tóxicos.

Pocas veces se encuentra en la naturaleza en su estado elemental. Generalmente, se encuentra combinado con otros elementos. Su forma más frecuente de presentación es el mineral galena (PbS) y, en menor medida, la cerusita (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄).

Es un metal resistente a la acción del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico, pero se disuelve fácilmente en el ácido nítrico y en ácidos orgánicos (cítrico, acético), con lo que se obtienen sales solubles.

El agua de lluvia y aquellas que contienen nitratos, así como las sales de amonio y carbónico, lo disuelven en pequeñas cantidades; mientras que las aguas muy calcáreas forman una película de carbonato de plomo insoluble^{4,5}.

El plomo se presenta en la naturaleza en cuatro formas de isótopos estables: plomo 208, 206, 207 y 204, por orden de abundancia⁶.

2.1.2 Principales formas de presentación

Las formas de presentación del plomo son las siguientes:

- a) Plomo metálico.** Solo es tóxico cuando se funde a temperaturas próximas a 500 °C. Los vapores que emite son tóxicos y, si penetran en las vías respiratorias, alcanzan fácilmente los alveolos. Los vapores se oxidan rápidamente, haciéndose poco solubles. Según su peso y contenido en agua, quedarán más o menos tiempo en suspensión en el aire, para posteriormente caer en el suelo. Esta es la forma principal de contaminación ambiental.
- b) Derivados inorgánicos.** Generalmente son poco solubles, por lo que presentan una escasa toxicidad, entre ellos se tiene el óxido de plomo rojo (PbO), base de pintura anticorrosiva; el cromato de plomo (PbCrO₄); el arseniato de plomo [Pb₃ (AsO₄)₂], base de insecticidas; el carbonato de plomo (PbCO₃); el sulfato de plomo (PbSO₄) y sulfuro de plomo (PbS).
- c) Derivados orgánicos.** Son muy empleados en la industria: acetato de plomo [Pb (CH₃COO)₂], es muy soluble y es el único que produce intoxicaciones agudas por vía digestiva; tetraetilo de plomo [Pb (C₂H₅)₄], se ha utilizado como antidetonante de la gasolina; estearato de plomo [Pb (C₁₈H₃₅O₂)₂], se usa para dar estabilidad y consistencia al plástico; y naftaleno de plomo, componente de grasas y de aceites de uso industrial.
- d) Aleaciones.** Con antimonio, arsénico, bismuto y estaño⁴.

2.1.3 Fuentes principales de contaminación

2.1.3.1 Contaminación ambiental

El plomo y sus derivados se encuentran distribuidos por todo el medioambiente, por ejemplo, en plantas, aire, suelo, agua de bebida, ríos, océanos y lagos (figura 1).

a) Agua

El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones bajas de plomo (1 $\mu\text{g/L}$) en aguas superficiales, y alrededor de 8 $\mu\text{g/L}$ en los ríos. Las concentraciones de plomo en el agua de mar son más bajas que en el agua de ríos y en lagos.

El agua, al igual que el aire, se transforma en una fuente de contaminación para la flora y la fauna acuáticas; y para el hombre, en la medida en que sea contaminada por actividades antropogénicas.

La exposición al plomo a través del agua es mínima, debido a que forma esencialmente compuestos insolubles de tipo carbonatos y sulfatos; además, el agua potable tiende a tener menor contenido de plomo que el agua no tratada, debido a que el plomo es en parte removido por las plantas convencionales de tratamiento de agua potable⁷.

El plomo procede de las tuberías de conducción del agua o de los depósitos con revestimiento de plomo. La solubilidad del plomo en los sistemas de conducción está influenciada por varios factores como la acidez, la concentración de calcio y sales en el agua, y el tiempo que esta haya permanecido estancada dentro de estos sistemas. Además, el plomo contenido en las aguas de riego puede contaminar los cultivos, y, secundariamente, al hombre⁸.

b) Aire

La presencia de plomo en el aire tiene importancia por la facilidad con que puede penetrar por la vía respiratoria y ser absorbido por el organismo. La mayor parte del plomo en el aire se presenta bajo la forma de partículas finas. Las emisiones antropogénicas de plomo hacia el aire (fundiciones, industrias y vehículos motorizados) son las causas más importantes de contaminación⁷.

Hasta finales del siglo pasado, el plomo (en la forma de tetraetilo de plomo) era utilizado como aditivo antidetonante en las gasolinas, lo cual contribuía a la acumulación de este metal en el medioambiente. Vistas las consecuencias perjudiciales del plomo, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental prohibió el uso de este combustible en 1996, y, posteriormente, la Unión Europea implantó la Directiva 98/70/CE, prohibiendo la comercialización de gasolina con plomo a partir del 1 de enero de 2000.

En áreas rurales, los niveles de plomo en el aire se encuentran de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a menos. Sin embargo, dependiendo del grado de contaminación, en zonas urbanas las cantidades de plomo en el aire están comprendidas entre 1 y $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y, ocasionalmente, pueden ser mayores⁹.

c) Suelo

El suelo es el depósito más importante de contaminantes de origen antropogénico. El plomo en el suelo puede ser relativamente insoluble (como sulfato, carbonato u óxido). El pH del suelo, el contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, y la cantidad de la materia orgánica influyen en el contenido y en la movilidad de plomo en el suelo¹⁰.

El suelo es contaminado generalmente por depósitos de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales. Cuando el plomo cae al suelo, se adhiere fuertemente a partículas allí y permanece en la capa superior de este. Por dicha razón, el desgaste de las pinturas de las casas ha sido, en algunos casos, una fuente importante de intoxicación, principalmente para niños,

que pueden ingerir tierra. Si en ciertas partes se continuara usando plaguicidas con contenido de plomo (arseniato de plomo), se deben considerar como una fuente de contaminación de suelos, especialmente agrícolas⁷.

En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado niveles de plomo entre 8 y 20 mg/kg; mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg/kg. Cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g/kg o más⁹.

d) Alimentos

La cantidad de plomo ingerida a través de los alimentos varía según el tipo de producto. Se han encontrado casos con ingestión diaria de hasta 2,6 mg en campesinos que vivían cerca de una fundición. Las frutas, las verduras y los cereales se contaminan con plomo, ya sea absorbiéndolo a partir del suelo o recibéndolo como depósito en sus superficies a partir del aire contaminado.

Los principales medios de contaminación de alimentos con plomo son los utensilios metálicos de cocina que presenten soldaduras de plomo, que sean de peltre, los utensilios domésticos de alfarería vidriada, agua y bebidas, especialmente si son ácidas.

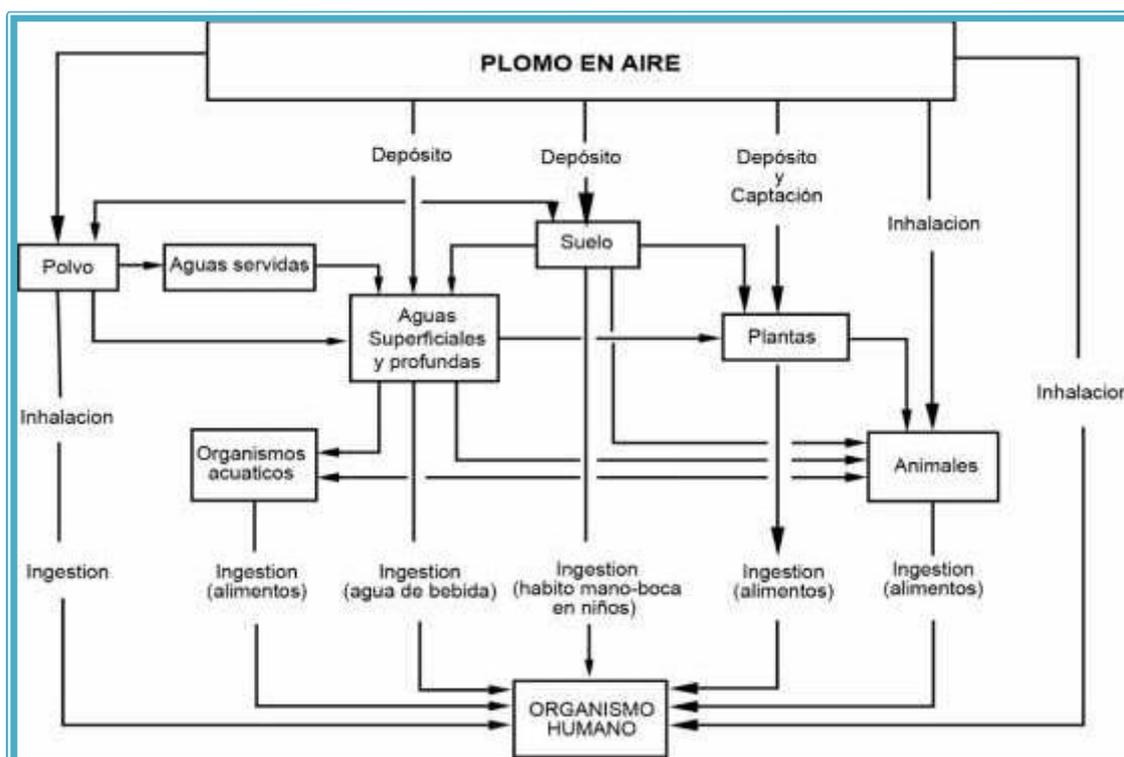


Figura 1. Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano

Fuente: Corey G, Galvao L. Plomo. *Serie vigilancia 8. OPS/OMS*⁷.

2.1.3.2 Contaminación industrial

Los individuos que están expuestos ocupacionalmente transmiten el plomo a través de su ropa, lo cual representa una fuente de contaminación para su hogar, principalmente para los niños, que presentan una mayor susceptibilidad a la intoxicación.

a) Minería y fundición

Las actividades de la minería del plomo son la fuente de exposición más evidente, aunque las concentraciones más altas de plomo en este tipo de ambiente están bajo la forma de sulfuros de plomo, los cuales son insolubles y solo tienen importancia por la posibilidad de ser ingeridos, con una absorción digestiva moderada.

La exposición de plomo es importante en los mineros y, principalmente, en los obreros que desarrollan el proceso de fundición, ya que presentan un mayor riesgo, debido a la emisión de vapores con partículas de tamaños respirables ($< 5 \mu\text{m}$) a concentraciones altas, tales como $200\text{-}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire.

b) Industria

El plomo está presente en diversas actividades industriales, ya sea como materia prima (en industrias de baterías, pigmentos y cables) o como parte de los subproductos del proceso (en la imprenta y soldaduras). Cuando está presente como materia prima, el plomo suele generar concentraciones ambientales muy altas.

Las industrias que presentan mayor riesgo son las siguientes:

- Antidetonantes para gasolina.
- Coberturas de cables.
- Municiones.
- Pigmentos para pintura.
- Productos del acero.
- Tubería de plomo⁷.

El plomo puede entrar al ambiente desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo. El plomo es liberado en el aire cuando se quema carbón, petróleo, desechos, manufactura de baterías de plomo, fundiciones de bronce y latón, y en la producción de hierro y acero. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o en aguas de superficies. De la misma manera, pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos y lagos cuando las partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia¹¹.

2.1.4. Toxicocinética

La intoxicación por plomo es muy frecuente en el ganado bovino, debido a que el plomo está ampliamente distribuido en la naturaleza. Las vacas lo ingieren a través del agua de bebida contaminada, polvo y forrajes contaminados con fertilizantes fosfatados o nitrogenados y aguas de regadío contaminados.

La curiosidad natural, su hábito de lamer y la falta de algún elemento nutricional en la dieta de las vacas (favorece la presentación del trastorno denominado *pica*) son factores importantes que aumentan el riesgo de intoxicación ante el acceso a cualquier elemento que contenga plomo (pinturas, aceites, lubricantes, desechos, líquidos, suelos y paredes). Asimismo, las vacas están propensas a contaminarse por vía respiratoria¹².

En los mamíferos, la absorción intestinal de plomo ocurre principalmente en el duodeno¹³. Sin embargo, se cree que el íleon también puede presentar eficientes tasas de absorción, siempre y cuando los niveles de caseína sean elevados, ya que más del 95 % del plomo se encuentra unido a esta proteína. Por ello, se puede considerar que la presencia de plomo en la leche es una crítica vía de exposición al metal¹⁴. Además, la presencia de citrato y lactosa también tiene una participación en la absorción de compuestos solubles de plomo¹⁵.

La proporción de absorción de plomo en animales adultos (1-15 %) es menor que la de animales jóvenes, que puede ascender de 26 a 52 % del total ingerido¹⁶.

Una vez que el plomo ingresa al organismo, la mayor parte (95 %) se une a proteínas de los eritrocitos y, a través de estos, se desplaza por el torrente sanguíneo.

El plomo tiene gran afinidad por los grupos imidazol, sulfídrico, amino, carboxilo y fosfato; debido a ello, presenta una fuerte unión a las membranas biológicas y a las proteínas. Solo una pequeña fracción permanece en el plasma sanguíneo, unido en su mayor parte a la albúmina.

Después de unas semanas en el torrente sanguíneo (\pm 35 días), el plomo que

no ha sido excretado se moviliza hacia diferentes tejidos, en particular hacia el cerebro, donde se calcula que puede permanecer hasta dos años. En determinadas circunstancias, como la gestación, período de acidosis o de lactancia, se puede observar la movilización de importantes cantidades de elementos minerales dentro del organismo.

Algunos autores señalan que la cinética del plomo en el organismo es de alguna manera modulada por el metabolismo celular enzimático de los animales expuestos, sobre todo en vacas y, específicamente, por su relación con la excreción por leche en diferentes épocas del año.

Por otro lado, para producir leche se requiere que pasen a través de la glándula mamaria de las vacas varias unidades de sangre, las cuales facilitan la captación y la formación de cada uno de los nutrientes y componentes de la leche. Este proceso biológico puede provocar la entrada y salida de elementos tóxicos presentes en el organismo, los cuales estarían claramente reflejados en la leche.

Además, la presencia de plomo en el organismo puede alterar el metabolismo de cobre, hierro y selenio. La toxicidad del plomo se incrementa por la acción de altos niveles de cadmio, mientras que el ácido ascórbico y el nicotínico pueden reducir el efecto tóxico. Asimismo, el plomo puede ser capaz de reemplazar al calcio en la movilización y en la deposición en huesos, lo que provocaría alteraciones en osificación. También ha sido registrado que la leche de vacas con niveles elevados de plomo presenta una menor concentración de hierro.

Se ha observado un gran índice de penetración del plomo en la leche, sobre todo cuando su concentración en sangre es elevada y se puede encontrar a altas cantidades de plomo libre en el plasma, situación que facilita el paso del metal hacia la leche¹⁷.

Por otro lado, el uso de materiales poco apropiados durante el ordeño, la manipulación, el almacenamiento y el transporte de la leche (tarros soldados con plomo) pueden influir en la presencia de este metal.

Finalmente, la leche es consumida por el humano, y es una posible fuente de contaminación por plomo, lo que lleva a cabo los siguientes procesos en el organismo.

Absorción

El plomo penetra en el organismo a través de las vías respiratoria, digestiva y cutánea. Los factores que influyen en la concentración y en la posibilidad de difusión del plomo en el organismo son las siguientes: vía de ingreso al organismo, tiempo de exposición, tamaño de partículas y tipo de compuesto de plomo. Además, depende de factores propios del organismo, tales como edad, sexo, condición nutricional, estado fisiológico e integridad de los tejidos.

a) Vía respiratoria

Es la vía más importante en el ámbito laboral, porque a través de ella se inhalan humos, vapores y polvos. Al penetrar por esta vía, se combina con el CO_2 espirado, formándose PbCO_3 soluble. Después del depósito del plomo en la nasofaringe, la tráquea, los bronquios y los alveolos, parte de las partículas inhaladas asciende por acción de los cilios, pasa al esófago y se absorbe parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas restantes que llegan hasta los alveolos son absorbidas y pasan a la sangre entre un 35 y un 50 %⁷.

b) Vía digestiva

El plomo se absorbe principalmente en el intestino. La absorción por esta vía depende de la forma, el tamaño, el vaciado gástrico, la motilidad gastrointestinal, el pH gástrico, la interacción del compuesto con otros componentes del tracto gastrointestinal, el estado nutricional y la edad. La absorción del plomo se ve incrementada si la partícula es pequeña, si existe deficiencia de calcio, hierro, potasio y zinc, si presenta una dieta rica en

vitamina D o en lípidos, si hay inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 %, mientras que en el adulto es de 10%^{18,19}.

Con respecto a la absorción de plomo, algunos autores mencionan la existencia de un mecanismo de pinocitosis en el intestino, más eficiente en los neonatos que en los adultos²⁰. El plomo que penetra por esta vía (a excepción del acetato de plomo) es insoluble, de ahí que la absorción sea muy escasa (5-10 %)⁴.

c) Vía dérmica

Esta vía es de menor importancia. Los derivados inorgánicos de plomo no se absorben por la piel íntegra, mientras que los derivados orgánicos con elevada liposolubilidad pueden absorberse, sobre todo el tetraetilo de plomo. Este, en el organismo, es desalquilado y convertido en trietilo, que es el que ejerce la acción tóxica²¹.

Distribución y metabolismo

Luego de su absorción, el plomo se distribuye en tres compartimentos: sanguíneo, tejidos blandos y tejidos óseos.

En el primer compartimento, formado por la sangre, el plomo representa el 2 % del contenido total, donde el 95 % es transportado por los eritrocitos unido a la hemoglobina, con una vida media de 36 días; luego se distribuye en los tejidos blandos y, posteriormente, va a huesos, dientes y cabellos. El segundo compartimento formado por tejidos blandos (riñón, hígado, médula ósea y sistema nervioso) representa aproximadamente el 10 % del contenido total, con una vida media de 40 días; solo una pequeña parte se acumula en el cerebro, principalmente en materia gris y ganglios basales. El tercer compartimento lo conforman el tejido óseo y los dientes, que contienen el 90 % del plomo almacenado, con una vida media de 10 a 30 años, debido a la formación de compuestos muy estables²².

Si las concentraciones en sangre son elevadas, el almacenamiento de plomo en los huesos se ve favorecido, pudiendo acumularse un 94 % del plomo absorbido. La sangre transfiere lentamente el plomo a los huesos, donde se fija siguiendo un metabolismo paralelo al del calcio, pero el metal se deposita en la forma de fosfato de plomo terciario⁹.

Los factores que modifican la distribución del calcio tienen la misma acción en el plomo; de este modo, la ingestión abundante de fosfato permite el almacenamiento de plomo en el esqueleto y, en menor concentración, en los tejidos blandos. Por el contrario, la ingestión de poco fosfato moviliza el plomo en los huesos y aumenta su contenido en tejidos blandos. La vitamina D tiende a estimular el depósito de plomo en los huesos si se cuenta con una cantidad suficiente de fosfato; de no ser así, el depósito de calcio tiene prioridad sobre el de plomo²³.

El plomo, como fosfato, forma complejos con los ácidos biliares, y así aumenta su solubilidad. Se cree que las sales de plomo utilizan los mecanismos de transporte empleados por el calcio y el hierro²⁴.

En determinadas circunstancias, como el embarazo, la lactancia, la menopausia, el hipertiroidismo, los períodos de acidosis, una simple fractura, inmovilidad, edad avanzada y osteoporosis, se lleva a cabo una importante movilización mineral ósea. El plomo puede abandonar los huesos y entrar nuevamente en la sangre en cantidades suficientes como para provocar una intoxicación. El plomo de los huesos puede contribuir hasta con 50 % del plomo en la sangre, de modo que es una fuente importante de exposición interna al plomo²⁵. El embarazo y la lactancia aumentan considerablemente la demanda de calcio. Al salir calcio de los huesos, también se libera plomo, el cual atraviesa libremente la barrera placentaria, ocasionando que los recién nacidos tengan una concentración de plomo en sangre muy similar a la de sus madres. Asimismo, la secreción de plomo y de otras sustancias tóxicas almacenadas en la leche materna representa una fuente adicional de intoxicación de plomo para el niño. También tiene la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica, y se ha asociado a índices altos de esterilidad, abortos y mortalidad infantil^{26,27}.

Excreción

La eliminación de plomo es fundamentalmente a través de la orina (76 %) y las heces, aunque también por otras vías secundarias como leche, sudor, saliva, pelo y uñas (figura 2)²⁸.

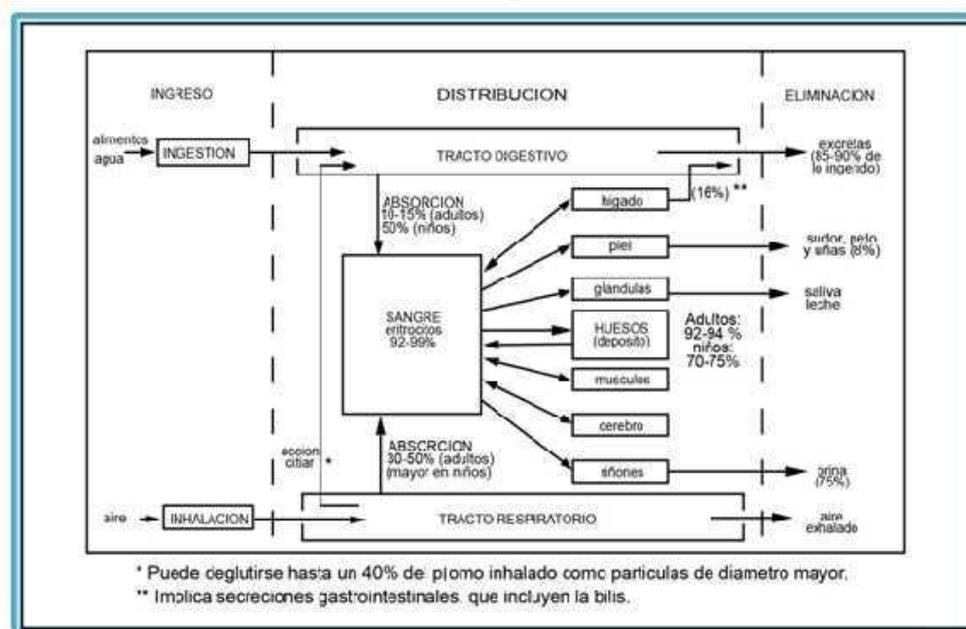


Figura 2: Vías de absorción, distribución y eliminación del plomo en el organismo humano.

Fuente: Corey G, Galvao L. *Plomo*. Serie vigilancia 8. OPS/OMS⁷.

2.1.5. Toxicodinamia

El plomo tiene gran afinidad por los grupos sulfhidrilo (-SH) de las proteínas, como las enzimas. También se unen a los grupos carboxílicos y fosfatos⁷. Además, compite con calcio, hierro, zinc y cobre por su sitio de acción, modificando sus concentraciones intracelulares¹⁹.

Por otra parte, el plomo altera la síntesis de la hemoglobina, al inhibir en la mitocondria de los eritroblastos. Tres enzimas principales que intervienen en la síntesis del hem. La primera enzima inhibida es la δ -ALAD (cataliza el paso del ácido delta-aminolevulínico a porfobilinógeno), cuya consecuencia es el aumento del ALA, primero en suero y después en orina. La segunda enzima

inhibida es la coproporfirinógeno III-oxidasa o coprogenasa (cataliza el paso de coproporfirinógeno III a protoporfirinógeno), lo que resulta en el aumento de coproporfirinógeno III en sangre y coproporfirina III en orina y heces. Por último, se inhibe la hem-sintetasa o ferroquelatasa, enzima que cataliza el paso de protoporfirina IX a Hem, incorporando el hierro a su molécula. Las consecuencias que se producen son acumulación de protoporfirina IX en el eritroblasto; el hierro no utilizado se acumula en el hematíe y asciende en suero; y la protoporfirina IX quela al zinc formando Zn-protoporfirina, que por su tamaño no puede salir del hematíe. A la alteración de la síntesis del hem se añade un trastorno en la síntesis de la globina, con un resultado de déficit de hemoglobina.

En el saturnismo se produce anemia, debido a las crisis hemolíticas, que destruyen los hematíes, a la inhibición de la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina y a la alteración del metabolismo de las porfirinas con acumulación de metabolitos tóxicos²⁸. La anemia que se produce es moderada, normo- o hipercroma⁴.

Inhibe la ATPasa sódico-potásica, incrementando la permeabilidad celular, la síntesis de ADN, ARN y proteínas, el consumo de glucosa y respiración celular y las enzimas biotransformadoras⁶.

2.1.6. Manifestaciones clínicas

Intoxicación aguda

La intoxicación aguda es poco frecuente, y puede aparecer tras la ingestión de una sal soluble (acetato de plomo), la inhalación de vapores de plomo, de una cantidad importante de un alimento contaminado o como consecuencia de la pica en niños⁴.

Cursa náuseas, vómitos, dolor abdominal, estreñimiento o diarrea inicial para, posteriormente, instaurar estreñimiento. Puede haber una crisis hemolítica aguda que ocasione anemia o hemoglobinuria. La alteración renal cursará con oliguria, elevación de la úrea, proteinuria, aminoaciduria, glucosuria, fosfaturia y cilindruria. Además, habrá hepatitis tóxica. Pueden aparecer calambres musculares, debilidad, parestesias y algias en extremidades. En los adultos aparece una encefalopatía tardía que cursa con edema cerebral: cefaleas intensas, obnubilación, convulsiones y coma; por el contrario, en los niños esta encefalopatía es más precoz, y cursa con irritabilidad y convulsiones o con hipertensión endocraneal²².

Intoxicación crónica

Se presentan principalmente síntomas gastrointestinales, neuromusculares, hematológicos, renales y del sistema nervioso central. Los síntomas gastrointestinales son más frecuentes en el adulto en comparación con los niños, en quienes predominan los del sistema nervioso central²⁷. Pueden distinguirse tres fases:

a) Fase de presaturismo o de impregnación. En esta fase el paciente se encuentra asintomático, o presenta síntomas inespecíficos, como astenia, dispepsia, artralgias, mialgias, adelgazamiento, dolor abdominal e insomnio. En la exploración clínica se puede evidenciar el ribete de Burton (línea azul-grisácea en el reborde gingival), resultado del depósito de sulfuro de plomo (figura 3).



Figura 3. Ribete de Burton.

Fuente: Moreno A, Granada J. *Intoxicación por plomo: diagnóstico diferencial de dolor abdominal crónico. Reporte de caso y revisión de tema.* Univ. Med. 2012³¹.

b) Fase de intoxicación franca. Cursa con empeoramiento de la sintomatología de la fase presaturismo. La anemia se manifiesta con concentraciones a partir de 50 $\mu\text{g/dL}$ de plomo. El cólico saturnino consiste en una crisis de dolor abdominal agudo, periumbilical, con vómitos, estreñimiento pertinaz y mal estado general.

También se puede presentar la encefalopatía por plomo, que se manifiesta como un síndrome de hipertensión endocraneal. Esta encefalopatía es más frecuente en niños, debido a la mayor facilidad del plomo para penetrar el encéfalo, y está relacionada con déficits cognitivos, alteraciones del comportamiento, déficits visuales, alteraciones de lenguaje, etc.

La polineuropatía de predominio motor, bilateral, simétrica y de afectación predominante en extremidades superiores produce una parálisis radial que alcanza primero los extensores largos del dedo medio y anular, después afecta los otros dedos y la extensión de la mano sobre el antebrazo que da lugar a una mano péndula. También puede extenderse a los miembros inferiores, produciendo la caída del pie.

Las lesiones renales inicialmente son asintomáticas, con alteraciones tubulares y esclerosis glomerular. Con la evolución aparece hipertensión arterial, hiperuricemia e insuficiencia renal. La intoxicación por compuestos orgánicos de plomo difiere de la intoxicación por plomo inorgánico. En la primera, predomina

la afectación del sistema nervioso central, con insomnio, agitación, cefalea, ansiedad, ataxia, alucinaciones, estado maniaco, temblores, convulsiones y coma. También puede producir lesiones dermatológicas, hepáticas y renales. No suele haber anemia.

c) Fase de impregnación antigua. Se debe a la exposición prolongada de plomo, que puede tener como consecuencia hipertensión permanente, nefritis crónica asociada frecuentemente a la gota y alteraciones cardíacas^{4,22}.

El plomo es teratógeno, y puede provocar nacimientos prematuros, niños con bajo peso al nacer e, incluso, abortos en mujeres embarazadas²⁹.

El paso de plomo de la madre al feto se produce por un mecanismo de difusión simple, aunque algunos autores lo relacionan con fenómenos de transporte de calcio³⁰.

También puede dañar el sistema reproductor masculino, incluyendo calidad del esperma, disminución en el número de espermatozoides y mayor número de espermatozoides anormales³¹.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) llegó a la conclusión de que existen evidencias suficientes en animales, pero solo evidencias limitadas en humanos para la carcinogenicidad del plomo inorgánico, y que los compuestos inorgánicos de plomo son probablemente cancerígenos para los humanos (Grupo 2A)³².

2.1.7. Tratamiento de la contaminación por plomo

El tratamiento, tanto en la intoxicación aguda como en la crónica, se basará en retirar al paciente de las fuentes de exposición, junto al tratamiento concomitante de los cuadros clínicos. En el caso de la ingesta oral aguda, se deben realizar las medidas de descontaminación digestiva rutinarias (lavado gástrico, carbón activado). Las convulsiones se tratan con diazepam; es importante conservar el equilibrio hidroelectrolítico; el edema cerebral se combate con manitol

y dexametasona.

Los quelantes son el tratamiento de elección en las intoxicaciones por plomo inorgánico; forma complejos inertes y estables que son excretados por la orina. El tratamiento con quelantes está indicado en pacientes sintomáticos o en aquellos cuyas concentraciones de plomo en sangre exceden de 50-60 $\mu\text{g/dL}$. Se utilizan cuatro quelantes: el EDTA cálcico disódico, BAL o dimercaprol, D-penicilamina, ácido 2,3 dimercaptosuccínico (DMSA) y el 2,3 dimercapto-1-propanosulfonato (DMPS). Por lo común, el EDTA cálcico disódico y el dimercaprol se utilizan en combinación contra la encefalopatía saturnina, puesto que la eficacia quelante aumenta.

2.2. Cadmio

2.2.1 Propiedades fisicoquímicas

El cadmio (Cd) es un metal pesado, blanco azulado, blando, dúctil, maleable, resistente a la oxidación y altamente reactivo. Número atómico, 48; peso atómico, 112,40; su estado de oxidación más común es el +2, y puede presentar el estado de oxidación +1, pero es muy inestable; su densidad es de 8,64 g/cm^3 ; su punto de fusión, 320,9 $^{\circ}\text{C}$; y entra en ebullición a 765 $^{\circ}\text{C}$ ^{4,5}.

La mena más importante del zinc es la escalerita: al tostarla, se obtiene una mezcla de óxidos y de sulfatos, de donde se extrae el cadmio, gracias a su fácil reducción. Aproximadamente se obtienen 3 kg de cadmio de cada tonelada de zinc refinado. También se pueden obtener cadmio a partir de menas de galena y de malaquita. Existen otras fuentes secundarias basadas en el reciclado del hierro y del acero, de los que se obtiene un 10 % del cadmio consumido. Además de la forma metálica del cadmio, se puede encontrar como carbonato, cloruro, sulfato, óxido y sulfuro¹².

Constituye un subproducto de la minería y de la fundición del zinc y plomo, los cuales son fuentes importantes de contaminación ambiental³³.

Está distribuido en toda la corteza terrestre, en una concentración de 0,15 a 0,2 ppm. No existe en su estado puro, sino asociado a otros minerales, como plomo, cobre y zinc³⁴.

El cadmio es un metal ampliamente utilizado en la industria, pero con el problema de ser no biodegradable y de que menos del 5 % del metal es reciclado, lo cual provoca una importante contaminación ambiental²².

2.2.2 Fuentes de contaminación del cadmio

2.2.2.1 Contaminación ambiental

a) Agua

El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones bajas de cadmio: 0,04-0,3 $\mu\text{g/L}$ en océanos, y alrededor de 1 $\mu\text{g/L}$ en ríos. Sin embargo, en regiones donde hay contaminación por cadmio, las concentraciones se pueden elevar mucho, encontrándose niveles de 0,001 y de hasta 0,115 mg/L . Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago, causando vómitos y diarreas³⁵.

b) Aire

La forma química más importante en el cadmio en el aire como óxido de cadmio. En ciudades donde hay actividad industrial importante, se han encontrado concentraciones elevadas de cadmio en el aire, de 0,05 a 30 $\mu\text{g/m}^3$, en oposición a otras áreas no contaminadas, donde existen niveles de 0,001 a 0,005 $\mu\text{g/m}^3$ (rurales) y de 0,005 hasta 0,05 $\mu\text{g/m}^3$ (urbanas). La presencia de cadmio en el aire adquiere mayor interés, ya que puede ingresar al organismo por vía respiratoria y ser absorbido. En áreas muy contaminadas, el individuo puede llegar a inhalar hasta 3,5 μg de cadmio al día³⁴.

c) Suelo

En áreas no contaminadas, el cadmio se encuentra en el suelo en alrededor de 1 mg/kg. La contaminación del suelo por depósito de partículas del aire o por agua contaminada por actividades industriales ha determinado concentraciones de hasta 16 mg/kg. El cadmio se adhiere fuertemente a partículas del suelo³⁴.

El tiempo de permanencia del cadmio en suelos es de hasta 300 años, y el 90 % permanece sin transformarse. El cadmio llega al suelo de los terrenos agrícolas por deposición aérea, con los fertilizantes fosfatados, por aplicación de abono de estiércol y, en el Perú, frecuentemente por efluentes que contienen residuos líquidos y sólidos de plantas hidrometalúrgicas de cadmio³⁶.

d) Plantas

La presencia de cadmio en la atmósfera es consecuencia de la polución natural, por la capacidad de las plantas de concentrar el cadmio de origen geoquímico y, tras su descomposición, dispersarlo en el medioambiente. Los fertilizantes y plaguicidas y las aguas residuales utilizadas para el riego, así como la deposición atmosférica, hacen del cadmio un elemento común en los suelos de cultivo, donde es fácilmente absorbido por las plantas. Además, se fija a las plantas más rápidamente que el plomo³⁰.

e) Alimentos

Los alimentos representan la fuente de exposición más importante para los individuos de la población general no ocupacionalmente expuestos. Entre el 90 y el 95 % del cadmio ingerido es eliminado por la heces, lo que hace que la importancia de la ingestión de cadmio solamente sea significativa cuando existe un alto índice de contaminación ambiental, lo cual repercute en las concentraciones de cadmio en los alimentos³⁴.

El cadmio puede hallarse en algunos alimentos que se contaminan a partir de tierra, aguas contaminadas, sedimentos y fertilizantes. Entre ellos destacan el arroz, los cereales (arroz, trigo), las verduras (de hoja), las raíces (papas y zanahorias) y las frutas. En agua, leche y huevos, las concentraciones son más bajas²². Los frutos y semillas contienen menos cadmio que las hojas³⁶.

f) Tabaco

Cada cigarrillo contiene alrededor de 1-2 μg de cadmio. Parte de esto se elimina con la combustión, pero se inhala de 0,1-0,2 μg /cigarrillo, lo que puede causar una acumulación de 15 mg de cadmio en el organismo al cabo de 20 años de haber fumado cigarrillos diarios³⁴.

2.1.3.2 Contaminación industrial

Las intoxicaciones industriales por cadmio resultan de la exposición excesiva a los polvos y a los humos que se desprenden en la producción del metal y de sus sales, o en una serie de aplicaciones industriales⁴.

a) Minería

Las actividades de la minería son la fuente más evidente y la que puede causar las concentraciones más altas de cadmio, ya que este metal se encuentra frecuentemente incorporado en diversos minerales.

b) Industria

El cadmio está presente en las actividades industriales, ya sea como componente de la materia prima (industrias de baterías y colorantes) o como parte de los subproductos del proceso de obtención del zinc.

Las industrias que han presentado mayor riesgo son las siguientes:

- Fabricación de electrodos para las baterías de níquel-cadmio y acumuladores.
- Cables eléctricos.
- Cloruro de polivinilo (se emplea como estabilizador).
- Fabricación de colorantes para pinturas, vidrios, textiles, cerámicas y plásticos.
- Fusiles.
- Joyería.
- Soldaduras.
- Zinc³⁴.

2.2.3 Toxicocinética

Absorción

El cadmio se absorbe por vía respiratoria principalmente; la vía digestiva es menos importante²². En los animales, los rangos de absorción son muy diversos, aunque por lo general son más bajos que en la especie humana.

a) Vía respiratoria

La absorción por vía inhalatoria depende de la solubilidad y del tamaño de las partículas (polvo).

b) Vía digestiva

La absorción en el intestino está condicionada por ciertos factores como especie, edad, interacción con otras sustancias nutritivas, estado de gestación o de lactación. La forma química del compuesto, la dosis ingerida y el tiempo de

exposición son también factores que juegan un papel importante en la cantidad del compuesto asimilado.

Solo del 5 al 7 % del cadmio ingerido es absorbido por vía gastrointestinal, y aumenta por deficiencias de calcio, hierro, cobre y bajo contenido proteico en las dietas. Una deficiencia de hierro incrementa la absorción de cadmio por vía gastrointestinal, pudiendo esta llegar a ser del 15 %. Por el contrario, el zinc disminuye la absorción del cadmio, probablemente estimulando la síntesis de metalotioneína. Además, se afirma que una dieta alta en fibras incrementa la absorción de cadmio³⁷.

Distribución y metabolismo

Una vez absorbido, el tóxico se transporta por la sangre, ligado de modo principal a los glóbulos rojos y a la albúmina. Llega en primer lugar al hígado, para ser redistribuido lentamente de ahí a los riñones, en la forma de un complejo de cadmio-metalotioneína (Cd-MT). La metalotioneína es una proteína de bajo peso molecular con gran afinidad por metales como el cadmio y el zinc, que se unen a ella a través de los grupos tiol (-SH) de sus residuos de cisteína. La metalotioneína es inducible por exposición a varios metales como el cadmio. Las concentraciones altas de esta proteína que se ligan al metal protegen contra la toxicidad por cadmio, al impedir su interacción con otras macromoléculas funcionales. La liberación a la sangre de este complejo es lenta, por lo que se considera que el complejo MT-Cd se acumula en el hígado²³. La corteza renal resulta ser el mayor depósito de cadmio en el organismo, aunque también se pueden encontrar pequeñas cantidades de este metal en páncreas, pulmón y testículos. El complejo se considera menos tóxico que el cadmio no enlazado, por lo que se cree que la proteína puede actuar como agente desintoxicante. El complejo es transportado por la sangre hasta el riñón, donde es filtrado y reabsorbido por las células tubulares proximales; allí las lisozimas lo degradan y liberan el cadmio libre al citoplasma²².

Estudios han demostrado que el cadmio se distribuye pobremente en la leche, sugiriendo que la glándula mamaria puede actuar como una barrera de protección para el neonato ante la exposición a este metal. Cabe señalar que dicho mecanismo de protección tiene como consecuencia una alteración de las células epiteliales, lo que afecta la función de la ubre desde el momento en que el cadmio llega y se acumula en el tejido mamario. En bovinos, la transferencia de cadmio en la leche es baja. Sin embargo, se conoce que el metal tiene la capacidad de mimetizarse, por sus características iónicas, con elementos esenciales como calcio, hierro y zinc, para así utilizar sus mecanismos de transporte (transportadores de membrana, canales iónicos) y poder acceder y distribuirse en el organismo. También puede hacerlos por sus características moleculares o de función, al actuar en complejos moleculares ricos en grupos sulfidrilos como cistina, oligopéptidos, aminoácidos, aniones o cationes orgánicos. Además, estudios indican que la síntesis de caseína es calcio-dependiente, y es conocido que el cadmio es capaz de interrumpir la regulación de los niveles intracelulares de calcio mediante el bloqueo de los canales de calcio o la unión de este con los transportadores en diferentes tejidos. La toxicidad del cadmio se debe principalmente a su acumulación en el organismo y a su baja excreción. Su vida media es muy variable, de acuerdo con el individuo, oscilando de 10 y 30 años para el riñón y entre 4 y 19 para el hígado¹².

Excreción

Se elimina principalmente por vía intestinal, aunque también por vía urinaria y leche. La leche humana y la leche de vaca tienen bajo contenido de cadmio, con menos de 1 µg/kg. También hay cierto grado de excreción biliar, pero en el intestino vuelve a absorberse en un ciclo entero-hepático.

La excreción urinaria está relacionada con la concentración del cadmio en sangre, el tiempo de exposición y el grado de afectación renal. Cuando existe una lesión renal o si la exposición es fuerte, la excreción urinaria será aumentada.

2.2.4 Toxicodinamia

La acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por los grupos -SH, -OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil de las proteínas intracelulares, inhibiendo a las enzimas que poseen estos grupos; y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales como zinc, cobre, hierro y calcio, lo que conllevaría a su alteración enzimática y a la de sus procesos bioquímicos³⁸.

Estimula la glucólisis e inhibe la respiración celular, la síntesis de proteínas, la absorción de hierro, etc. Al alterarse la función renal, se pierden por la orina aminoácidos, glucosa, minerales, calcio y fósforo. Como mecanismo defensivo, estimula la síntesis de metalotioneína, especialmente en el hígado.

Una forma que tiene de producir toxicidad renal es la siguiente: el metal es captado por el hígado y se combina con el glutatión para ser excretado por la bilis. De mayor importancia, el cadmio se liga a la metalotioneína, y en esa forma es almacenado. Parte del cadmio ligado a la metalotioneína pasa al plasma, para ser captado por el riñón, como sucede con el cadmio inorgánico. Una concentración suficiente (200 µg/g) lesiona la célula renal, con lo que surge lesión tubular proximal y proteinuria. La exposición más intensa a menudo produce daño glomerular, disminuye la filtración y ocurre aminoaciduria, glucosuria y proteinuria²³. Otro mecanismo de nefrotoxicidad es el mediado por la formación de anticuerpos a la MT; la exposición al cadmio incrementa la producción de MT en el hígado y en el riñón, lo que constituye una respuesta protectora para limitar su toxicidad. Sin embargo, una vez que se excede la capacidad de las MT de almacenar cadmio, este en forma libre tiene la capacidad de inducir la formación de auto-anticuerpos a las MT, los cuales son también tóxicos para las células del túbulo contorneado proximal³⁹.

2.2.5 Manifestaciones clínicas

Las manifestaciones clínicas en el organismo humano son las siguientes:

Intoxicación aguda

La intoxicación aguda resulta de la inhalación de vapores y de polvo de cadmio, o de la ingestión de sales de cadmio.

a) Inhalación

Los humos de cadmio funcionan como irritantes de las mucosas, produciendo dificultad respiratoria aguda. Los síntomas son fiebre, alteraciones digestivas, dolor torácico, neumonitis con tos, disnea, escalofríos y edema agudo del pulmón, lo que puede determinar la muerte por insuficiencia respiratoria. También puede aparecer anemia (por afectar la absorción del hierro de los alimentos), albuminuria, hepatitis y anuria; estas pueden determinar la muerte por hepatonecrosis.

b) Ingestión

Los síntomas son náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. En muchos casos hay una diarrea intensa con colapso. Estos síntomas aparecen con la presencia de cadmio en agua o alimentos con concentraciones de alrededor de 15 ppm.

La intoxicación por sales de cadmio en el ganado de abasto es muy poco frecuente, y en la mayoría de los casos se debe a la exposición accidental a productos químicos agrícolas¹².

Intoxicación crónica

a) Inhalación

Puede provocar una nefropatía en forma de tubulopatía proximal o de glomerulopatía, y cursa con proteinuria, leucocituria, microhematuria, aminoaciduria, glucosuria e HTA. También cursa con enfisema pulmonar, fibrosis pulmonar y otras alteraciones, como la rinitis y la anosmia por lesión del nervio olfatorio, pigmentación amarilla de los dientes en forma de bandas o anillos que progresa desde el ápice hacia el cuello (por la formación de sulfuro de cadmio), astenia y anorexia.

b) Ingestión

La ingestión prolongada del cadmio, aunque no es muy frecuente, se puede presentar en la población general. El ejemplo más conocido es el que se produjo en Japón, donde se observó una intoxicación por cadmio que provocó la enfermedad denominada *Itai-Itai*. En este caso, el cadmio había contaminado los campos de arroz a partir de los vertidos de una planta procesadora de zinc. Esta enfermedad se caracteriza por lesiones en el túbulo renal proximal, osteomalacia, osteoporosis con fracturas múltiples, enteropatía y anemia. Además, resultaron afectadas mujeres japonesas posmenopáusicas multíparas que, durante el período de exposición al cadmio, tuvieron bajas ingestas de calcio, hierro, proteínas, grasa y vitamina D^{29,34}.

El cadmio ha sido clasificado por la IARC como cancerígeno para humanos (Grupo 1), con evidencias suficientes para el cáncer de pulmón y limitadas para el riñón, el hígado y el cáncer de próstata. La mayoría de las evidencias derivan de la alta exposición al cadmio de los trabajadores expuestos a través de la inhalación, principalmente de óxido de cadmio².

2.2.6. Tratamiento de la intoxicación por cadmio

No existe una terapia efectiva para el tratamiento de la intoxicación con cadmio, el tratamiento es sintomático. En las exposiciones agudas, el quelante indicado es el EDTA calcio disódico, aunque presenta moderada eficacia. La dosis es de 75 mg/kg, dividida en 3-6 horas durante cinco días; luego se hace un segundo ciclo sin exceder la dosis de 500 mg/kg. Debe instaurarse lo antes posible, puesto que su eficacia disminuye con el tiempo. El BAL o dimercaprol está contraindicado, porque aumenta la nefrotoxicidad. En las intoxicaciones crónicas, el tratamiento quelante no tiene eficacia²².

En el caso de la enfermedad Itai-Itai, el uso de gran cantidad de vitamina D por largo tiempo resultó en una disminución de los síntomas dolorosos y de las fracturas óseas espontáneas. El uso de calcio y de fósforo en las dosis habitualmente utilizadas para tratar insuficiencias vitamínicas ha tenido efectos favorables en el tratamiento de los casos crónicos de intoxicación por cadmio.

En caso de inhalación:

- Trasladar al paciente desde el área contaminada hacia una donde exista aire limpio.
- Administrar sulfato de codeína para la tos, si es necesario.
- Administrar antibióticos como profiláctico de posible infección secundaria.

En caso de ingestión:

- Administrar leche o huevos crudos y revueltos, varias veces y en intervalos cortos, para tratar la irritación local.
- Hacer lavado gástrico con leche, agua o solución de albúmina, si el paciente no presenta vómito.
- Administrar 15 a 30 g de sulfato de magnesio o de sodio disuelto en agua.

En ambos casos, hacer pruebas de la funciones del riñón y del hígado para evaluar posibles daños a estos órganos³⁴.

2.3. Leche

2.3.1. Definición

Desde un punto de vista legal, la leche de vaca puede definirse como “producto fresco del ordeño completo de una o varias vacas sanas (libres de toda enfermedad infectocontagiosa tales como tuberculosis, brucelosis y mastitis), bien alimentadas y en reposo, exento de calostro y que cumpla con las características físicas, microbiológicas e higiénicas establecidas”¹².

Según la Norma Técnica Peruana, la leche cruda es el producto íntegro de la secreción mamaria normal sin adición y sustracción alguna, que ha sido obtenido mediante uno o más ordeños y que no ha sido sometido a procesamiento o tratamiento alguno⁴⁰. Desde el punto de vista fisicoquímico, la leche es un sistema disperso formado por dos fases; concretamente, es una emulsión con fase dispersa oleosa y fase dispersante acuosa (emulsión O/A). La materia (O) en forma globular (glóbulo graso) se dispone en el seno de un líquido acuoso (A) denominado suero⁴¹.

A partir del momento de su obtención, la leche será sometida a filtración y a enfriamiento inmediato a 4 °C⁴².

2.3.2. Requisitos

Generales

- La leche cruda no deberá estar alterada ni adulterada.
- Se deberá obtener mediante ordeño higiénico, regular y completo de animales lecheros y bien alimentados, sin calostro.
- Deberá estar exenta de sustancias conservadoras y de cualquier otra sustancia extraña a su naturaleza.
- No podrá haber sido sometida a procesamiento o tratamiento alguno que disminuya o modifique sus componentes originales.

Organolépticos

La leche cruda deberá estar exenta de color, olor, sabor y consistencia extraños a su naturaleza.

Fisicoquímicos (tabla 1)

Tabla 1. Requisitos fisicoquímicos

Ensayo	Requisitos
Materia grasa (g/100g)	Mínimo 3,2
Sólidos no grasos (g/100g)	Mínimo 8,2
Sólidos totales (g/100g)	Mínimo 11,4
Acidez, expresada en g. de ácido láctico (g/100g)	0,13-0,17
Densidad a 15 °C (g/mL)	1,0296-1,0340
Índice de refracción del suero, 20 °C	Mínimo 1,34179 (Lectura refractométrica 37,5)
Ceniza total (g/100g)	Máximo 0,7
Alcalinidad de la ceniza total (mL de solución de NaOH 1N)	Máximo 1,7
Índice crioscópico	Máximo - 0,540 °C
Sustancias extrañas a su naturaleza	Ausencia
Prueba de alcohol (74 % v/v)	No coagulable
Prueba de la reductasa con azul de metileno	Mínimo 4 horas

Fuente: Leche y Productos lácteos. Leche cruda. Requisitos. INDECOPI. NTP 202.001.2010. ⁴⁰

2.3.3. Composición química

La leche tiene una composición dinámica, en la cual se registran variaciones dependiendo del momento y del número de lactación, edad, raza, peso, estado nutricional, aportes minerales, época del año, balance energético, frecuencia y eficiencia de ordeño, y por el estado general de salud del animal, en particular de la ubre¹².

Las vacas tienen una producción media diaria muy fluctuante, que va desde tres (vacas que pastorean, sin atención médica) hasta 25 litros (vacas estabuladas en buenas condiciones de salud y de alimentación)⁴³.

El componente mayoritario de la leche de vaca es el agua (85-87 %), en la que se encuentran dispersos lípidos (3-6 %), proteínas (3-4 %), hidratos de carbono (4 %), sales minerales, vitaminas y pigmentos (tabla 2).

Lípidos. Está constituida por lípidos apolares y polares. Los lípidos apolares son mayoritariamente triglicéridos (98 %), y los ácidos grasos que forman parte de estos son variados. La mayoría son ácidos grasos saturados (60 %), como el ácido palmítico, el ácido esteárico, el ácido mirístico y cantidades notables de ácidos grasos saturados de cadena corta, como el ácido butírico y el hexanoico; mientras que el resto son ácidos grasos insaturados, de los cuales el 35 % son monoinsaturados (principalmente ácido oleico) y el 5 % poliinsaturados (como EPA y DHA). Los lípidos polares incluyen a los fosfolípidos, los cerebrósidos, los gangliósidos, y la fracción insaponificable, donde se encuentran el colesterol, los pigmentos naturales (carotenoides) y las vitaminas liposolubles A, D, E (tabla 3).

Proteínas. Las más abundantes son las caseínas 80 % y un 20 % proteínas del suero (la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina, las seroalbúminas, las inmunoglobulinas, la lactoferrina y otras).

Hidratos de carbono. El glúcido mayoritario es la lactosa.

Vitaminas y minerales: Respecto a vitaminas, abundan sobre todo las vitaminas liposolubles A, D y E. También se encuentran vitaminas del grupo B, sobre todo riboflavina (vitamina B₂), cianocobalamina (vitamina B₁₂) y ácido ascórbico (vitamina C). Aunque la niacina se encuentra en baja concentración, la leche es una buena fuente de esta vitamina, por su alto contenido de triptófano, precursor de esta en el cuerpo humano. Aproximadamente el 1 % de la leche son sustancias minerales, generalmente en forma de sales inorgánicas. Los minerales más abundantes son potasio (K), fósforo (P), sodio (Na), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Además, se considera un alimento pobre en hierro (tabla 4)^{41,44}.

Tabla 2. Comparación de la composición de la leche de vaca con la leche humana y la de otros mamíferos (valor medio en g/100mL)

	Mujer	Vaca	Cabra	Oveja
Agua	87	87	87	87
Proteínas	1	3,2	2,9	5,3
Grasas	3,8	3,7	4,5	7,4
Lactosa	7	4,8	4,1	4,8
Sales minerales	0,2	0,9	0,8	1

Fuente: Moreno Villares JM, Galiano Segovia MJ, Dalmau Serra J. *¿Por qué dudamos de si la leche de vaca es buena para los niños?* 2012⁴⁴.

Tabla 3. Lípidos de la leche de vaca

	Porcentaje del total de lípidos	Concentración (g/L)
Triacilglicéridos	96-98	31.0
Diacilglicéridos	2.10	0.72
Monoacilglicéridos	0.08	0.03
Fosfolípidos	1.10	0.35
Acidos grasos libres	0.20	0.08
Colesterol	0.45	0.15
Hidrocarburos	rastros	rastros
Esteres de esteroides	rastros	rastros

Fuente: Badui Dergal S. Química de los Alimentos. 4a ed. México; 2006.⁴³

Tabla 4. Composición vitamínica de la leche cruda por 100 g

Vitaminas	Leche cruda
Vitamina A, RE*	35
Vitamina D, UI	3
Vitamina E, µg	80
Tiamina, µg	45
Riboflavina, µg	150
Acido Pantoténico, µg	350
Niacina, µg	85
Biotina, µg	1.5
Vitamina B ₆ , µg	40
Vitamina B ₁₂ , µg	0.30
Vitamina C, µg	2,000
*(Equivalente de retinol: 1 µg retinol o 6 µg de β-caroteno)	

Fuente: Badui Dergal S. Química de los Alimentos. 4a ed. México; 2006.⁴³

Los elementos minerales presentes en la leche son de gran importancia, puesto que de ellos dependen propiedades tales como la estabilidad al calor y la capacidad para coagular. Por consiguiente, es primordial conocer sus concentraciones, especialmente teniendo en cuenta que la leche deberá ser sometida a distintos procesos tecnológicos, como la esterilización y la coagulación, entre otros (tabla 5)¹².

Tabla 5. Elementos minerales en leche humana y leche de vaca

Componente (mg/L)	Leche	
	Humana	Vaca
Sodio	15,0	58,0
Potasio	55,0	138,0
Magnesio	4,0	12,0
Calcio	33,0	125,0
Fósforo	43,0	103,0
Hierro	0,15	0,10
Cobre	0,04	0,03
Manganeso	0,07	2,00
Zinc	0,53	0,38
Materia mineral total	0,21	0,72

Fuente: Gutiérrez Chávez AJ. Concentración de Metales Pesados en Leche cruda de vaca. Universidad de León; 2010. ¹²

A manera de comparación, cabe indicar algunas diferencias que existen entre la composición promedio de la leche de vaca y la humana. La primera contiene más caseínas y menos proteínas del suero que la segunda, situación que se invierte con la lactosa y la grasa (tabla 6)⁴³.

Tabla 6. Composición de las leches de vaca y humana (%)

	Vaca	Humana
Sólidos totales	12.65	12.7
Proteínas	3.25	1.5
Caseínas	2.78	0.6
Del suero	0.47	0.9
α -lactalbúmina	0.063	0.235
β -lactoglobulina	0.251	-
inmunoglobulinas	0.051	0.152
seroalbúmina	0.040	0.083
lactoferrinas	0.038	0.235
lisozima	-	0.083
otras	0.027	0.108
Grasa	3.76	4.10
Hidratos de carbono	4.84	6.90
Lactosa	4.70	6.71
Sales	0.80	0.20

Fuente: Badui Dergal S. Química de los Alimentos. 4a ed. México; 2006.⁴³

2.3.4. Importancia del consumo de la leche

La leche de vaca (*Bos taurus*) es importante por su alto valor nutricional y por sus múltiples aplicaciones industriales. La leche es una excelente fuente de proteínas, riboflavina, vitamina B₁₂, calcio y fósforo, y una fuente adecuada de vitamina A, tiamina, equivalentes de niacina y magnesio. Aunque normalmente la leche no se considera una buena fuente de vitamina C, si el procesado es adecuado, puede conseguirse que la vitamina C sea retenida suficientemente para que la leche contenga una cantidad casi adecuada⁴⁵.

La Federación Panamericana de Lechería (Fepale) aprueba las siguientes declaraciones sobre la importancia de la leche de vaca como alimento para el consumo humano:

- La leche es el alimento más completo para el ser humano, por sus incomparables características nutricionales. Contiene proteínas enteras de alto valor biológico, vitaminas, y es fuente por excelencia de calcio (1 taza = 290 mg).
- Posee nutrientes exclusivos para el crecimiento y el desarrollo, como calcio, zinc, magnesio, potasio, fósforo, vitamina D y vitaminas del complejo B.
- Es esencial para la formación y el mantenimiento de huesos, por su aporte de calcio, vitamina D, fósforo y magnesio.
- Presenta estrecha relación con la prevención y el tratamiento de diversas patologías metabólicas (enfermedades crónicas no transmisibles) como obesidad, hipertensión arterial, diabetes, dislipemias, síndrome metabólico y osteoporosis.
- Rehidratan (alto contenido de agua) y reponen depósitos musculares de proteínas luego de las actividades deportivas.
- Previenen las caries dentales, ya que la lactosa conlleva a una débil disminución del pH (pH = 5,5 vs. pH = 4,0 para la sacarosa). Además, la presencia de calcio, fósforo, caseína y lípidos son un factor de protección. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce el papel específico de los lácteos en la prevención de caries⁴⁶.

Sin embargo, la Academia Americana de Pediatría y la Sociedad Europea de Gastroenterología, Hepatología y Nutrición Pediátrica (Espghan) recomiendan no consumir leche de vaca no modificada antes de los 12 meses de edad. Algunos autores, como Ziegler, apoyan mantener esa recomendación por encima del año de edad, y hacerla extensiva a la primera infancia (1-3 años). Este autor recomienda, de no ser posible la leche materna, el empleo de fórmulas infantiles enriquecidas en hierro (tabla 7)⁴⁴.

Asimismo, la OMS y otros organismos internacionales recomiendan la alimentación exclusiva con leche materna, al menos durante los primeros seis meses de vida. La leche materna provee de múltiples beneficios al lactante; aunque su contenido de hierro no es alto (0,35 mg/L), este se absorbe y se utiliza de forma más eficiente; es decir, tiene mejor biodisponibilidad que el hierro de la leche de vaca. En general, los nutrimentos inorgánicos como el calcio se absorben mayormente, ya que se ligan a proteínas digeribles, como las proteínas de suero, además de presentar estados ionizados y complejos de fácil disponibilidad biológica⁴⁷.

Tabla 7. Características nutrimentales de la leche de vaca y su repercusión en el lactante menor de un año

Nutrimentos	Características específicas	Consecuencia o repercusión en la salud
Hidratos de carbono	No contiene oligosacáridos (compite con los antígenos bacterianos específicos), sólo contiene lactosa.	No tiene efecto en la prevención de infecciones a diferencia de la leche materna.
Proteínas	Mayor cantidad de proteína. Mayor proporción de caseína (menos soluble). Tiene beta lactoglobulina, albúmina bovina sérica, inmunoglobulinas bovinas.	Aumenta la carga renal de solutos, riesgo de deshidratación en algunos casos. Excede requerimientos de proteína de lactantes Menor digestibilidad, vaciamiento gástrico lento. Aumenta el riesgo de presentar enfermedades atópicas (reacciones alérgicas).
Lípidos	Mayor cantidad de grasa saturada. Menor cantidad de ácidos grasos esenciales (EPA, DHA)	Mayor riesgo a presentar enfermedades cardiovasculares (ateroesclerosis). Alteraciones en el neurodesarrollo y función visual del lactante.
Vitaminas	Menor cantidad de Vitamina E, D, Vitamina C, niacina.	Deficiencias nutricionales Enfermedad de Möller Barlow (enfermedad de la infancia, causada por deficiencia en vitamina C caracterizada por lesiones gingivales, hemorragias, artralgia, pérdida de apetito).
Nutrimentos inorgánicos	Menor cantidad de cinc, Hierro	Anemia ferropénica

Fuente: Guillén López S, Vela Amieva M. Desventajas de la introducción de la leche de vaca en el primer año de vida. 2010.⁴⁷

2.3.5. Antecedentes de plomo y cadmio en la leche

Debido a las diversas fuentes de contaminación ambiental, la leche es susceptible a contaminarse con los metales pesados. Estos pueden llegar al animal por consumo de aguas contaminadas y forrajes contaminados con fertilizantes fosfatados o nitrogenados⁴⁸.

Asimismo, el uso de materiales poco apropiados en los utensilios durante ordeño, manipulación, almacenamiento y transporte de la leche (tarros soldados con plomo) pueden influir en la presencia de estos metales⁴⁹.

Algunos de los factores que influyen en la variabilidad de la composición de la leche pueden ser clasificados como ambientales, fisiológicos, patológicos y genéticos. Entre los factores ambientales más representativos está la época del año, la temperatura y la humedad relativa. Al respecto, Hermansen *et al.*, en 2005, mencionaron que en el verano se observan mayores concentraciones de minerales en la leche en comparación con otras épocas. Con relación a la alimentación, mencionaron que las propiedades de los forrajes pueden determinar la composición de la leche, específicamente en sus características organolépticas y fisicoquímicas. Por ejemplo, la concentración de ácido linolénico y de vitamina E en la leche es reflejo del contenido en los pastos consumidos por el animal, por la elevada concentración de lípidos totales y ácidos grasos. Entre los factores fisiológicos está el número de parto y el período de lactación; mientras que, desde el punto de vista patológico, se pueden involucrar las diferentes enfermedades que afectan al ganado, especialmente aquellas que alteran la función de la ubre, como la mastitis. Entre los factores genéticos está la raza¹².

En 2002, Rodríguez *et al.*, en la investigación *Metales pesados en leche cruda de bovino en 5 establos lecheros de México*, encontraron un contenido promedio de plomo de 0,7406 mg/kg, y para el cadmio, de 0,2965 mg/kg; los cuales superan los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentario (0,02 mg/kg) y por la Norma de Rumanía (0,01 mg/kg)³.

En 2004, Erdogan *et al.* analizaron el efecto de la actividad contaminante de una planta industrial metalúrgica sobre la concentración de metales tóxicos en la leche en diferentes épocas del año. El contenido de plomo en la leche de animales cercanos a la planta fue de 27,2 µg/L (verano) y 23,4 µg/L (invierno), mientras que los animales alejados de la fuente de contaminación registraron 23,1 µg/L (verano) y 32,5 µg/L (invierno). Con respecto al contenido de cadmio registrado en las muestras de leche de animales cercanos a la planta industrial metalúrgica, hubo una concentración de 1,7 µg/L (verano) y 1,8 µg/L (invierno), mientras que los animales alejados de esa fuente de contaminación registraron 1,1 µg/L tanto en verano como en invierno¹².

Swarup *et al.* realizaron en 2005 un muestreo en vacas que pastaban en áreas industriales, y encontraron que la concentración más alta de plomo en la leche fue de 0,84 µg/mL, y correspondía a animales cercanos a una empresa fundidora de plomo y zinc (tabla 8)¹².

Tabla 8. Concentración de plomo en muestras de leche de animales pastando en áreas industriales

Lugar	Plomo en leche (µg/mL)	
	Rango	Media
Area no contaminada	0 a 0,79	0,252
Planta procesadora de acero	0,03 a 0,76	0,501
Planta procesadora de aluminio y térmica	0,44 a 0,88	0,652
Minas y áreas fertilizadas con fosfatos	0,05 a 0,53	0,255
Fundidora de plomo/zinc	0,13 a 2,70	0,844
Minas de carbón	0,07 a 0,79	0,344
Fundidoras de plomo/ zinc cerradas	0 a 0,52	0,257

Fuente: Gutiérrez Chávez AJ. Concentración de Metales Pesados en Leche cruda de vaca. Universidad de León; 2010. ¹²

En un estudio realizado en Turquía por Ayar *et al.* en 2008, se encontró que el contenido de plomo en todas las muestras de leche y en algunos productos lácteos excedieron los límites señalados por el Codex Alimentario (0,02 mg/kg)¹².

En 2011, Starska *et al.* realizaron un estudio sobre *Elementos nocivos en la leche y productos lácteos en Polonia*, en el que registraron un contenido promedio para plomo de 0,008 y 0,017 mg/kg; y para el cadmio, de 0,001 y 0,002 mg/kg, concentraciones que no amenazan la salud humana⁵⁰.

En 2012, Dawd, Gezmu y Haki investigaron los *Metales tóxicos en leche entera de vaca en Etiopía*, y determinaron concentraciones medias de cadmio de $0,100 \pm 0,006$ mg/kg; y de plomo, de $0,998 \pm 0,251$ mg/kg. Estos valores superan el límite máximo aceptable y pueden ser un problema potencial para la salud de los consumidores. A pesar de que el cadmio es considerado como un riesgo industrial, no se observó diferencia significativa entre las muestras de leche en las zonas industriales y en las no industriales⁵¹.

En 2012, Asadi *et al.*, en la investigación *La evaluación y determinación de metales tóxicos (plomo y cadmio) en leche de vaca recolectadas al este de Irán*, reportaron que el contenido de cadmio de todas las muestras fueron menores al límite establecido (10 µg/kg). Sin embargo, solo en el 28 % de las muestras, el contenido de plomo fue menor al límite establecido por la FAO/OMS (20 µg/kg)⁵².

En 2012, Mohammad y Rahimi, en la investigación *Determinación de los niveles de plomo en leche cruda de vaca por el método de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito en diferentes regiones de Irán*, encontraron valores de plomo dentro de los rangos normales, pero 11 % de las muestras tuvieron concentraciones más altas que el límite máximo permitido por el Codex (20 µg/L)¹.

En 2013, Tona, Adetunji, Ameen y Ibikunle, en la investigación *Evaluación de residuos de metales pesados plomo y cadmio en leche y productos lácteos en Ogbomoso, Nigeria*, encontraron rangos de 0,0025 a 0,0061ppm de plomo en las muestras de leche de vaca, mientras que, para el cadmio, se encontraron concentraciones de $0,0021 \pm 0,0007$ ppm, determinándose que estaban dentro de los límites máximos permitidos establecidos por la normas internacionales⁵³.

En 2013, Zafar, Kafeel, Alireza, Muhammad y Muhammad realizaron la *Evaluación de la concentración de plomo en pastos y leche: un posible riesgo para ganados y la salud pública*, donde se encontró que las concentraciones de plomo en suelo oscilaron de 1,2 a 3,5 mg/kg; en forraje, de 0,33 a 0,70 mg/kg; y en leche, de 0,018 a 0,050 mg/L. Las concentraciones de plomo en suelo y el forraje fueron inferiores a los límites permisibles. Sin embargo, la concentración de plomo en leche de vaca fue ligeramente más alta que el límite permisible⁵⁴.

En 2013, Pilarczyk, Wójcik, Czerniak, Sablik, y Marciniak investigaron las *Concentraciones de metales pesados tóxicos y elementos trazas en leche cruda de vacas de las razas Simmental y Holstein-Friesian*, y encontraron, para la raza Simmental, una concentración promedio de plomo de 0,0366 µg/mL, y para el cadmio, una de 0,0035 µg/mL. En cuanto a la raza Holstein-Friesian, se registró una concentración promedio de plomo de 0,0412 µg/mL, y para el cadmio, de 0,0040 µg/mL. Por lo tanto, se puede decir que el contenido promedio de plomo en la leche de ambas razas fue mayor que la concentración admisible de 0,02 µg/mL establecida por el Reglamento de la Comisión Europea. Además, se concluyó que la leche de vaca de la raza Simmental fue caracterizada por la composición mineral más ventajosa y la menor concentración de metales pesados tóxicos, en comparación con la leche de Holstein-Friesian⁵⁵.

2.4. Legislación de plomo y cadmio en leche cruda

En el reglamento (CE) N.º 1881/2006 se fija el contenido máximo de plomo en leche cruda, leche tratada térmicamente y leche para la fabricación de derivados lácteos, correspondiendo a 0,020 mg/kg de peso fresco⁵⁶.

La comisión del Codex Alimentarius de la FAO/OMS tiene como objetivo principal proteger la salud de los consumidores y garantizar las buenas prácticas en el comercio internacional de los productos alimenticios. Por ello, estableció un límite máximo permisible para el plomo en leche de 0,02 mg/kg, pero no lo estableció para el cadmio⁵⁷. Sin embargo, la Norma de Rumanía establece un límite máximo de 0,01 mg/kg para este metal³.

Por otro lado, el Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios de la FAO/OMS estimó que la ISTP previamente establecida de 25 mg/kg de peso corporal está asociada con una disminución de por lo menos tres puntos en cociente intelectual (IQ) en niños, y con un aumento en la presión arterial sistólica de aproximadamente 3 mmHg en adultos. Por consiguiente, el Comité concluyó que la ISTP ya no podía ser considerada protectora de la salud, y la retiró. Además, se llegó a la conclusión de que no fue posible establecer una nueva ISTP protectora de la salud. Asimismo, el comité notó que el valor de referencia existente para el cadmio se expresó en forma semanal (ingesta semanal tolerable provisional o ISTP), pero, en vista de la larga vida media del cadmio, se consideró que un valor mensual era más apropiado. Por consiguiente, el Comité retiró la ISTP de 7 mg/kg de peso corporal y decidió expresar un ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) de 25 mg/kg de peso corporal².

Desde hace algunos años se han realizado esfuerzos para reducir la exposición de los alimentos al plomo y al cadmio, centrándose en la aplicación de límites máximos en los alimentos, aditivos de alimentos y agua. Las medidas tomadas para controlar el contenido de plomo fueron dejar de usar las latas soldadas con plomo, regular el uso de plomo en pintura y gasolina e identificar fuentes adicionales de contaminación por plomo en los alimentos o suplementos dietéticos. Para el cadmio se decidió controlar los niveles en fertilizantes y pastos. Además, para la prevención y control se deben considerar las buenas prácticas agrícolas y de manufactura.

Programas basados en la eliminación del uso de gasolina con plomo son considerados como un factor importante, ya que resultó en una reducción promedio del 39 % del nivel medio de plomo en la sangre durante el período de cinco años después de la implementación. Las reducciones en los niveles de plomo en la sangre de la población en algunos países también se han asociado con el uso discontinuado de soldadura de plomo en las latas de alimentos².

2.5. Establos lecheros del distrito Chancay-Huaral

2.5.1. Instalaciones

En general, los establos lecheros del distrito de Chancay presentan corrales cercados con maderas, bebederos y comedores de cemento. Además, tienen pozos con electrobomba para la elevación del agua.

2.5.2. Características generales (tabla 9)

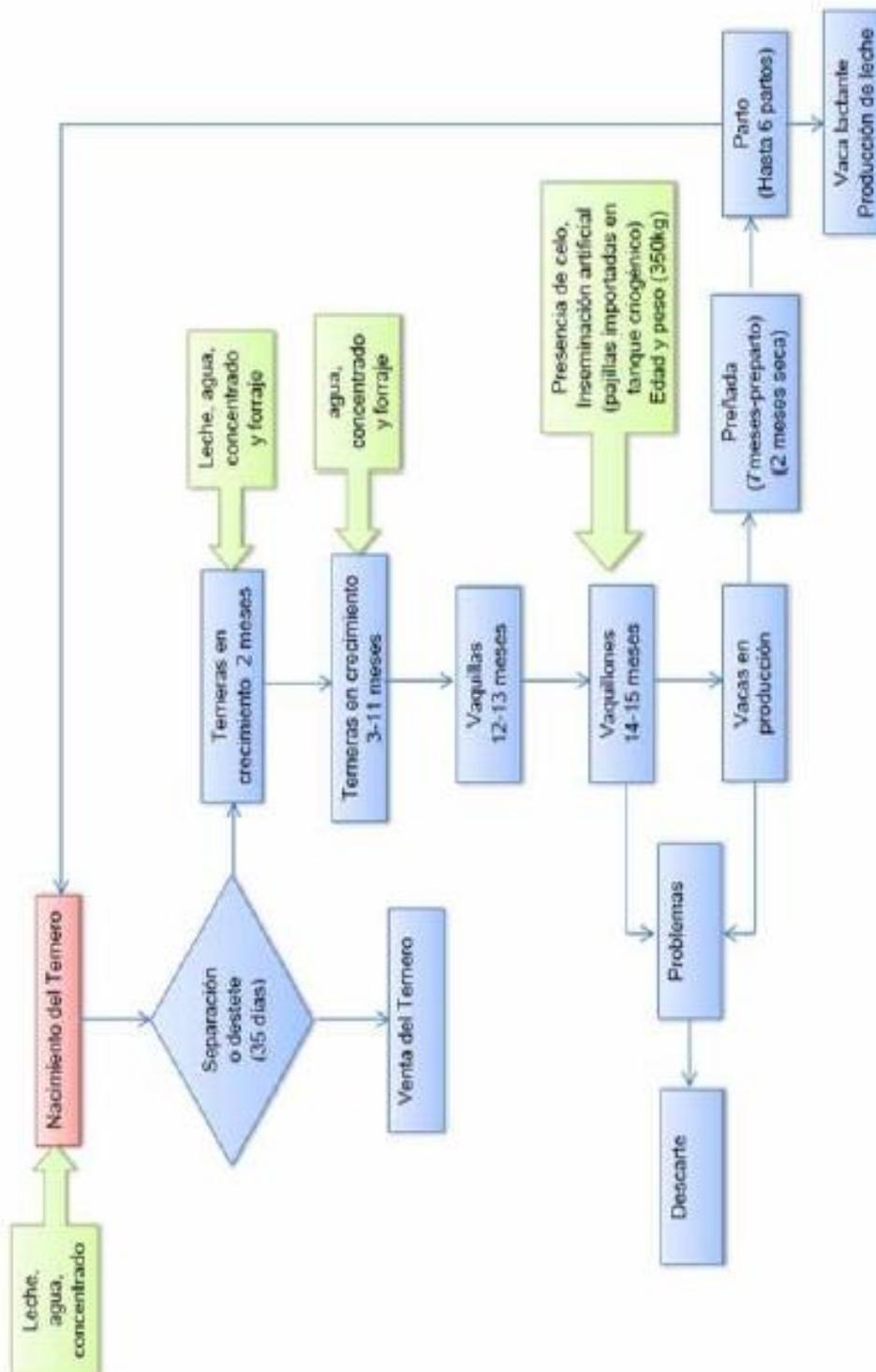
Tabla 9. Características generales de los establos

Parámetros	Descripción
Sistema de producción de leche.	Intensiva.
Tipo de explotación	Estabulado.
Cantidad de bovinos en producción	37-470
Razas	Holstein, Brown Swiss y Jersey.
Volumen de leche/vaca (L)	24-27
Volumen de leche/ordeño (L)	360-6000
Cantidad de ordeño/día	2
Tipo de alimentación	Es un factor muy importante, porque influye en la cantidad, calidad de leche producida, estado de salud y reproducción de los animales. La alimentación consiste en el suministro de agua subterránea, forraje verde, suplementos concentrados (proporción varía de un establo a otro). Además, de ensilado.

Fuente: Elaboración Propia.

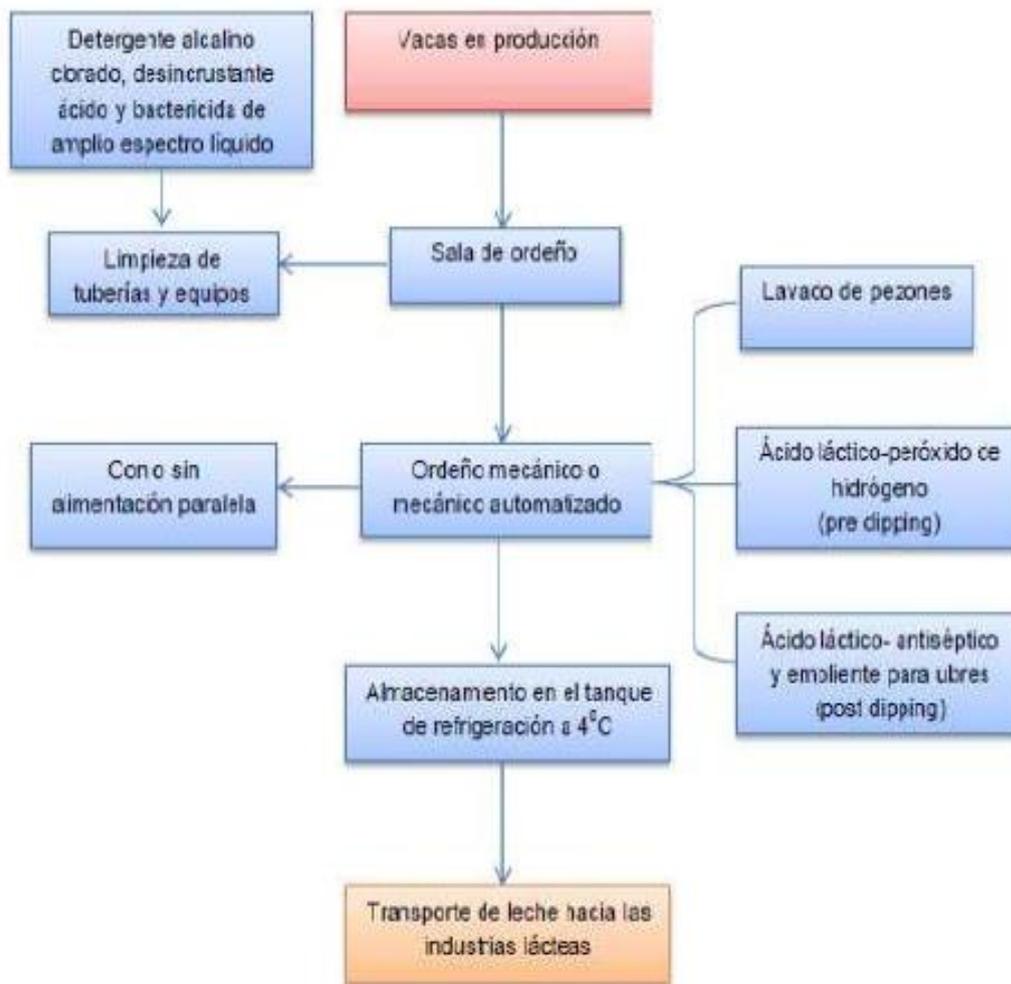
2.5.3 Proceso funcional de los establos (figura 4)

Figura N°04: Proceso funcional de los establos Chancay-Huaral



2.5.4 Proceso de obtención de la leche (figura 5)

Figura N°05: Proceso de obtención de la leche



Fuente: Elaboración Propia.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

El estudio realizado es de tipo descriptivo, observacional, analítico y transversal.

3.2. Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en cinco establos lecheros del distrito de Chancay, en la provincia de Huaral, al norte del departamento de Lima, durante el mes de setiembre de 2013. El distrito tiene una extensión territorial de 150,11 Km², y limita por el norte con la provincia de Huaura, por el sur con el distrito de Aucallama, por el este con la provincia de Huaral y por el oeste con el océano Pacífico. Se encuentra a 36 m.s.n.m. (figura 6).

Por otro lado, cerca de estos establos se encuentra la minera Colquisiri S. A., a 7 km al oeste de la ciudad de Huaral, motivo por el cual puede existir un alto riesgo de contaminación de la leche, debido a que el bovino está expuesto a minerales metalíferos no ferrosos cobre, plata, plomo y zinc que extrae esta minera.



Fuente: Map-Perú.com. Distrito de Chancay. INEI; 2011. Modificado el 2013.

Figura 6. Ubicación geográfica del distrito de Chancay

3.3. Animales experimentales

Los animales que intervinieron en la producción de leche fueron vacas de las razas Holstein, Brown Swiss y Jersey.

Tabla 10. Tipos de raza por establos

Establos	Ubicación (Centros Poblados)	Raza			Nº Vacas en Producción
		Holstein	Brown Swiss	Jersey	
ESTABLO I Tilos	Torre Blanca	250	50	12	312
ESTABLO II San Martin	Quepepampa	60	51	-	111
ESTABLO III Congemin	Quepepampa	33	2	2	37
ESTABLO IV Laure	Los Laureles	470	-	-	470
ESTABLO V San Marcos	Nueva Estrella	40	9	-	49
Total	-	853	112	14	979

3.4. Materiales, reactivos y equipos

A. Materiales

- Tubos cónicos de polipropileno de alta transparencia de 15 mL.
- Cooler.
- Geles refrigerantes.
- Guantes descartables.
- Plumón de tinta indeleble.

- Fiolas pirex tipo A de 50 mL.
- Pipetas.
- Micropipeta Metler Toledo de 100 uL a 1000 uL.
- Micropipeta Metler Toledo de 500 uL a 5000 uL.

B. Reactivos

- Agua ultrapura tipo 1.
- Ácido nítrico ultrapuro concentrado.
- Ácido clorhídrico ultrapuro concentrado.
- Peróxido de hidrógeno ultrapuro al 3 %.
- Solución estándar de plomo 1000 ppm (Laboratorio Merck).
- Solución estándar de cadmio 1000 ppm (Laboratorio Merck).

Preparación de los reactivos

- Blanco: agua ultrapura.
- Solución estándar de plomo:

Con ayuda de una pipeta se tomó 1 mL de la solución estándar de plomo (1000 ppm), se transfirió a una fiola de 100 mL, se diluyó a volumen con agua ultrapura y se homogenizó, con lo que se obtuvo una concentración de 10 ppm. Luego se tomó 1 mL de la solución anterior y se transfirió a una fiola de 100 mL, se diluyó a volumen con agua ultrapura y se homogenizó, para obtener una concentración de 100 ppb. Finalmente, fueron trasvasados a viales de 2 mL, de donde el automuestreador tomó 12 μ L del reactivo estándar para su lectura en el espectrofotómetro.

- Solución estándar de cadmio:

Con ayuda de una pipeta se tomó 1 mL de la solución estándar de cadmio (1000 ppm), se transfirió a una fiola de 100 mL, se diluyó a volumen con agua ultrapura y se homogenizó, con lo que se obtuvo una concentración de 10 ppm. Luego se tomó 1 mL de la solución anterior y se transfirió a una fiola de 100 mL, se diluyó

a volumen con agua ultra pura y se homogenizó, para obtener una concentración de 100 ppb. Por último, se tomó 1 mL de la solución anterior y se transfirió a una fiola de 100 mL, se diluyó a volumen con agua ultrapura y se homogenizó, para lograr una concentración de 1 ppb. Finalmente, fueron trasvasados a viales de 2 mL, de donde el automuestreador tomó 12 μ L del reactivo estándar para su lectura en el espectrofotómetro.

C. Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito (alta sensibilidad).
Marca: Perkin Elmer.
Modelo: AAAnalyst 600.
Año: 2004.
- Microondas
Marca: Cem.
Modelo: Mars 6.
- Balanza
Marca: Sartorius.
Modelo: BL210S.

3.5. Métodos

3.5.1. Recolección de muestras

Se recolectaron 30 muestras de leche de diferentes tanques y porongos de aluminio correspondientes a cinco establos lecheros. Se tomaron seis muestras de leche por cada establo, cada una con un volumen de 12 mL, en tubos cónicos de polipropileno de alta transparencia con tapa hermética de 15 mL, los cuales fueron previamente rotulados. Después se colocaron en *coolers* con geles refrigerantes, para una adecuada conservación, y se mantuvieron así hasta el momento de su análisis.

Tabla 11. Producción de leche por establos

Establos	Nº Vacas en Producción	Litros de leche por vaca	Total de Leche por ordeño (L)	Nº de muestras analizadas	Cantidad total de muestra tomada (mL)
ESTABLO I Tilos	312	25	3800	6	72
ESTABLO II San Martin	111	26	1400	6	72
ESTABLO III Congemin	37	24	360	6	72
ESTABLO IV Laure	470	27	6000	6	72
ESTABLO V San Marcos	49	25	600	6	72
Total	979	127	12160	30	360

3.5.2 Conservación y transporte de las muestras

Para la conservación y el transporte se utilizó un *cooler* con geles refrigerantes, lacrado de manera adecuada, con su respectivo rotulado, lo que se mantuvo hasta el momento del análisis.

En ninguna parte del proceso se utilizaron instrumentos metálicos.

3.5.3 Determinación de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica

Las muestras fueron digeridas con ácidos fuertes, con lo cual se destruyeron las materias orgánicas; los minerales quedaron en una solución clara para su análisis por el método espectrofotometría de absorción atómica.

Digestión asistida por microondas

En un tubo de teflón se colocó 5 mL de la muestra problema, luego 3 mL de ácido nítrico (HNO_3) ultrapuro concentrado, 1 mL de ácido clorhídrico (HCL) ultrapuro concentrado y 0,5 mL de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) ultrapuro. A continuación, las muestras fueron llevadas a digestión a una potencia de 1400 vatios durante 15 minutos, y quedó un líquido transparente al final de la digestión. Todo fue enfriado por un espacio de 45 minutos.

Determinación de plomo

- Verter el líquido transparente a una fiola de 50 mL tipo A, luego llevar a volumen con agua ultrapura tipo 1.
- Se vierte la solución anterior en un vial de capacidad de 2 mL, y se lleva al automuestreador del equipo Perkin Elmer AAnalyst 600.
- Se procede a las lecturas de las muestras.

Tabla 12. Parámetros de instrumento de plomo

PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de Sistema	Horno
Elemento	Pb
Modificador de Matriz	Ácido Fosfórico 0,1 %.
Corriente de Lámpara	5.00 mA
Longitud de Onda	283.30 nm
Ancho de corte	0.50 nm
Tamaño de Apertura	Reducido
Modo de Instrumento	Encender Abs. BC

Determinación de cadmio

- Verter el líquido transparente a una fiola de 50 mL tipo A, luego llevar a volumen con agua ultrapura tipo 1.
- Se vierte la solución anterior en un vial de capacidad de 2 mL, y se lleva al automuestreador del equipo Perkin Elmer AAnalyst 600.
- Se procede a las lecturas de las muestras.

Tabla 13. *Parámetros de instrumento de cadmio*

PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de Sistema	Horno
Elemento	Cd
Modificador de Matriz	Ácido Fosfórico 0,5 %.
Corriente de Lámpara	3.00 mA
Longitud de Onda	228.80 nm
Ancho de corte	2.00 nm
Tamaño de Apertura	Reducido
Modo de Instrumento	Encender Abs. BC

3.6. Fundamento del método espectrofotometría de absorción atómica

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica que se basa en la absorción específica de radiación por átomos no excitados. Es un método de elección para identificar y cuantificar trazas de metales en muestras líquidas.

La espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito es una técnica con elevada sensibilidad, que tiene la capacidad de detectar concentraciones muy pequeñas de 1 ppm o ppb. Además, se utiliza para

muestras de pequeño volumen (microlitros). El equipo consta de una fuente (una lámpara de cátodo hueco específico para cada metal) que emite radiación a longitudes de onda específicas. Este tipo de lámparas contiene un ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico cerrado herméticamente en tubo de vidrio lleno con gas neón/argón a presión de 1 a 5 torr. Además, consta de un atomizador, donde se llevan a cabo fundamentalmente dos procesos: la atomización de la muestra y la absorción de radiación proveniente de la lámpara por los átomos libres. Desde el tratamiento de la muestra hasta la atomización comprende las tres siguientes etapas:

Secado. Una vez que la muestra ha sido inyectada en el tubo de grafito, se calienta a una temperatura algo inferior al punto de ebullición del solvente (usualmente entre 80 a 180 °C). El objetivo de esta etapa es la evaporación del solvente y de los componentes volátiles de la matriz.

Calcinado o carbonización. El próximo paso del programa es el calcinado por incremento de la temperatura, para remover la mayor cantidad de materia orgánica de la muestra como sea posible, sin pérdida del analito. La temperatura de calcinación usada varía típicamente en el rango de 350 a 1600 °C. Durante este proceso se destruye la estructura química de la muestra. Durante el calcinado, el material sólido es descompuesto, mientras que los materiales refractarios, como los óxidos, permanecen inalterados.

Atomización. En esta etapa, el horno es calentado rápidamente a altas temperaturas (1800-2800 °C), para vaporizar los residuos del paso de calcinado (vapor atómico). En este proceso se convierten los iones (cationes) en átomos libres. Los átomos libres no excitados de un elemento son capaces de absorber radiación o energía a partir de fuente externa (lámpara de cátodo), siempre que la radiación absorbida corresponda exactamente a la energía necesaria para que tenga lugar la transición del átomo del elemento problema desde el estado fundamental a otro estado excitado de mayor energía. La diferencia de energías

entre el estado final y el inicial da la frecuencia de las líneas de absorción. La longitud de onda a la cual la luz es absorbida es específica para cada elemento; la cantidad de radiación absorbida es proporcional a la cantidad de átomos del elemento presente.

Asimismo, se cuenta con un monocromador para controlar la intensidad que llega al detector y separar radiación de fondo; un tubo fotomultiplicador, para convertir los fotones que no fueron absorbidos a cierta longitud de onda en señales eléctricas, para ser amplificadas y procesadas. Finalmente, se transmite a la computadora para su lectura⁵⁸.

3.7. Curvas de calibración

Curva de calibración del plomo con el equipo Perkin Elmer AAnalyst 600 del Laboratorio Centro Toxicológico S. A. C.-CETOX

Para la realización de la curva de calibración se tomaron 12 μL del reactivo estándar de plomo (100 ppb), 12 μL de agua ultrapura tipo 1 (blanco) y 12 μL de la muestra.

Curva de calibración del cadmio con el equipo Perkin Elmer AAnalyst 600 del Laboratorio Centro Toxicológico S. A. C.-CETOX

Para la realización de la curva de calibración se tomaron 12 μL del reactivo estándar de cadmio (1 ppb), 12 μL de agua ultrapura tipo 1 (blanco) y 12 μL de la muestra.

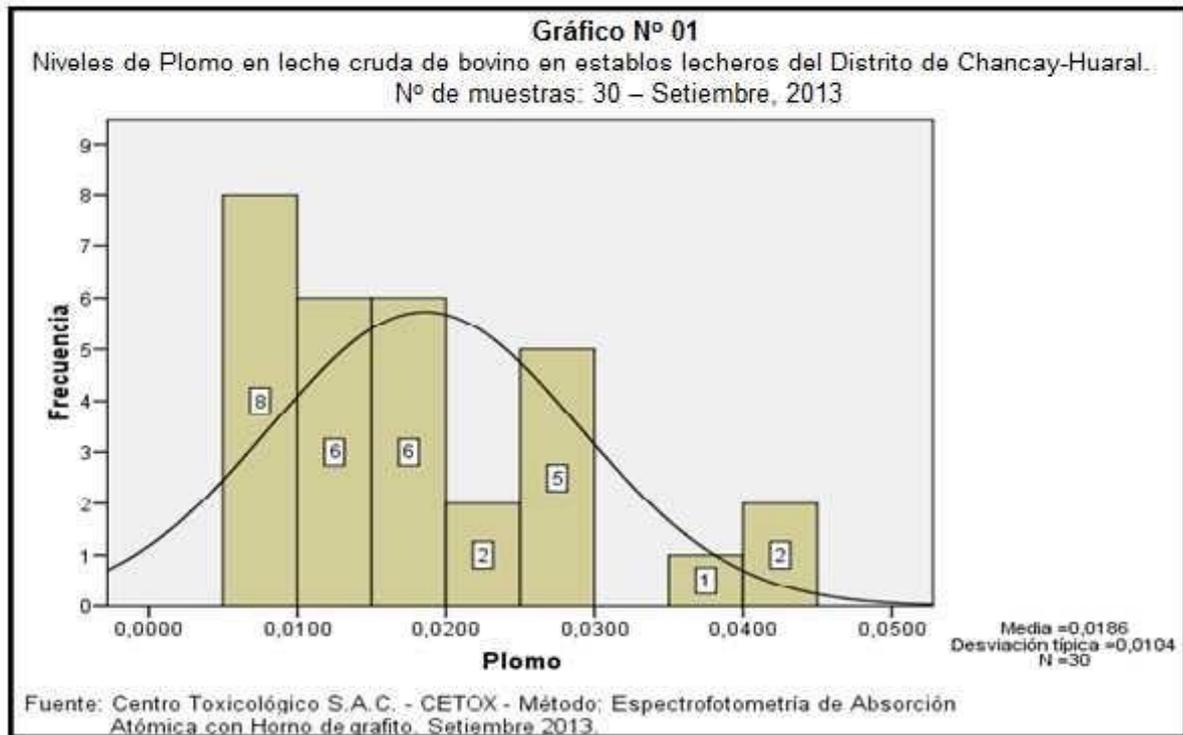
IV. RESULTADOS

Cuadro 1. Niveles de plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral, setiembre 2013 (muestras: 30)

N°	muestras	mg/kg Pb	N°	muestras	mg/kg Pb
1	ESTABLO I-1	0,0094	16	ESTABLO III-4	0,0269
2	ESTABLO I-2	0,0126	17	ESTABLO III-5	0,0079
3	ESTABLO I-3	0,0145	18	ESTABLO III-6	0,0295
4	ESTABLO I-4	0,0078	19	ESTABLO IV-1	0,0196
5	ESTABLO I-5	0,0135	20	ESTABLO IV-2	0,0288
6	ESTABLO I-6	0,0167	21	ESTABLO IV-3	0,0257
7	ESTABLO II-1	0,0196	22	ESTABLO IV-4	0,0069
8	ESTABLO II-2	0,0123	23	ESTABLO IV-5	0,0168
9	ESTABLO II-3	0,0287	24	ESTABLO IV-6	0,0125
10	ESTABLO II-4	0,0135	25	ESTABLO V-1	0,0163
11	ESTABLO II-5	0,0418	26	ESTABLO V-2	0,0215
12	ESTABLO II-6	0,0223	27	ESTABLO V-3	0,0058
13	ESTABLO III-1	0,0395	28	ESTABLO V-4	0,0079
14	ESTABLO III-2	0,0434	29	ESTABLO V-5	0,0099
15	ESTABLO III-3	0,0085	30	ESTABLO V-6	0,0174

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de los niveles de plomo en leche cruda de bovino, setiembre 2013 (muestras: 30)

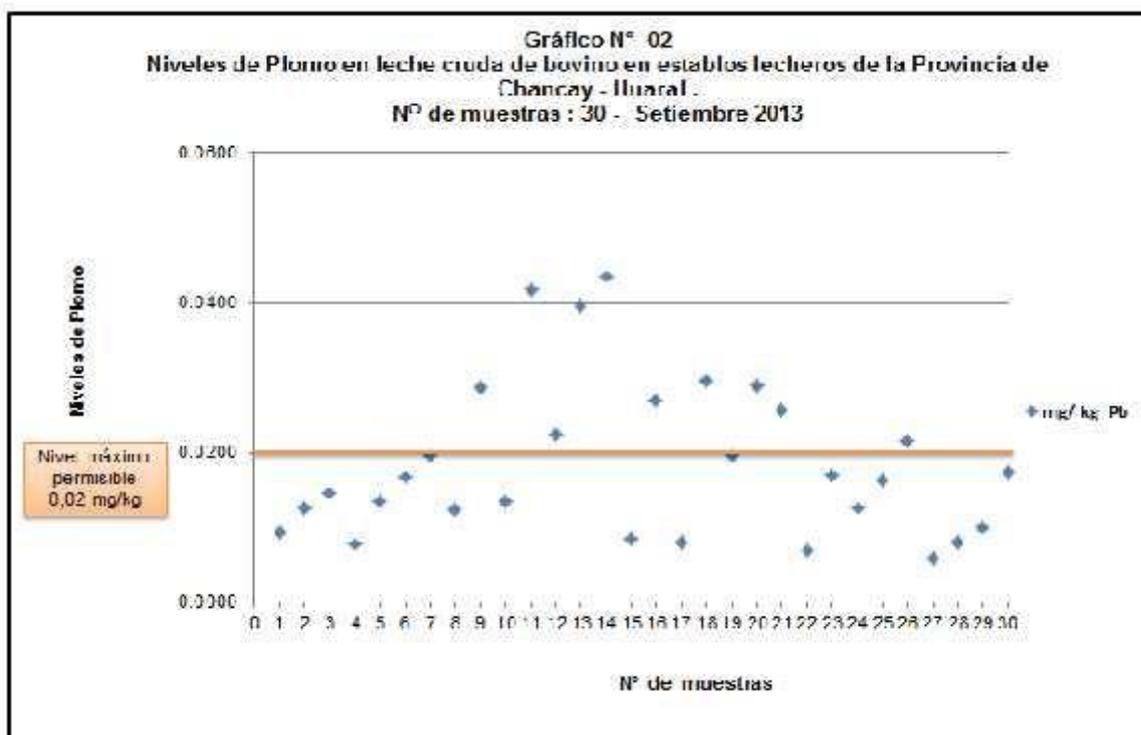
Estadísticos	Valor
Muestra	30
Media	0,0186
Mediana	0,0165
Desv. Estándar	0,0104
Coef. Variación	56,19 %
Rango	0,0376
Mínimo	0,0058
Máximo	0,0434
Asimetría	0,989 (Curva de asimetría positiva)
Curtosis	0,295 (Leptocúrtica)



En las muestras de estudio se puede observar que la cantidad promedio de plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral es de 0,0186 mg/kg. El 50 % de los resultados se encuentran por debajo de 0,0165 mg/kg de plomo.

La concentración de plomo es heterogénea o muy dispersa (56,19 %). Se encontró 0,0058 mg/kg como la menor concentración y 0,0434 mg/kg como la mayor concentración de plomo.

Asimismo, los valores de plomo presentan una gran concentración cerca del valor promedio (leptocúrtica) y están distribuidos por debajo del valor promedio (asimetría positiva).



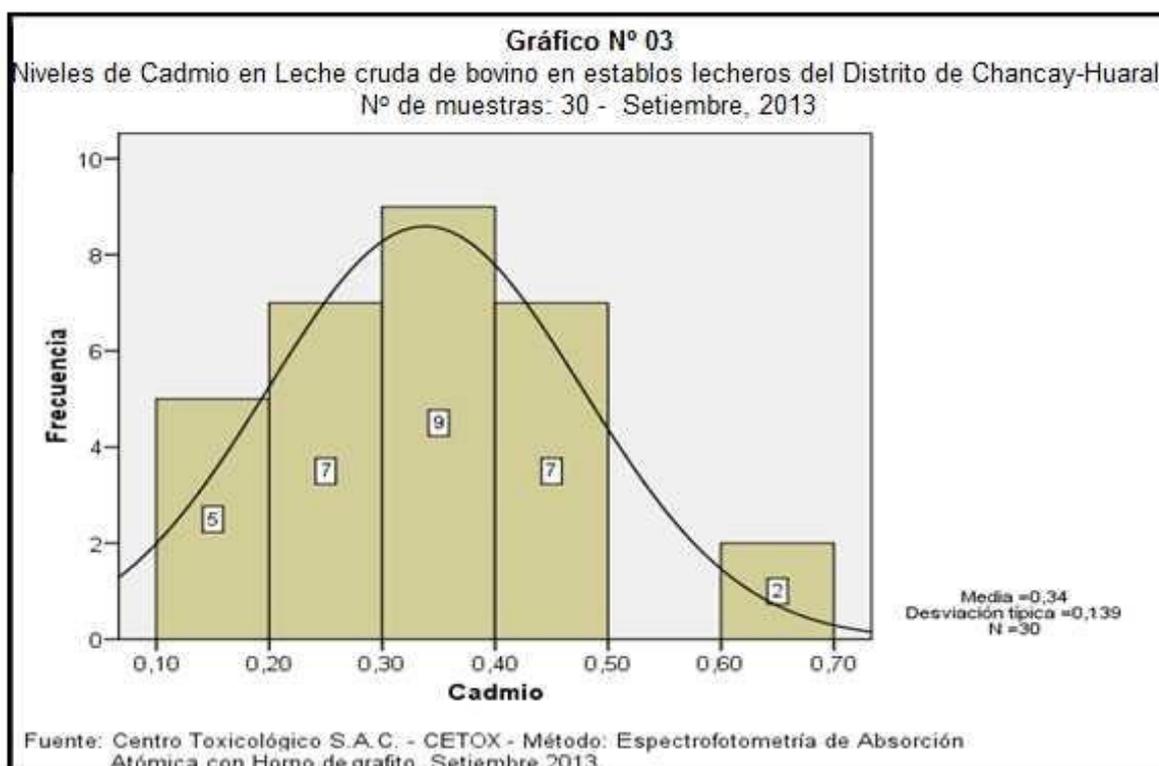
De los resultados obtenidos se deduce que 10 de las 30 muestras de leche de bovino presentan concentraciones de plomo superiores a los límites máximos permisibles establecidos por la OMS (0,02 mg/kg).

Cuadro 3. Niveles de cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito Chancay-Huaral, setiembre 2013 (muestras: 30)

N°	muestras	mg/Kg Cd	N°	muestras	mg/Kg Cd
1	ESTABLO I-1	0,11	16	ESTABLO III-4	0,43
2	ESTABLO I-2	0,38	17	ESTABLO III-5	0,21
3	ESTABLO I-3	0,25	18	ESTABLO III-6	0,48
4	ESTABLO I-4	0,66	19	ESTABLO IV-1	0,66
5	ESTABLO I-5	0,48	20	ESTABLO IV-2	0,46
6	ESTABLO I-6	0,13	21	ESTABLO IV-3	0,41
7	ESTABLO II-1	0,22	22	ESTABLO IV-4	0,38
8	ESTABLO II-2	0,19	23	ESTABLO IV-5	0,19
9	ESTABLO II-3	0,31	24	ESTABLO IV-6	0,22
10	ESTABLO II-4	0,38	25	ESTABLO V-1	0,37
11	ESTABLO II-5	0,45	26	ESTABLO V-2	0,15
12	ESTABLO II-6	0,36	27	ESTABLO V-3	0,46
13	ESTABLO III-1	0,26	28	ESTABLO V-4	0,22
14	ESTABLO III-2	0,38	29	ESTABLO V-5	0,31
15	ESTABLO III-3	0,34	30	ESTABLO V-6	0,29

Cuadro 4. Parámetros estadísticos de los niveles de cadmio en leche cruda de bovino, setiembre 2013 (muestras: 30)

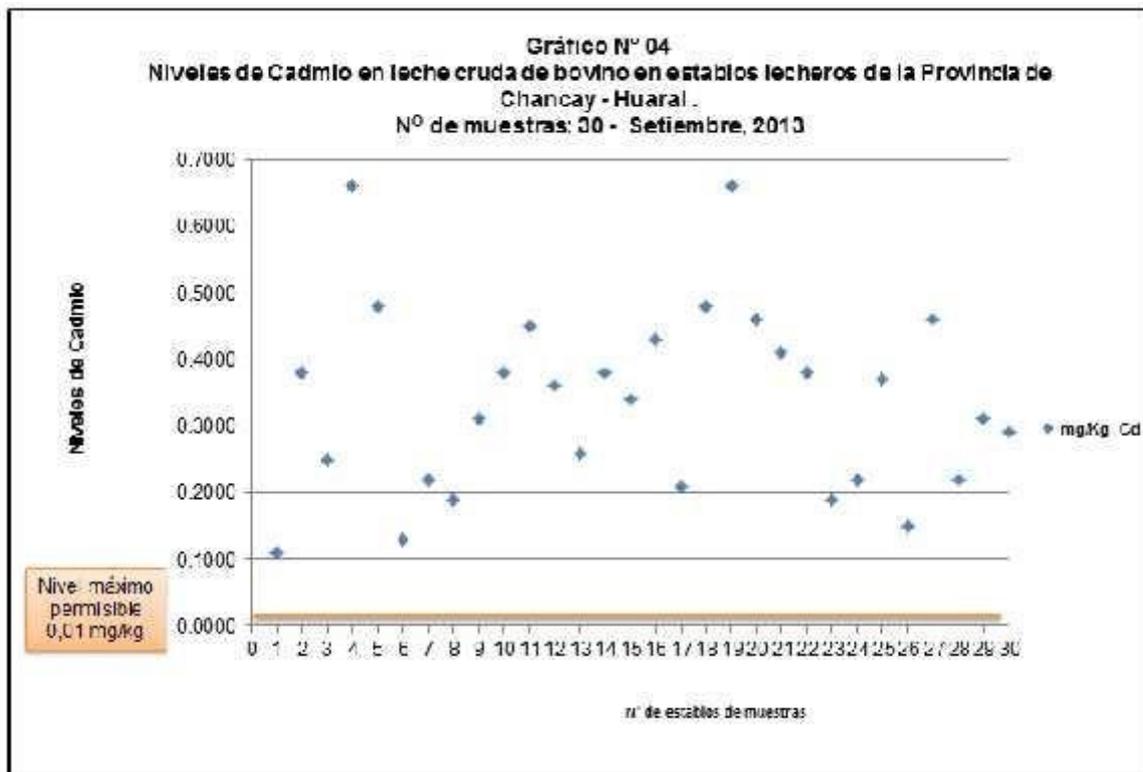
Estadísticos	Valor
Muestra	30
Media	0,338
Mediana	0,350
Desv. Estándar	0,139
Coef. Variación	41,20 %
Rango	0,55
Mínimo	0,11
Máximo	0,66
Asimetría	0,502 (Curva de asimetría positiva)
Curtosis	0,131 (Leptocúrtica)



En las muestras de estudio se puede observar que la cantidad promedio de cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral es de 0,338 mg/kg. El 50 % de los resultados se encuentran por encima de 0,0350 mg/kg de cadmio.

La concentración de cadmio es heterogénea o muy dispersa (41,20 %). Se encontró 0,11 mg/kg como la menor concentración y 0,66 mg/kg como la mayor concentración de cadmio, lo que implica que todos los resultados superan el valor estándar establecido de 0,01 mg/kg.

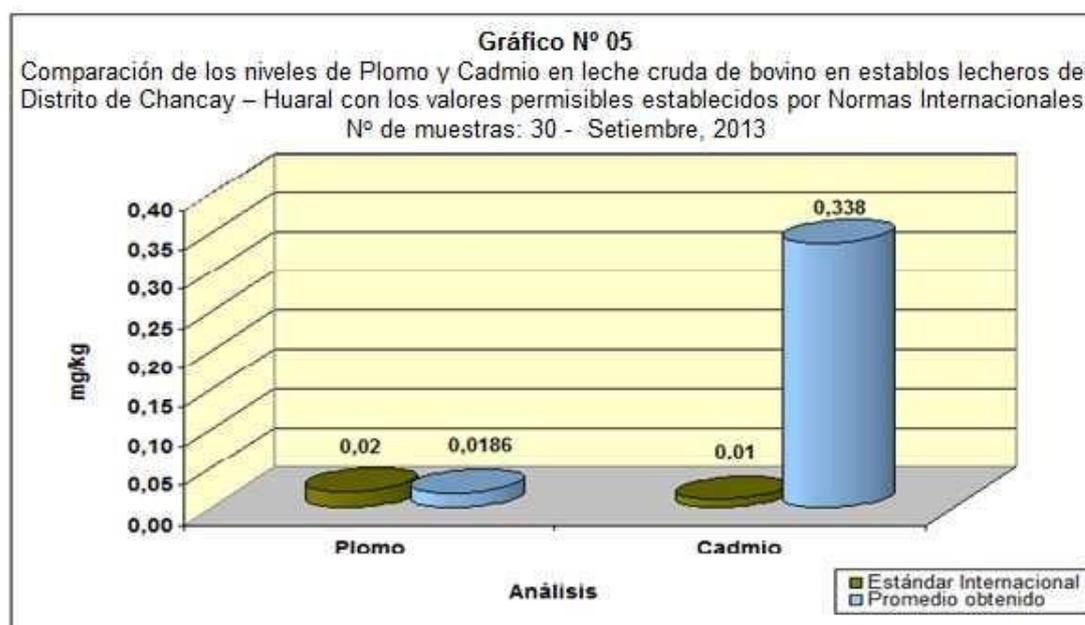
Asimismo, los valores de cadmio presentan una gran concentración cerca del valor promedio (leptocúrtica), y están distribuidos por debajo del valor promedio (asimetría positiva).



De los resultados obtenidos se deduce que las 30 muestras de leche de bovino presentan concentraciones de cadmio superiores a las establecidas por la Norma de Rumanía (0,01 mg/kg).

Cuadro 5. Comparación de los niveles de plomo y cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral con los valores permisibles establecidos por normas internacionales, setiembre 2013 (muestras: 30)

Análisis	Norma	Estándar Internacional	Promedio obtenido	N° Muestras superan límite
Plomo	OMS	0,02 mg/kg	0,0186 mg/kg	10/30 = 33,3%
Cadmio	Rumanía	0,01 mg/kg	0,338 mg/kg	30/30 = 100,0%



En las muestras de estudio se puede observar que la cantidad promedio de plomo (0,0186 mg/kg) en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral es menor que la establecida por la OMS (0,02 mg/kg). Se encontró que el 33,3 % de las muestras superan el límite establecido.

Asimismo, se puede observar que la cantidad promedio de cadmio (0,338 mg/kg) en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral supera los límites establecidos por las Normas de Rumanía (0,01 mg/kg). Se encontró que el 100 % de las muestras superan el límite establecido.

Análisis estadístico de los datos

Los datos se transfirieron a la hoja de cálculo de Microsoft Excel para su análisis. El programa estadístico utilizado fue SPSS 21.0, para el análisis de varianza de una sola vía-ANOVA (nivel de significación estadística) y la prueba t de Student.

Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 1

A. Datos

Datos de los promedios de niveles de plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral. Lima, 2013, contenidos en el cuadro estadístico 1.

B. Planteamiento de la hipótesis

$H_0: mPb \leq 0,02 \text{ mg/kg}$

La concentración promedio de plomo presente en leche cruda de bovinos de los establos lecheros del distrito de Chancay no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS.

$H_1: mPb > 0,02$

La concentración promedio de plomo presente en leche cruda de bovinos de los establos lecheros del distrito de Chancay sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS.

C. Estadística de prueba: distribución t de Student para una muestra

Dado que se desconoce la varianza de la población, la estadística de prueba se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

D. Regla de decisión

Cuando H_0 es verdadera, la estadística de prueba sigue una distribución t de Student con $n - 1$ grados de libertad.

Si $\alpha = 0,05$, $gl = 29$ y la prueba es unilateral, el valor crítico de t es +1,699. Si a partir de los datos se calcula un valor de t que sea mayor o igual a +1,699, entonces se rechaza la hipótesis nula.

E. Cálculo de la prueba estadística (t de Student para una muestra)

Previamente se obtiene la media y la desviación estándar.

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.
Plomo	30	,018583	,0104425

Se calcula el estadístico t de Student.

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0.02				
	t	gl	Sig. (bilateral)	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
Plomo	-,743	29	,463	-,005316	,002483

Valor de p = 0,463

F. Decisión estadística

Dado que el valor calculado de la estadística de prueba ($t = -0,743$) no excede el valor crítico de t ($t = 1,699$), no se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis específica 2

A. Datos

Datos de los promedios de niveles de cadmio en leche cruda de bovinos en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral, Lima, 2013 contenidos en el cuadro estadístico 3.

B. Planteamiento de la hipótesis

$H_0: \text{mCd} \leq 0,01 \text{ mg/kg}$

La concentración promedio de cadmio presente en leche cruda de bovinos de los establos lecheros del distrito de Chancay no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma de Rumanía.

$H_1: mCd > 0.01$

La concentración promedio de cadmio presente en leche cruda de bovinos de los establos lecheros del distrito de Chancay sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma de Rumanía.

C. Estadística de prueba: distribución t de Student para una muestra

Dado que se desconoce la varianza de la población, la estadística de prueba se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

D. Regla de decisión

Cuando H_0 es verdadera, la estadística de prueba sigue una distribución t de Student con $n - 1$ grados de libertad.

Si $\alpha = 0,05$, $gl = 29$ y la prueba es unilateral, el valor crítico de t es +1,699. Si, a partir de los datos, se calcula un valor de t que sea mayor o igual a +1,699, entonces se rechaza la hipótesis nula.

E. Cálculo de la prueba estadística (t de Student para una muestra)

Previamente se obtiene la media y desviación estándar.

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.
Cadmio	30	,3380	,13927

Se calcula el estadístico t de Student.

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0.01				
	t	gl	Sig. (bilateral)	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
				Inferior	Superior
Cadmio	12,900	29	,000	,2760	,3800

Valor de p = 0,000

F. Decisión estadística

Dado que el valor calculado de la estadística de prueba ($t = 12,900$) excede el valor crítico de t ($t = 1,699$), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

V. DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se observan los niveles de plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral ($n = 30$), y se puede apreciar que el valor máximo obtenido fue de 0,0434 mg/kg, que corresponde al establo III-2; y el valor mínimo obtenido fue de 0,0058 mg/kg, del establo V-3. El valor máximo puede deberse al agua de regadío contaminada que se emplea en el cultivo de las chalas que consumen las vacas, y al eventual uso del ensilado, ya que los lixiviados del ensilaje, muy ácidos, pueden facilitar la migración y la biodisponibilidad del plomo acumulado en el suelo. El valor mínimo, por su parte, puede deberse a que el agua que pasa por este establo no está muy contaminada, y a que no se practica el ensilado.

En el cuadro 2 se observan los estadísticos más importantes de los resultados obtenidos para plomo. Se puede apreciar que la media es igual a 0,0186 mg/kg y la mediana es de 0,0165 mg/kg. Estos valores se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la OMS, que son de 0,02 mg/kg. Además, se puede apreciar que el valor máximo supera los límites máximos permisibles establecidos por la OMS, que son de 0,02 mg/kg. Estos resultados se pueden apreciar en el gráfico 1: el 50 % de los resultados obtenidos se encuentran por debajo de 0,0165 mg/kg de plomo en leche cruda, y el promedio es de 0,0186 mg/kg. El valor promedio obtenido por debajo del límite máximo permisible puede deberse a que las muestras de leche fueron recolectadas de forma aleatoria de diferentes tanques y porongos de aluminio, y obtenidas de vacas de diferentes razas y edades.

En el cuadro 3 se observan los niveles de cadmio en leche cruda de bovinos en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral ($n = 30$). En él se puede apreciar que el valor máximo obtenido fue de 0,66 mg/kg, que corresponde al establo IV-1; y el valor mínimo fue de 0,11 mg/kg, que se observó en el establo I-1. El valor máximo puede deberse a la utilización frecuente de fertilizantes fosfatados y nitrogenados (nitrofosfato, nitrato de amonio, úrea y nitrato de potasio) para el cultivo de sus forrajes. Además, utilizan durante los ordeños preselladores y selladores, líquidos de color amarillo y anaranjado, y papel periódico para el secado de las ubres; estas pueden ser las fuentes de contaminación por cadmio. Sin embargo, el otro establo se diferencia en que emplea tela para el secado de las ubres. A pesar de ello, ambos valores se encuentran fuera del límite máximo permisible.

En el cuadro 4 se observan los estadísticos más importantes de los resultados obtenidos para cadmio: se puede apreciar que la media es igual a 0,338 mg/kg, y que la mediana es 0,350 mg/kg. Estos valores superan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma de Rumanía, que son de 0,01 mg/kg (gráfico 3). En el gráfico se puede apreciar que el 50 % de los resultados obtenidos se encuentran por encima de 0,035 mg/kg de cadmio en leche cruda. El promedio es de 0,0338 mg/kg. Estos resultados pueden deberse a que se encontraron más fuentes de contaminación por cadmio; una de ellas fue la Minera Colquisiri S. A., aledaña a los establos en estudio, y que tiene como actividades principales la extracción de cobre, plata, plomo y zinc.

En el cuadro 5 se realizó la comparación de los niveles de plomo y de cadmio en leche cruda de bovinos en establos lecheros del distrito de Chancay-Huaral. Se observa que el promedio obtenido fue de 0,0186 mg/kg de plomo, menor que lo establecido por la OMS (0,02 mg/kg). Sin embargo, 10 de las 30 muestras (33,3 %) superaron el límite establecido. Resultados similares se encontraron en el estudio realizado por Mohammad y Rahimi, en el que se

reportó que solo el 11 % de las muestras superaban el límite máximo permisible de plomo¹. Esto se contrapone a lo declarado por Starska *et al.*, que encontraron que el contenido promedio de plomo fue de $0,998 \pm 0,251$ mg/kg, mayores al límite permitido⁵¹. También difiere de lo declarado por Pilarczyk *et al.*, que mencionan que se registró un promedio de plomo de $0,0366\mu\text{g/mL}$ y de $0,0412 \mu\text{g/mL}$ para las razas Simmental y Holstein-Friesian, respectivamente⁵⁵. Además, en los resultados del presente estudio se observa que el promedio obtenido de $0,338\text{mg/kg}$ de cadmio supera los límites establecidos por la Norma de Rumanía ($0,01\text{mg/kg}$); en este caso, se encontró que las 30 muestras (100 %) superaban dicho límite. El promedio de cadmio obtenido es similar a lo reportado por Rodríguez *et al.*, que encontraron un $0,2965 \text{ mg/kg}$ ³, pero se contrapone a lo declarado por Asadi *et al.*, que establecieron que el contenido de cadmio de todas las muestras fue menor al límite máximo permitido⁵².

Finalmente, se puede aseverar que la cantidad promedio de plomo obtenido no sobrepasa la concentración máxima permitida por la OMS, mientras que la cantidad promedio de cadmio obtenida sí sobrepasa dicha la concentración máxima permitida por la Norma de Rumanía. Por lo tanto, la leche que se ordeña en los establos de Chancay-Huaral no cumple con esta última norma de referencia, lo que puede representar un riesgo para la salud de los consumidores, incluyendo a la población infantil.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. La concentración promedio de plomo en leche de vaca fue de 0,0186 mg/kg, lo que no sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la OMS (0,02 mg/kg).
2. El 33,3 % de las muestras de leche de vaca contienen concentraciones de plomo que superan el límite máximo permisible dado por la OMS (0,02 mg/kg).
3. La concentración promedio de cadmio en leche de vaca fue de 0,338 mg/kg, lo que sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la Norma de Rumanía (0,01 mg/kg).
4. El 100 % de las muestras de leche de vaca contienen concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible dado por la Norma de Rumanía (0,01 mg/kg).

6.2. Recomendaciones

1. Realizar estudios en un mayor número de muestras de diferentes regiones del Perú, para determinar la presencia de metales pesados en suelos, agua, forraje, suplementos concentrados y leche.
2. Determinar los niveles de plomo y de cadmio en leche cruda, considerando tipos de raza, sistema de producción (extensivo o intensivo), alimentación, edad, período de lactación, época del año para evaluar la relación de acumulación de estos metales.
3. Evitar las explotaciones mineras aledañas a los establos lecheros y los cultivos de chalas.
4. Las industrias lácteas deben realizar análisis toxicológicos de metales pesados a la leche cruda, para asegurarse de que la leche se encuentre en óptimas condiciones y que no represente un riesgo potencial para la salud de los consumidores.
5. Las autoridades reguladores del ambiente y alimentos del Perú deben adoptar las medidas necesarias para mantener los residuos de metales pesados dentro de los valores permitidos, con el fin de garantizar que la leche y los productos lácteos vendidos no causen peligro para la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mohammad S. & Rahimi E. (2012). Determination of Lead Residue in Raw Cow Milk from Different Regions of Iran by Flameless Atomic Absorption Spectrometry. *American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences*; 4(1): 16-19.
2. World Health Organization. (2011). *Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants* (Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Ginebra: Who. Technical Report Series 960.
3. Rodríguez H., Sánchez E., Rodríguez M., Vidales J., Acuña K., Martínez G. *et al.* (2005). *Metales pesados en leche cruda de bovino*. Revista Salud Pública y Nutrición; 6(4).
4. Gisbert JA. (2001). *Medicina legal y toxicología*. (5.^a ed.). Barcelona: Masson.
5. Petrucci RH., Harwood WS. & Herring FG. (2003). *Química general*. (8.^a ed.). Madrid: Pearson Educación.
6. Soria ML., Repetto G. & Repetto M. (1995). Revisión general de la toxicología de los metales. En Repetto M., editor. *Toxicología avanzada*. Madrid: Díaz de Santos; pp. 293-358.
7. Corey G. & Galvao L. (1989). *Plomo*. Metepec, México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS; Serie vigilancia 8.
8. Otero A., Mora B., Cao M. & Rodríguez L. (1987). Epidemiología de la intoxicación por plomo de agua domiciliaria y saturnismo. Valoración de los parámetros para el estudio de grandes poblaciones. *Rev San Hig Pub*; 61: 799-810.
9. Rubio C., Gutiérrez AJ., Martín RE., Revert C., Lozano G. & Hardisson A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicol.*; 21(2-3): 72-80.
10. World Health Organization. (1995). Inorganic Lead. Ginebra: Who; Environmental Health Criteria 165.

11. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). Lead. Atlanta: Department of Health and Human Services, Public Health Service.
12. Gutiérrez AJ. (2010). *Concentración de metales pesados en leche cruda de vaca en la provincia de León, España* (Tesis doctoral). León: Área de Publicaciones. Universidad de León.
13. Bannon DI., Abounader R., Lees PS. & Bressler JP. (2003). Effect of DTM1 Kanockdown on Iron, Cadmium and Lead Uptake in Caco-2-cells. *Am J Physiol*; 284(1): C44-C50.
14. Palminger HI. & Oskarsson A. (1995). Bioavailability of Lead from various Milk Diets studied in a Suckling Rat Model. *Biomaterials*; 8: 231-236.
15. James HM., Hilburn ME. & Blair JA. (1985). Effects of Meals and Meal Times on Uptake of Lead from the Gastrointestinal Tract in Humans. *Hum Toxicol*; 4:401-407.
16. Goyer RA. (1997). Toxic and Essential Metal Interactions. *Annu Rev Nutr*; 17: 37-50.
17. Waldner C., Checkley S., Blakley B., Pollock C. & Mitchell B. (2002). Managing Lead Exposure and Toxicity in Cow-calf Herds to minimize the Potential for Food Residues. *vet Diagn Invest*, 14: 481-486.
18. Albert L. (1997). *Introducción a la toxicología ambiental*. Metepec, México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente.
19. Valdivia MM. (2005). Intoxicación por plomo. *Rev. Soc. Per. Med. Inter*; 18(1): 22-27.
20. Keller CA. & Doherty RA. (1980). Bone lead mobilization in lactating mice and lead transfer to suckling offspring. *Toxicol Appl Pharmacol*; 55: 220-228.
21. Albiano N. (2003). *Toxicología laboral. Criterios para la vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas*. Buenos Aires: Superintendencia de Riesgos de Trabajo.
22. Vera G. & Climent B. (2004). Intoxicaciones por metales pesados. En Bataller R., editor. *Toxicología clínica*. Valencia: Universidad de Valencia; pp. 171-191.

23. Goodman & Gilman. (2003). *Las bases farmacológicas de la terapéutica*. (10.^a ed.). México: McGraw-Hill.
24. Barany E., Bergdahl IA., Bretteby LE., Lundh T., Samuelson G., Skerfving SO. & Skarsson A. (2005). Iron status influence trace element levels in human blood serum. *Environ Res*; 98: 215-223.
25. Mencías E. & Mayero LM. (2000). *Manual de toxicología básica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
26. Gulson BL., Mahaffey KR., Jameson CW., Mizon KJ., Korsch MJ., Cameron MA. & Elisman JA (1998). Mobilization of lead from Skelton during the postnatal period is larger than during pregnancy. *J Lab Clin Med*; 131: 324-329.
27. Vázquez E., Maldonado P., Videgaray F. & Moreno F. (2002). Intoxicación por plomo: reporte de un caso y revisión de la literatura. *An Med Asoc Med Hosp ABC*; 47(1): 33-37.
28. Lidsky TL. & Schneider JS. (2003). *Lead neurotoxicity in children: Basic mechanisms and clinical correlates*. *Brain*; 126: 5-19.
29. Camean AM. & Repetto M. (2006). *Toxicología alimentaria*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
30. Rubio C. (2002). *Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria: evaluación toxicológica* (Tesis). España: Departamento de Pediatría, Obstetricia, Ginecología y Medicina Preventiva, Universidad de La Laguna.
31. Moreno A. & Granada J. (2012). Intoxicación por plomo: diagnóstico diferencial de dolor abdominal crónico. Reporte de caso y revisión de tema. *Univ. Méd. Bogotá*. Colombia; 53(2): 199-207.
32. World Health Organization. (2006). IARC Inorganic and Organic Lead Compounds. Lyon: International Agency for Research on Cancer; vol. 87.
33. Carson R. & Harris MD. (2008). *Manual de toxicología para médicos*. Barcelona: Elsevier Masson.
34. Corey G. & Galvao L. (1987). *Cadmio*. Metepec, México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud; Serie vigilancia 4.

35. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). *Cadmium*. Atlanta: Department of Health and Human Services, Public Health Service.
36. Ramírez A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*; 63(1): 51-64.
37. Pérez PE. & Azcona Cruz M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Rev Esp Méd Quir*; 17(3): 199-205.
38. Madeddu R. (2005). *Estudio de la influencia del cadmio sobre el medioambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales, epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación*. (Tesis doctoral). Granada: Área de Publicaciones, Universidad de Granada.
39. Sabath M. & Robles L. (2012). *Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados*. *Nefrología*; 32(3):279-285.
40. Indecopi. (2010). *Leche y productos lácteos. Leche cruda. Requisitos*. Lima: Indecopi. NTP 202.001 (5.^a ed.).
41. Kuklinski C. (2003). *Nutrición y bromatología*. Barcelona: Ediciones Omega.
42. Munguía JL. (2010). *Manual de procedimientos para análisis de calidad de la leche*. León: TechnoServe.
43. Badui S. (2006). *Química de los alimentos*. (4.^a ed.). México: Pearson Educación.
44. Moreno JM., Galiano MJ. & Dalmau J. (2012). ¿Por qué dudamos de si la leche de vaca es buena para los niños? Parte 1. *Acta Pediatr Esp*; 70(9): 369-375.
45. Fennema R. (2006). *Química de los alimentos*. (2.^a ed.). Zaragoza: Acribia.
46. Leche de vaca: lo que dice la ciencia. *Consejo para la información sobre la seguridad de los alimentos y nutrición*. [Internet]. Buenos Aires. [Fecha de acceso: 2 de agosto de 2013]. Disponible en http://www.cisan.org.ar/articulo_ampliado.php?id=153&hash=4d55f0322f106f45823e004bd5d0cfd6

47. Guillén S. & Vela M. (2010). Desventajas de la introducción de la leche de vaca en el primer año de vida. *Acta Pediatr Mex*; 31(3): 123-128.
48. Ministerio de Salud y Protección Social. (2011). *Identificación de riesgos químicos asociados al consumo de leche cruda bovina en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social. Unidad de Evaluación de Riesgos para la Inocuidad de los Alimentos (UERIA) e Instituto Nacional de Salud (INS).
49. Reyes JE., García MG. & Hernández LA. (2011). *Aplicación de los conceptos de inocuidad en la producción de leche en Sinaloa*. Fundación Produce Sinaloa.
50. Starska K., Wojciechowska M., Mania M., Brulinska E., Biernat U. & Karlowski K. (2011). Noxious Elements in Milk and Milk Products in Poland. *Polish J. of Environ. Stud*; 20(4): 1043-1051.
51. Dawd A., Gezmu T. & Haki G. (2012). Essential and toxic metals in cow's whole milk from selected sub-cities in Addis Ababa, Ethiopia. *Online International Journal of Food Science*; 1(1): 12-19.
52. Asadi A., Eshaghi A., Aghajanzadeh A., Nazeradi K., Yari A. & Hoda S. (2012). Evaluation and determination of toxic metals (Lead and Cadmium) in cow milk collected from East Azerbaijan, Iran. *European Journal of Experimental Biology*; 2(1): 261-265.
53. Tona GO., Adetunji VO., Ameen SA. & Ibikunle AO. (2013). Evaluation of Lead and Cadmium Heavy Metal Residues in Milk and Milk Products Sold in Ogbomoso, Southwestern Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*; 12(2): 168-171.
54. Zafar IK., Kafeel A., Alireza B., Muhammad KM. & Muhammad S. (2013). Evaluation of Lead Concentration in Pasture and Milk: A Possible Risk for Livestock and Public Health. *Pakistan J. Zool*; 45(1): 79-84.
55. Pilarczyk FR., Wójcik J., Czerniak P., Sablik P., Pilarczyk B. & Marciniak A. (2013). Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *Environ Monit Assess*; 185: 8383-8392.

56. Diario Oficial de la Unión Europea. (2006). *Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios*. Reglamento CE N.º 1881/2006 de 19 de diciembre. Diario Oficial de la Unión Europea, L 364/5, (20-12-2006).
57. Codex Alimentarius Commission (2001). Twenty-fourth Session, Ginebra.
58. Douglas AS., James H. & Timoty A. (2001). *Principios de análisis instrumental*. (5.^a ed.). España: Mc Graw Hill.



ANEXOS

A. Informe de Ensayo



CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX
 Resolución Directoral R.D. N° 354-2006-AG-SENASA-DIAIA
 Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
 N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura
 Jr. Pisac 192 – Oficina 102 – Urb. Residencial Higuiereta – Santiago de Surco
 Telefax: (511) 273-2319 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

INFORME DE ENSAYO

TIT - 13 - 0054

- 1. Solicitante : Srta. Yeni Guisela Mendoza Ocorima
 Sr. Carlos Antonio Medina Pillaca
- 2. Análisis solicitado : Cuantificación de plomo y cadmio
- 3. Muestra : Leche de vaca (muestras proporcionadas por el solicitante)
- 4. Fecha de Recepción : 17/09/2013
- 5. Fecha de Emisión : 23/09/2013

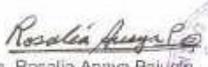
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Nº	MUESTRA	PLOMO (mg/kg)	CADMIO (mg/kg)
01	ESTABLO I-1	0.0094	0.11
02	ESTABLO I-2	0.0126	0.38
03	ESTABLO I-3	0.0145	0.25
04	ESTABLO I-4	0.0078	0.66
05	ESTABLO I-5	0.0135	0.48
06	ESTABLO I-6	0.0167	0.13
07	ESTABLO II-1	0.0196	0.22
08	ESTABLO II-2	0.0123	0.19
09	ESTABLO II-3	0.0287	0.31
10	ESTABLO II-4	0.0135	0.38
11	ESTABLO II-5	0.0418	0.45
12	ESTABLO II-6	0.0223	0.36
13	ESTABLO III-1	0.0395	0.26
14	ESTABLO III-2	0.0434	0.38
15	ESTABLO III-3	0.0085	0.34

Nº	MUESTRA	PLOMO (mg/kg)	CADMIO (mg/kg)
16	ESTABLO III-4	0.0269	0.43
17	ESTABLO III-5	0.0079	0.21
18	ESTABLO III-6	0.0295	0.48
19	ESTABLO IV-1	0.0196	0.66
20	ESTABLO IV-2	0.0288	0.46
21	ESTABLO IV-3	0.0257	0.41
22	ESTABLO IV-4	0.0069	0.38
23	ESTABLO IV-5	0.0168	0.19
24	ESTABLO IV-6	0.0125	0.22
25	ESTABLO V-1	0.0163	0.37
26	ESTABLO V-2	0.0215	0.15
27	ESTABLO V-3	0.0058	0.46
28	ESTABLO V-4	0.0079	0.22
29	ESTABLO V-5	0.0099	0.31
30	ESTABLO V-6	0.0174	0.29

MÉTODO:

Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de grafito


 Dra. Rosalía Anaya Pajuelo
 Gerente Técnico





CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX

Resolución Directoral P.D. N° 354-2006-AG-SENASA-DIA/IA
 Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
 N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura

Jr. Pisac 192 – Oficina 102 – Urb. Residencial Higuiereta – Santiago de Surco
 Telefax: (511) 273-2318 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

Pr 005.00 10.05.10 2013

Método:
 DETERMINACION DE PLOMO SILENCE FRESCA

Parámetros de Instrumentos

Tipo de Sistema	Mano
Boquilla	Pu
Salida	AG/D0 POS/PHCO 5, 10
Cantidad de Líq.	1.50 ml
Longitud de Celda	20.00 cm
Ancho de celda	5.00 cm
Tamaño de Inyectant	Reducido
Masa de Instrumento	Expendible 100.00

Parámetros de Inyección de Muestra

Modo de Inyección	Área Dedicada
Introducción de Muestras	Automática
Constante de Tiempo	0.00
Resolución	2

Parámetros de Calibración

Modo de Calibración	LS Línea Alineada de Cerz
Muestra para de rango de ajuste	6.0
Calidad de ajuste	0.00
Función matemática de ajuste	2
Factor de corrección	No
Accion de Filtro de Cal	Continuo
Modo de ajuste en Base de Datos Cal	No
Autoguardar Método Después Cal	Si

Parámetros de Control

Señales Acústicas Faltas	Continuo
Checklist Rangos	Apagar
Checklist Conc. de Muestra	1.0000 ppm
Checklist Rango Bajo Muestra	0.0000 %
Checklist Rango Alto de Muestra	122.0000 %
Checklist Señal de Falta de Muestra	Parar
Checklist Señal de Falta de Muestra	1.0000 ppm
Reajuste automático de Filtro	0.00
Reajuste automático de Rango Bajo de Filtro	0.0000 %
Reajuste automático de Rango Alto de Filtro	122.0000 %
Auton Faltas de Filtro	Parar
Señal de Filtro	Parar

Paso	Fin de Tiempo (s)	Rango de Tiempo (s)	Turner Tiempo (s)	Sea Tipo	Locales	Defin. Control
Paso 1	00"	1.0	2.2	Verde	Apagar	Apagar
Paso 2	Muestra Inyectada					
Paso 3	120"	0.0	10.0	Verde	Apagar	Apagar
Paso 4	400"	0.0	02.0	Verde	Apagar	Apagar
Paso 5	400"	0.0	7.0	No	Apagar	Encendido
Paso 6	1800"	1.0	7.0	No	Encendido	Encendido
Paso 7	2400"	1.0	1.0	Verde	Apagar	Apagar
Paso 8	30"	10.0	0.2	Verde	Apagar	Apagar

Parámetros de preparación de muestra

Velocidad de Aspiración	2 g/min
Velocidad de Aspiración	2 g/min
Preparación de Muestra	Auto Mix

Muestra Tipo	Dilución Volumen (ml)	Vol. Volumen (ml)	Vol. Volumen (ml)	Modificado Volumen (ml)	Alcance Volumen (ml)
Muestra	0	0	20	2	0
Blanco	20	0	0	2	0
SM 1	10	0	0	2	0
SM 2	10	10	0	2	0
SM 3	5	10	0	2	0
SM 4	0	20	0	2	0

Calibración Controlada

Modo de Calibración: LS Línea Alineada de Cerz Error Abs: 0.0419 R²: 0.9999 S.E.: 0.0000 Conc: 420.0018 1.000

Muestra	Conc. (ppm)	%RSD	Salida (ppb)	Recorrido
Cal Blanco	—	0.00	0.0040	0.0040
Blanco 1	25.00	2.00	0.0007	0.0007

Rosalía Anaya Pajuelo

Dra. Rosalía Anaya Pajuelo
 Gerente Técnica



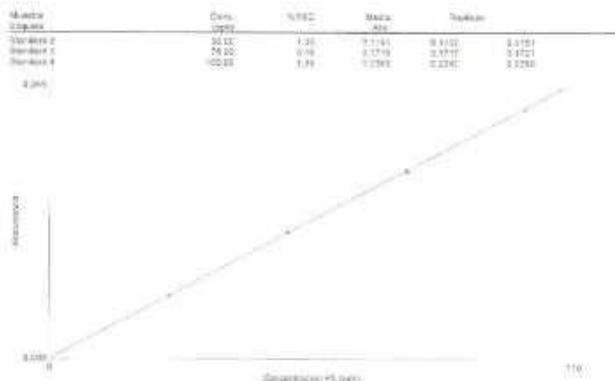
Prohibida su reproducción total o parcial. Si se requiere copias solicitarlas por escrito al ente emisor



CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX

Resolución Directoral R.D. N° 354-2006-AG-SENASA-DIAIA
 Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
 N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura

Jr. Pisac 192 – Oficina 102 – Urb. Residencial Higuiereta – Santiago de Surco
 Telefax: (511) 273-2318 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe



Muestra	Conc. (ppm)	%REC	Medio Abs	Residuo
Muestra 1	9.83	2.87	0.0296	0.0213
Muestra 2	12.70	1.21	0.0299	0.0204
Muestra 3	14.45	0.41	0.0310	0.0215
Muestra 4	1.97	2.40	0.0178	0.0119
Muestra 5	15.93	1.38	0.0307	0.0219
Muestra 6	18.72	1.38	0.0340	0.0280
Muestra 7	18.80	1.80	0.0348	0.0243
Muestra 8	11.23	0.03	0.0280	0.0201
Muestra 9	28.74	0.91	0.0390	0.0220
Muestra 10	13.81	1.24	0.0297	0.0211
Muestra 11	15.81	0.48	0.0281	0.0248
Muestra 12	22.24	1.80	0.0339	0.0223
Muestra 13	18.88	1.82	0.0338	0.0288
Muestra 14	43.43	0.07	0.0398	0.0298
Muestra 15	0.31	1.10	0.0174	0.0182
Muestra 16	20.84	3.34	0.0413	0.0222
Muestra 17	5.30	1.97	0.0180	0.0119
Muestra 18	10.00	0.00	0.0171	0.0074
Muestra 19	12.00	0.00	0.0248	0.0240
Muestra 20	28.20	8.19	0.0388	0.0280
Muestra 21	22.75	0.00	0.0388	0.0288
Muestra 22	9.40	0.21	0.0107	0.0148
Muestra 23	10.80	4.21	0.0100	0.0184
Muestra 24	13.18	0.00	0.0200	0.0288
Muestra 25	14.18	0.00	0.0200	0.0288
Muestra 26	11.00	1.33	0.0400	0.0188
Muestra 27	8.80	3.22	0.0150	0.0119
Muestra 28	8.80	1.84	0.0181	0.0119
Muestra 29	8.80	4.11	0.0288	0.0220
Muestra 30	11.40	3.30	0.0199	0.0200

Rosalía Anaya Pajuelo
 Dra. Rosalía Anaya Pajuelo
 Gerente Técnico





CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX
 Resolución Directoral R.D. N° 354-2006-AG-SENASA-DIAJA
 Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
 N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura
Jr. Pisac 192 – Oficina 102 – Urb. Residencial Higuiereta – Santiago de Surco
 Telefax: (511) 273-2318 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

41 Sep 20 10:55:33 2013

Método

Determinación de Calcio por método de gravimetría Acción Fotométrica (S.F.)

Parámetros de Instrumentos

Tipo de Sistema: Horno
 Elemento: OS
 Marca: ACDC PDR/DMC 0.5%
 Diámetro de Lámp: 3.00 mm
 Longitud de Celda: 238.90 mm
 Ancho de celda: 2.00 mm
 Tipo de Asesor: Analítico
 Modo de Instrumento: Escaneo Aes. BC

Parámetros de medición de muestra

Modo de Medición: Área Máxima
 Introducción de Muestra: Automático
 Constante de Tiempo: 2.00
 Bajadas: 2

Parámetros de Calibración

Modo de Calibración: LS Línea Átomic de Cero
 Muestra fuera de rango de escala: No
 Unidades de Cero: ppm
 Punto estándar de Conc.: 2
 Pico de calibración: No
 Acción de Mue de Cal: Continuar
 Modo Muestra en Base o en Base Cal: No
 Adquisición Muestra Después Cal: Si

Parámetros de cálculo

Segunda Acción Foto: Continuar
 Chequeo de Rango: Aceptar
 Chequeo Cero de Muestra: 1.000 ppm
 Chequeo Rango Bajo Muestra: 50.00 %
 Chequeo Rango Alto de Muestra: 100.00 %
 Chequeo acción de Foto de Muestra: Parar
 Chequeo Señal de Muestra: -
 Cero de Foto: 1.000 ppm
 Recuperación de Volumen de Foto: 0.4
 Recuperación de Rango Bajo de Foto: 90.00 %
 Recuperación de Rango Alto de Foto: 100.00 %
 Acción Foto de Foto: Parar
 Señal de Foto: -

Paso	Finis Tiempo (s)	Alcance Tiempo (s)	Tiempo Tiempo (s)	CS Tipo	Localiz.	Señal Calidad
Paso 1	40"	2.0	2.0	Inter	Aceptar	Aceptar
Paso 2	Muestra transportada					
Paso 3	80"	10.0	15.0	Inter	Aceptar	Aceptar
Paso 4	120"	10.0	15.0	Inter	Aceptar	Aceptar
Paso 5	160"	10.0	15.0	Inter	Aceptar	Aceptar
Paso 6	200"	4.0	1.0	No	Aceptar	Escandir
Paso 7	240"	0.0	1.0	No	Escandir	Escandir
Paso 8	280"	1.1	3.0	Inter	Aceptar	Aceptar
Paso 9	320"	1.1	1.0	Inter	Aceptar	Aceptar

Parámetros de preparación de muestra

Velocidad Dispensación: 1.00
 Velocidad de Aspiración: 3.00
 Preparación de Muestra: Automática

Muestra TIC	Señal Volumen (AU)	CS Volumen (AU)	Muestra Volumen (AU)	Señal Volumen (AU)	Recorrido Volumen (AU)
Muestra	0	0	0	0	0
Blank	16	0	0	0	0
Std 1	10	0	0	0	0
Std 2	14	2	0	2	0
Std 3	13	3	0	3	0
Std 4	12	4	0	4	0
Std 5	8	8	0	8	0
Std 6	9	10	0	10	0

Calibración Completa

Modo de Calibración: LS Línea Átomic de Cero Error Max: 0.052 R: 0.9996 R1: 0.9999 Coef: 0.0001 Abs

Rosalía Anaya Pajuelo

Dra. Rosalía Anaya Pajuelo,
Gerente Técnico

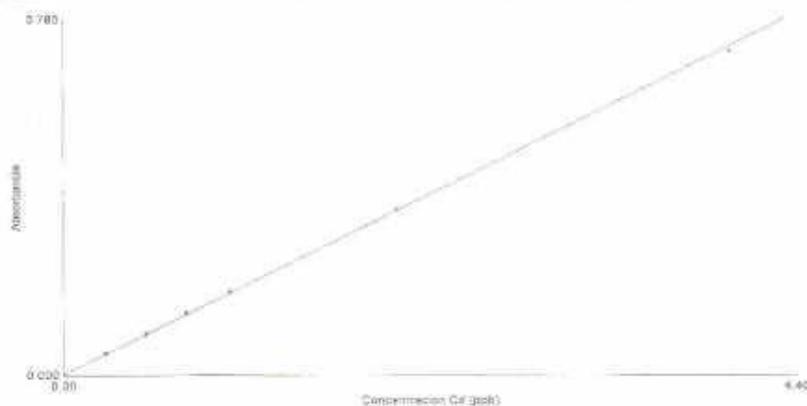


Prohibida su reproducción total o parcial. Si se requiere copias solicitarlas por escrito al ente emisor



CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX
 Resolución Directoral R.D. N° 354-2006-AG-SENASA-DIAIA
 Inscrito en Registro de Laboratorios de Control de Calidad de Plaguicidas Agrícolas
 N° 001-AG-SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria - Ministerio de Agricultura
Jr. Pisac 192 – Oficina 102 – Urb. Residencial Higuereita – Santiago de Surco
 Telefax: (511) 273-2318 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

Muestra Etiqueta	Conc. (ppm)	%RSD	Media Abs.	Replicas	
Cal. Blanca	----	0.05	0.0000	0.0025	0.0025
Standard 1	0.25	2.54	0.0454	0.0448	0.0462
Standard 2	0.50	3.44	0.0917	0.0914	0.0920
Standard 3	0.75	0.78	0.1380	0.1387	0.1400
Standard 4	1.00	0.20	0.1828	0.1831	0.1825
Standard 5	1.50	0.58	0.2642	0.2656	0.2628
Standard 6	2.00	0.04	0.3518	0.3520	0.3516



Muestra Etiqueta	Conc. (ppm)	%RSD	Media Abs.	Replicas	
Muestra 1	110.73	1.83	0.9000	0.9013	0.8987
Muestra 2	880.09	0.78	0.3433	0.3419	0.3451
Muestra 3	250.12	0.80	0.2258	0.2249	0.2271
Muestra 4	600.33	0.22	0.8880	0.8949	0.5975
Muestra 5	475.89	0.27	0.4334	0.4322	0.4345
Muestra 6	150.34	1.53	0.1777	0.1764	0.1789
Muestra 7	375.18	0.23	0.1888	0.1885	0.1891
Muestra 8	150.33	0.60	0.3718	0.3712	0.3725
Muestra 9	310.20	0.31	0.2880	0.2795	0.2880
Muestra 10	360.04	0.27	0.3431	0.3450	0.3410
Muestra 11	480.20	0.48	0.4085	0.4092	0.4079
Muestra 12	960.11	0.44	0.3251	0.3241	0.3261
Muestra 13	960.43	0.29	0.2351	0.2355	0.2348
Muestra 14	960.35	0.25	0.3434	0.3428	0.3442
Muestra 15	240.04	0.20	0.3070	0.3073	0.3066
Muestra 16	430.03	0.18	0.3885	0.3873	0.3890
Muestra 17	270.01	1.03	0.1898	0.1882	0.1910
Muestra 18	480.04	0.38	0.4337	0.4348	0.4322
Muestra 19	600.10	0.21	0.3500	0.3491	0.3509
Muestra 20	480.20	0.12	0.4156	0.4163	0.4160
Muestra 21	410.30	0.63	0.3765	0.3721	0.3809
Muestra 22	390.35	1.10	0.3434	0.3476	0.3382
Muestra 23	390.27	1.18	0.1718	0.1733	0.1704
Muestra 24	220.30	1.67	0.1989	0.1986	0.2013
Muestra 25	370.22	0.73	0.3343	0.3360	0.3329
Muestra 26	190.05	3.00	0.1385	0.1383	0.1387
Muestra 27	480.07	0.74	0.4134	0.4178	0.4132
Muestra 28	370.26	0.34	0.1889	0.1895	0.1887
Muestra 29	310.24	0.91	0.2882	0.2814	0.2789
Muestra 30	290.08	1.88	0.2618	0.2684	0.2584

Las muestras han sido diluidas 1:200.

Rosalía Anaya Pajuelo
 Dra. Rosalía Anaya Pajuelo
 Gerente Técnico



Prohibida su reproducción total o parcial. Si se requiere copias solicitarlas por escrito al ente emisor 1/1

B. Lista de figuras, tablas, cuadros y gráficos

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura N° 01 Importancia del plomo atmosférico en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano	8
Figura N° 02 Vías de absorción, distribución y eliminación del plomo en el organismo humano	15
Figura N° 03 Ribete de Burton: Plombemia y manifestaciones clínicas	17
Figura N° 04 Proceso funcional de los establos Chancay-Huaral	48
Figura N° 05 Proceso de obtención de la leche	49
Figura N° 06 Ubicación Geográfica del Distrito de Chancay	52

LISTA DE TABLAS

	Páginas
Tabla N° 01 Requisitos Físicoquímicos	32
Tabla N° 02 Comparación de la composición de la leche de vaca con la leche humana y la de otros mamíferos (valor medio en g/100mL)	34
Tabla N° 03 Lípidos de la leche de vaca	35
Tabla N° 04 Composición vitamínica de la leche cruda por 100g	35
Tabla N° 05 Elementos minerales en leche humana y leche de vaca	36
Tabla N° 06 Composición de las leches de vaca y humana (%)	37
Tabla N° 07 Características nutrimentales de la leche de vaca y su repercusión en el lactante menor de 1 año	40
Tabla N° 08 Concentración de plomo en muestras de leche de animales pastando en áreas industriales	42
Tabla N° 09 Características generales de los establos	47
Tabla N° 10 Tipos de Raza por Establos	53
Tabla N° 11 Producción de leche por establos	56
Tabla N° 12 Parámetros de instrumento de Plomo	57
Tabla N° 13 Parámetros de instrumento de Cadmio	58

LISTA DE CUADROS

	Páginas
Cuadro Nº 01 Niveles de Plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay - Huaral. Setiembre, 2013.	61
Cuadro Nº 02 Parámetros estadísticos de los niveles de Plomo en leche cruda de bovino. Setiembre, 2013.	61
Cuadro Nº 03 Niveles de Cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito Chancay - Huaral. Setiembre, 2013.	64
Cuadro Nº 04 Parámetros estadísticos de los niveles de Plomo en leche cruda de bovino. Setiembre, 2013.	64
Cuadro Nº 05 Comparación de los niveles de Plomo y Cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay – Huaral con los valores permisibles establecidos por Normas Internacionales. Setiembre, 2013.	67

LISTA DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico Nº 01 Niveles de Plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay-Huaral. Setiembre, 2013.	62
Gráfico Nº 02 Niveles de Plomo en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay-Huaral. Setiembre, 2013.	63
Gráfico Nº 03 Niveles de Cadmio en Leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay-Huaral. Setiembre, 2013.	65
Gráfico Nº 04 Niveles de Cadmio en Leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay-Huaral. Setiembre, 2013.	66
Gráfico Nº 05 Comparación de los niveles de Plomo y Cadmio en leche cruda de bovino en establos lecheros del Distrito de Chancay – Huaral con los valores permisibles establecidos por Normas Internacionales. Setiembre, 2013.	67

C. Glosario y siglas

Metal pesado. Elemento químico metálico que tiene una alta densidad relativa, tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Se pueden englobar a todos aquellos metales con una densidad superior a 5 g/cm^3 , peso atómico entre 63,55 y 200,59, y con una gravedad específica mayor de 4.

Isótopos. Son átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y, por lo tanto, difieren en masa atómica.

Peltre. Es una aleación compuesta por estaño, cobre, antimonio y plomo.

Ubre. Órgano mamario de las vacas y otros mamíferos, como cabras y ovejas. Una vaca tiene una ubre con cuatro tetillas, pudiendo albergar 15 litros de leche, y tiene un peso total de 50 kg, aproximadamente.

Calostro. Líquido secretado por las glándulas mamarias durante los primeros dos o tres días después del parto, con un alto contenido de sólidos, de fuerte olor y sabor amargo, compuesto de abundantes inmunoglobulinas, agua, proteínas, grasas, lactosa y cenizas. Está destinado fundamentalmente a fortalecer el sistema de protección del becerro.

Pica. Es un trastorno de la ingestión y de la conducta alimentaria. Conocido como una variante de un tipo de trastorno alimentario en el que existe un deseo irresistible de comer o de lamer sustancias no nutritivas y poco usuales, como tierra, tiza, yeso, virutas de la pintura, bicarbonato de sosa, almidón, pegamento, moho, cenizas de cigarrillo, insectos y papel.

Relaves. Son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.

Ensilado. Es un proceso de conservación del forraje basado en una fermentación láctica del pasto que produce ácido láctico y una disminución del pH por debajo de 5. Permite retener las cualidades nutritivas del pasto original, pero se precisa de mayores inversiones y conocimientos para conseguir un producto de calidad.

SIGLAS

ALAD: ácido δ -aminolevulínico deshidratasa.

ALA: ácido δ -aminolevulínico.

EDTA: ácido etilen-diamino-tetra-acético.

BAL: British-anti-Lewisite.

EPA: ácido eicosapentaenoico.

DHA: ácido docosahexaenoico.

FAO: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

JECFA: Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios de la FAO/OMS.

PTSI: ingesta semanal tolerable provisional.

PTMI: ingesta mensual tolerable provisional.

FOTOGRAFÍAS



Imagen 1. Agua de regadío de los forrajes.



Imagen 2. Canal de regadío



Imagen 3. Suplementos concentrados.



Imagen 4. Suplementos concentrados según los tipos de vacas.



Imagen 5. Alimentación con suplementos concentrados.



Imagen 6. Picadora de forrajes.



Imagen 7. Comedero.



Imagen 8. Sala de ordeño mecánico automatizado.

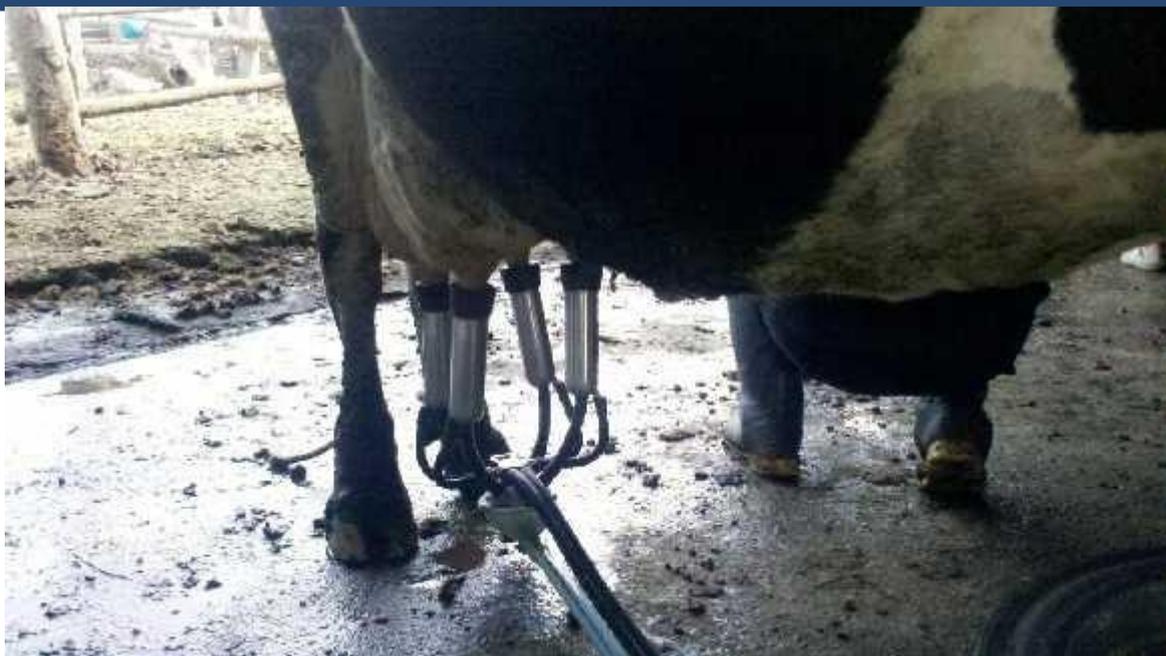


Imagen 9. Ordeño mecanizado.



Imagen 10. Equipo de filtración de la leche.



Imagen 11. Tanque enfriador.



Imagen 12. Sistema de bomba de vacío.



Imagen 13. Transporte de la leche de vaca.



Imagen 14. Establo Lechero.

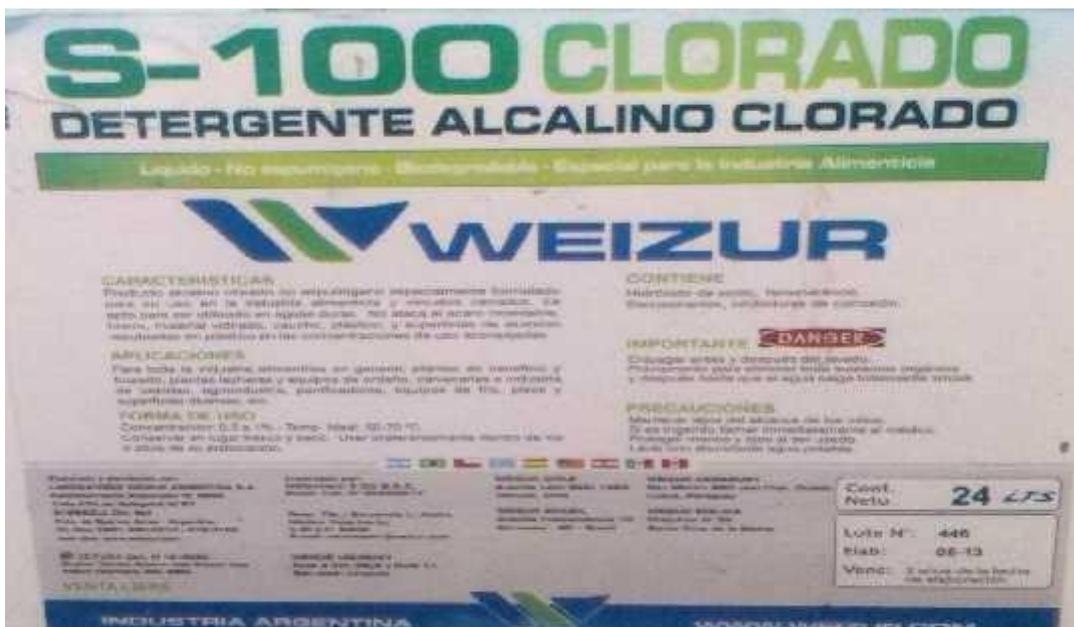


Imagen 15. Detergente alcalino clorado.



Imagen 16. Desincrustante ácido no espumígeno.

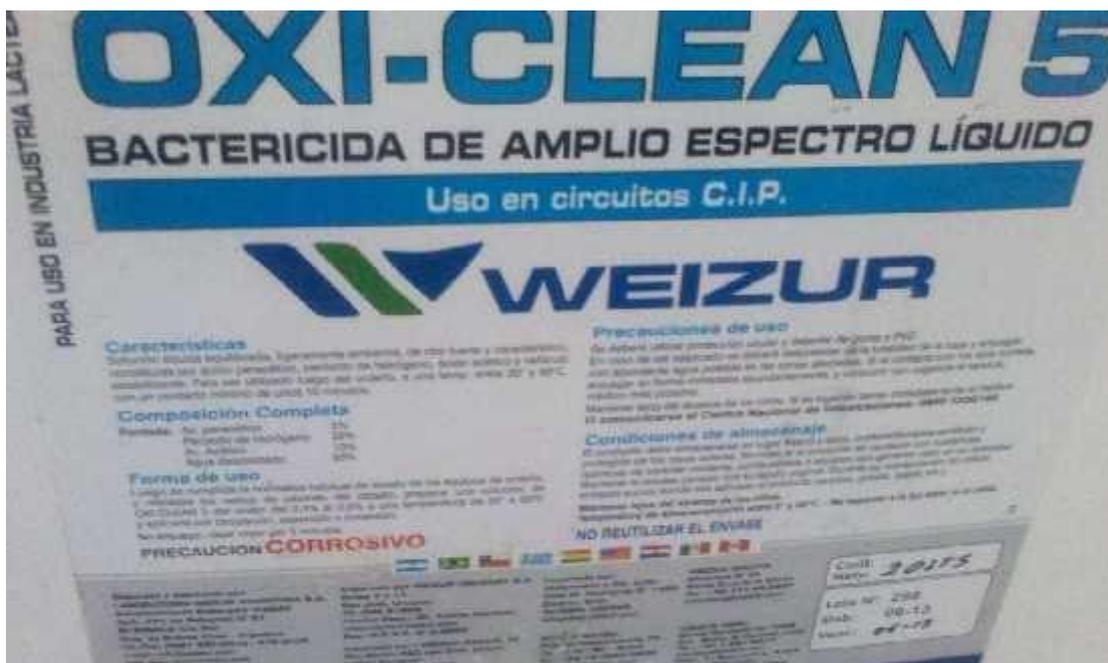


Imagen 17. Bactericida de amplio espectro líquido.

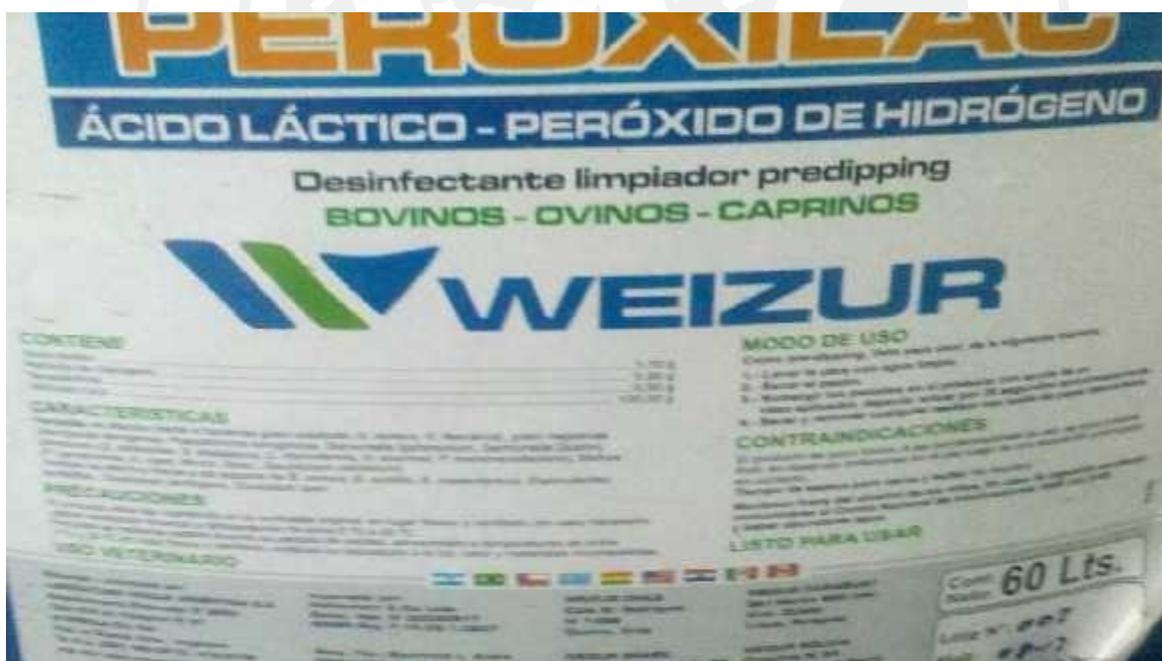


Imagen 18. Ácido láctico peróxido de hidrógeno.

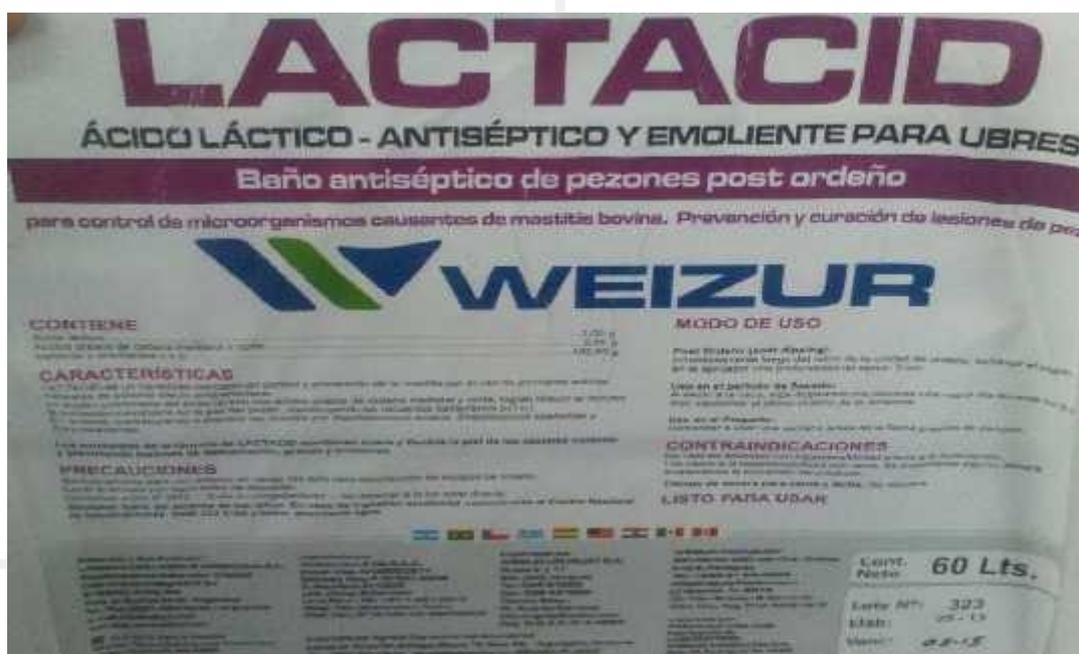


Imagen 19. Ácido láctico antiséptico y emoliente para ubres.