

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



**“METALES PESADOS EN CARNE Y VÍSCERAS DE ALPACAS DE DOS  
COMUNIDADES DEL DISTRITO DE ANANEA”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

Bach. VICTOR RAUL IQUISE APAZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

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

TESIS

“Metales pesados en carne y vísceras de alpacas de dos comunidades del  
distrito de Ananea”

PRESENTADO POR:

Bach. Víctor Raúl Iquise Apaza

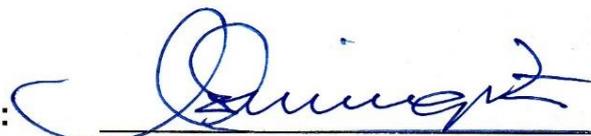


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

APROBADA POR:

PRESIDENTE

:   
MVZ. Ciriaco Teodoro Zuñiga Zuñiga

PRIMER MIEMBRO

:   
Mg. Sc. Nelva Enriqueta Chirinos Gallegos

SEGUNDO MIEMBRO

:   
Mg. Sc. Oscar David Orós Butrón

DIRECTOR / ASESOR

:   
Dr. Julio Málaga Apaza

Área : Salud pública

Tema : Metales pesados en alpacas

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por permitirme existir, guiarme por el buen sendero de la vida, darme vitalidad y sabiduría para alcanzar mis metas. A todos mis familiares, por ser una motivación en mi desarrollo personal.

A mi distrito natal Ananea “Ciudad Dorada de los Andes y cuna de la crianza de Camélidos Sudamericanos”, al C. P. Trapiche, C. P. Rinconada, C. P. Chuquine, a las Comunidades y a todo mis paisanos en general por las muestras de cariño recibidos.

A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, a los distinguidos docentes por sus conocimientos transmitidos durante mi formación profesional.

A ti mi Amor *M. V. Z. Marisol Nieves Quispe Morocco*, siempre presente en mi corazón, gracias por apoyarme y estar a mi lado en las alegrías y tristezas.  
**“El Amor no necesita ser perfecto, solo necesita ser verdadero”.**

Víctor Raúl Iquise Apaza.

## AGRADECIMIENTO

Al Dr. Julio Malaga Apaza, por facilitarme las herramientas, sabiduría, su paciencia, sugerencias y por haberme dirigido tan acertadamente en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A los docentes miembros del Jurado: Dr. Ciriaco Teodoro Zuñiga Zuñiga, Mg.Sc. Nelva Enriqueta Chirinos Gallegos (Fac. Enfermería) y Mg.Sc. Oscar David Oros Butron, mi agradecimiento por su paciencia y sugerencias en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Máximo Melo Ancasí, por sus enseñanzas en mi vida estudiantil, su constante motivación, por ser fuente de inspiración en el estudio y desarrollo del fascinante mundo de los Camélidos Sudamericanos y por sus sabios consejos.

A todos los Docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la U. N. A. – Puno, por sus conocimientos impartidos en mi formación profesional.

A todos mis compañeros (as) de la Gloriosa Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, con los que compartimos momentos de estudios, alegrías y tristezas durante la vida estudiantil.

A los amigos y paisanos: Mateo, José, Gladys, Percy, Orlando y Tec. Hermenegildo, por su colaboración en la ejecución del presente trabajo.

Víctor Raúl Iquise Apaza.

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1.	MARCO TEORICO .....	3
2.1.1.	Situación de la actividad minera en el Perú .....	3
2.1.2.	Situación de la actividad minera en Ananea y la Rinconada .....	3
2.1.3.	Situación de los Camélidos en el Perú.....	4
2.1.4.	Metales pesados .....	5
2.1.5.	Contaminación por metales pesados.....	10
2.1.6.	Técnicas en determinación de metales pesados .....	14
2.2.	ANTECEDENTES .....	14
2.2.1.	Arsénico.....	14
2.2.2.	Cadmio .....	17
2.2.3.	Mercurio.....	19
2.2.4.	Plomo.....	23
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
3.1.	Lugar de estudio.....	34
3.2.	Material de estudio .....	34
3.2.1.	Tamaño de muestra.....	35
3.3.	Metodología .....	36
3.3.1.	Obtención de muestras de carne y vísceras de alpaca .....	36
3.3.2.	Determinación de arsénico, plomo, mercurio y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito .....	37
3.4.	Análisis Estadístico .....	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1.	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO .....	40
4.2.	CONCENTRACIÓN DE CADMIO .....	44
4.3.	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO .....	46
4.4.	CONCENTRACIÓN DE PLOMO.....	49
V.	CONCLUSIONES .....	54
VI.	RECOMENDACIONES .....	55
VII.	REFERENCIAS .....	56
	ANEXOS.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua – D.S. N° 004-2017-MINAM. ....	27
Tabla 2: Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA. ....	27
Tabla 3: Análisis físico químico de muestras de aguas subterráneas y superficiales – Rinconada. ....	28
Tabla 4: Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentación animal (OMS. Reglamento Sanitario Internacional 2005).....	28
Tabla 5: Contenidos máximos (mg/Kg) de metales pesados en los productos alimenticios. ....	29
Tabla 6: Contaminación de metales pesados (mg/L) en zona alta y estándares de calidad de suelos según UE y EPA. ....	29
Tabla 7: Contaminación de metales pesados en sedimentos (mg/kg) en cordillera. ....	29
Tabla 8: Contaminación con metales pesados en suelos (mg/kg) en cordillera. ....	30
Tabla 9: Contaminación con metales pesados en vegetales (mg/kg) en cordillera. ....	30
Tabla 10: Contaminación con metales pesados en sedimentos (mg/kg) en zona intermedia. ....	30
Tabla 11: Distribución de muestras de carne y vísceras de alpacas para el estudio...36	
Tabla 12: Niveles de concentración de arsénico ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea.....	40
Tabla 13: Niveles de concentración de cadmio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea.....	44
Tabla 14: Niveles de concentración de mercurio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea.....	46
Tabla 15: Niveles de concentración de plomo ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea.....	49
Tabla 16: Valores determinados por el equipo de AA de las soluciones estándar de As .....	63
Tabla 17: Absorbancias de los patrones de Pb .....	65
Tabla 18: Absorbancia de los patrones de Mercurio.....	68
Tabla 19: Valores determinados por el equipo de AA de las soluciones estándar de Cd .....	70

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Contribución en (%) de los distintos grupos de alimentos a la ingesta de cadmio .....	18
Figura 2: Curva de calibración de As.....	63
Figura 3: Programa de temperatura para la medición de As por horno de grafito .....	64
Figura 4: Parámetros ópticos para la medición de As por horno de grafito .....	64
Figura 5: Curva de calibración de Pb .....	65
Figura 6: Condiciones ópticas para la medición de Pb por horno de grafito .....	66
Figura 7: Programa de temperatura para la medición de Pb por horno de grafito.....	67
Figura 8: Curva de calibración de Hg .....	68
Figura 9: Parámetros ópticos para la medición de Hg por horno de grafito .....	69
Figura 10: Programa de temperatura para la medición de Hg por horno de grafito .....	69
Figura 11: Curva de calibración de Cd .....	70
Figura 12: Parámetros ópticos para la medición de Cd por horno de grafito.....	71
Figura 13: Programa de temperatura para la medición de Cd por horno de grafito .....	72

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>Abs</b>	Absorbancia
<b>As</b>	Arsénico
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>CE</b>	Comisión de las Comunidades Europeas. Reglamento 1881/2006
<b>EAA</b>	Espectrofotometría de Absorción Atómica.
<b>EPA</b>	Agencia de Protección Ambiental (Environment Protection Agency)
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>N. D.</b>	No detectable
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>OMS</b>	Organización Mundial de Salud
<b>Pb</b>	Plomo
<b>ppb</b>	Partes por billón.
<b>ppm</b>	Partes por Millón.
<b>UE</b>	Unión Europea.
<b>UI</b>	Unidad Internacional
<b>UNMSM</b>	Universidad Nacional Mayor de San Marcos
<b>USAQ</b>	Unidad de Servicios de Análisis Químicos

## RESUMEN

Se investigaron en comunidades de Pampa Blanca y Trapiche del distrito de Ananea, con objetivos de determinar concentración de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en carne y vísceras de alpacas menores a 2 y mayores a 7 años, procedentes de zonas con y sin actividad minera. Se utilizó 40 muestras, analizadas mediante técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito SHIMADZU AA-6800 en laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos - Universidad Nacional Mayor San Marcos. La concentración de cadmio en músculos, pulmón, hueso e hígado oscilaron valores de 15.877 – 408.54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , en alpacas mayores a 7 años pastoreadas en zonas con actividad minera y en alpacas menores de 2 años sin influencia minera no se detectó en ninguna muestra; pero los animales mayores de 7 años mostraron 119.87, 32.02 y 392.97  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en músculo, riñón y hueso, respectivamente. Las concentraciones de mercurio en pulmón, hueso, riñón e hígado oscilaron de 112.352 – 174.98  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , en alpacas mayores a 7 años procedentes de zona minera, y en alpacas menores a 2 años sin influencia minera, no se encontró valores detectables; mientras en animales mayores de 7 años sin actividad minera se determinó 58.33, 116.663, 66.54 y 179.83  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de músculo, hígado, riñón y hueso. Los niveles de plomo y arsénico en muestras estudiadas no se detectaron. En conclusión los niveles de mercurio y cadmio en músculos y vísceras de alpacas mayor a 7 años de edad de ambas zonas, no supera los límites máximos permisibles, según Normas Internacionales alimentarias.

**Palabras Clave:** Alpacas, Carne, Metales pesados, Vísceras.

## ABSTRACT

They were investigated in communities of Pampa Blanca and Trapiche of the Ananea district, with the objective of determining the concentration of arsenic, cadmium, mercury and lead in meat and viscera of alpacas under 2 and over 7 years, from areas with and without mining activity. It was used 40 samples, analyzed by atomic absorption spectrophotometry technique with graphite furnace SHIMADZU AA-6800 in laboratory Chemical Analysis Services Unit - National University San Marcos. The concentration of cadmium in muscles, lung, bone and liver oscillated values of 15,877 - 408.54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , in alpacas greater than 7 years grazed in areas with mining activity and in alpacas younger than 2 years without mining influence was not detected in any sample; but animals older than 7 years showed 119.87, 32.02 and 392.97  $\mu\text{g}/\text{kg}$  in muscle, kidney and bone, respectively. The concentrations of mercury in lung, bone, kidney and liver ranged from 112,352 - 174.98  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , in alpacas greater than 7 years from the mining area, and in alpacas under 2 years without mining influence, no detectable values were found; while in animals older than 7 years without mining activity, 58.33, 116.663, 66.54 and 179.83  $\mu\text{g}/\text{kg}$  of muscle, liver, kidney and bone were determined. The levels of lead and arsenic in samples studied were not detected. In conclusion, the levels of mercury and cadmium in the muscles and viscera of alpacas over 7 years of age in both areas do not exceed the maximum permissible limits, according to International Food Standards.

**Keywords:** Alpacas, Meat, Heavy metals, Guts

## I. INTRODUCCIÓN

La demanda de carne y vísceras por parte de los habitantes que se dedican a la actividad minera en el distrito de Ananea, va en aumento en cada año; es por ello que se tiene que vigilar la contaminación en el proceso de producción, debido a que, es una de las actividades más representativas de la ganadería camélida, siendo los sistemas de producción de manera tradicional, ya que no adoptan eficientemente nuevas tecnologías para mejorar la producción y esto podría afectar a la salud de los consumidores. El problema ambiental por contaminación con metales pesados, presenta evidencia científica suficiente de que la contaminación del suelo puede repercutir fácilmente en la cadena trófica (suelo, agua, aire, plantas), desde ahí pasan a los animales a bioacumularse en sus tejidos, órganos y posteriormente se evidencian en sus productos como en la carne, huevos y leche; mediante ellos llegan a los humanos como elementos finales de la cadena trófica, posibilitando graves problemas de salud (Castillo, 2005).

Los metales pesados como el plomo, cadmio, arsénico y el mercurio, además de ejercer efectos tóxicos, pueden transferirse mediante la cadena trófica y ser un factor de riesgo en la salud pública; causando efectos negativos sobre los animales y el hombre, tales como daños a nivel del sistema nervioso central, en la función hepática y renal, en el sistema músculo-esquelético, en la función reproductiva, alteraciones mutagénicas, efectos carcinogénicos e inmunológicos, específicamente en los infantes y adultos mayores a 60 años, que representan las poblaciones más sensibles a dichos efectos (Aquino, 2003).

El estudio pretende alcanzar un conocimiento científico sobre la contaminación por metales pesados y sentar las bases sobre la situación real de la carne que se expende en los mercados de abasto del centro poblado de la Rinconada y del distrito de Ananea. En este contexto, no se han realizado investigaciones en relación al contenido de metales pesados en la carne para consumo; por lo tanto el conocimiento científico logrado, se presentará a la población de la zona, con fines de planificar, vigilar e implementar acciones preventivas sobre consumo de carne y vísceras para así contribuir a una vida saludable, ya que los criadores sensibilizados evitarán en proveer carne contaminada al mercado. En razón a ello nos hemos propuesto a alcanzar los siguientes objetivos: Determinar la concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en carne y vísceras de alpacas de las comunidades con y sin actividad minera y determinar la concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en carne y vísceras de alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. MARCO TEORICO

#### 2.1.1. Situación de la actividad minera en el Perú

La minería es una actividad extractiva cuyo desarrollo constituye soporte para gran parte de la industria manufacturera y joyera del mundo. Es una actividad vinculada a las finanzas y al medio ambiente. La cotización de los minerales ha determinado la evolución de las bolsas mundiales en estos últimos años. El Perú ocupa lugares importantes en Latinoamérica y el mundo por su producción y potencial minero. Latinoamérica ocupa el primer lugar en la producción de zinc, plomo, estaño, plata y oro siendo segundo lugar sólo en la producción de cobre. A nivel mundial ocupa el primer lugar en plata (16.48%), tercer lugar en zinc (12.15%), cobre (6.86%), y estaño; cuarto lugar en plomo (9.52%) y quinto lugar en oro (8.01%). A lo largo de la historia económica peruana, la minería ha contribuido al crecimiento económico del país y ha sido una fuente importante de ingresos fiscales. No obstante, la generación de conflictos y los impactos ambientales han sido motivo de preocupación dentro de las comunidades campesinas y la sociedad en general (Dammert y Molinelli, 2007).

#### 2.1.2. Situación de la actividad minera en Ananea y la Rinconada

El distrito de Ananea y el centro poblado Rinconada son los pueblos mineros más altos del mundo, cuentan con una población de 90,000 habitantes, de los cuales el 90 % se dedican de la minería artesanal e informal. En el distrito de Ananea, en lugares aledaños como Pampa Blanca, Chaquiminas, la morrena y otros, se desarrolla la actividad minera para la extracción del oro de forma artesanal e informal por el sistema de tajo abierto, existen también algunas

instituciones y empresas mineras que en la actualidad se encuentran operando en proceso de formalización. Mientras tanto en las Minas la Rinconada se desarrolla la extracción del oro a través de contratas mineras y lo realizan por el sistema de voladuras y los llamados socavones o túneles en la dura roca, siendo estas ubicadas en la falda del nevado Riticucho, un lugar donde se encuentra la mayoría de los asentamientos mineros, las minas son explotadas las 24 horas del día por miles de trabajadores que llegan de distintas partes del País, atraídos por el oro, para muchos la esperanza de hacer dinero rápido se esfuman al poco tiempo de llegar, las condiciones del trabajo son extremas, el clima es adverso y el hacinamiento es intolerable. Esta actividad es una minería en donde se extrae el oro utilizando en su proceso el mercurio; la población puede presentar problemas neurológicos, alteraciones mentales y problemas renales, por la intoxicación del metal pesado el mercurio. El centro poblado la Rinconada no cuenta con los servicios básicos, como agua potable, desagüe y relleno sanitario, existe un alto porcentaje de contaminación ambiental; presentando problemas diarreicos, desnutrición etc., existe hacinamiento por la gran cantidad de habitantes, cada familia vive en una habitación de 4 x 4 metros cuadrados, de construcción con calaminas y algunas de material noble; existiendo la prostitución y el alcoholismo, con lo que generan problemas de enfermedades de transmisión sexual, como el VIH (Aquino, 2003).

### **2.1.3. Situación de los Camélidos en el Perú**

El Perú es el primer productor mundial de alpacas con una población de 3'685,516 animales, el departamento de Puno posee 1'459,903 alpacas (INEI-CENAGRO 2012).

La crianza de alpacas es una actividad de vital importancia para los pobladores alto andinos, quienes se benefician económicamente y tienen acceso directo de alimentos de origen animal, como la carne, una proteína de alta calidad nutricional, cuya producción es a base de pastos naturales que se encuentran entre los 3500 a 5400 m.s.n.m. con precipitaciones pluviales y temperaturas frías donde los camélidos sudamericanos se han adaptado eficientemente en comparación a otras especies. Esto implica una potencialidad para la crianza de alpacas y por ende la exportación de la carne y sus derivados, por su alto contenido de proteína, bajo porcentaje en colesterol y con menor infiltración de grasa en comparación a otras especies (res y ovino) (Leguía y Clavo, 1989).

El lugar que ocupa la carne en la alimentación humana es muy importante, tanto desde el punto de vista fisiológico como el biológico. La presencia en la ración de una cantidad determinada de proteínas de origen animal, es absolutamente necesaria, en especial cuando están destinadas a organismos en crecimiento. Al mismo tiempo se ha puesto en evidencia la importancia de ciertos aminoácidos esenciales que se encuentran en elevada proporción en las proteínas de origen animal y que son imprescindibles para el buen funcionamiento de numerosas glándulas endócrinas, formación de anticuerpos, etc. (Solis, 2000).

#### **2.1.4. Metales pesados**

Este término refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad por lo menos cinco veces mayor que la del agua y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Muchas definiciones diferentes han propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico,

y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad. El término metal pesado es considerado como una "mala denominación" en un informe técnico de la IUPAC debido a su definición contradictoria y su falta de "bases de coherencia científica" (López, 2009). Existe un término alternativo metal tóxico, para el cual tampoco existe consenso de su exacta definición. Sin embargo hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de "metales pesados" (Oyarzun & Higuera, 2009)

Existen varias definiciones del término "metales pesados". En esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por lo tanto, de interés minero declara (Oyarzun, 2011). Por lo general se acepta que son aquellos elementos químicos que presentan ciertas propiedades comunes: conductividad eléctrica y térmica altas, maleabilidad, ductibilidad y brillo (Vega, 1990), cuya densidad es mayor a 5 g/ml (Moreno, 1999), por lo menos cinco veces mayor que la del agua.

Algunos metales pesados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Arce García, 2000). Los metales pesados se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales (Vega, 1990).

Dentro de la clasificación de los metales pesados hay dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes; que son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales, son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn. Estos elementos minoritarios se encuentran en muy

bajas concentraciones en el suelo y agua. Pasado cierto umbral biológico se vuelven tóxicos. La ausencia de estos micronutrientes causa enfermedades y su exceso intoxicaciones (Arce, 2000).

- Metales pesados sin función biológica conocida; su presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, generan disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, produciendo inhibición de las actividades enzimáticas. Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. A este grupo pertenecen principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi). La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Por ahora solo mencionaremos algunos los cuales tienen un mayor impacto e importancia por su peligrosidad (López, 2009).

#### **2.1.4.1. Arsénico (As)**

El arsénico es la causa más común de intoxicación aguda por metales pesados en los adultos. Aunque el arsénico no es un metal, sino un metaloide (básicamente significa que tiene propiedades de metal y no metal). El arsénico es liberado al medio ambiente por la industria de productos químicos y gafas, llega a los suministros de agua en todo el mundo con la exposición de la vida marina. El arsénico afecta a la sangre, los riñones y el centro nervioso, el digestivo y los sistemas de la piel, con consecuencias como: dolor abdominal, acrocianosis y necrosis, anemia, anorexia, apatía, ceguera progresiva cardiotoxicidad, cólicos, coriza, la muerte, la demencia, dermatitis, diarrea, mareos, somnolencia, edema,

eccema, inhibidor de la enzima, fatiga, fiebre, pérdida de líquido, olor a ajo en el aliento o en las heces, el sistema gastrointestinal, el bocio, la pérdida del cabello, dolor de cabeza, la hemólisis, aumento de la pigmentación hiperqueratosis de palmas y plantas, el herpes, la hiperpigmentación, ictericia, daño o insuficiencia renal, laconiquita, la disfunción del hígado, los pulmones, cáncer de pulmón y deterioro mental, la coordinación motora, náuseas, trastornos nerviosos, palidez, parestesias, parálisis, enfermedades respiratorias, salivación excesiva perforación del tabique, sensorio neuropatía, shock, trastornos de la piel, espasmos, estupor, estomatitis, constricción de la garganta, vascular efectos de Raynaud, vértigo y vómitos (López, 2009).

#### **2.1.4.2. El Cadmio (Cd)**

El cadmio proviene (en su mayoría) de la refinación del zinc. Es un producto residual o un subproducto del zinc. El cadmio está presente principalmente en la corteza terrestre, puesto que se absorbe con mucha fuerza por la materia orgánica que forma el suelo. Este hecho en sí, conforma el mayor peligro, porque estos depósitos de cadmio absorbidos por la materia orgánica del suelo, pasa a las plantas y muchas son parte de la dieta humana o animal en forma de metales pesados peligrosos. Los alimentos potencialmente más susceptibles de estar contaminados por cadmio son los champiñones, los mariscos, los peces de agua dulce, las algas secas, el agua potable, etc. Los fumadores (activos y pasivos) están muy expuestos al cadmio. También, personas que viven cerca de vertederos de basuras o fábricas que liberan cadmio a la atmósfera. Trabajadores de refinerías de metal también pueden estar expuestos al cadmio y a otros metales pesados. El cadmio puede causar lesiones renales importantes,

es un metal pesado que lo transporta la sangre y se acumula en los riñones obstaculizando la filtración de tóxicos por este. También es capaz de dañar los pulmones de forma severa (sobre todo cuando se trata de un fumador). El cadmio afecta al sistema nervioso central (SNC), el sistema inmunitario y la integridad del ADN de las células. Una alta concentración de cadmio provoca síntomas como diarreas, vómitos, dolores de estómago y debilidad en los huesos (López, 2009).

#### **2.1.4.3. Mercurio (Hg)**

El mercurio está considerado dentro de los metales pesados como altamente tóxico. Puede estar presente de forma natural en forma de metal (como mercurio), o en forma de sales de mercurio. Es muy volátil y podemos respirarlo si está presente en el aire, siendo absorbido por los pulmones y la piel. El mercurio que se inhala es la forma más peligrosa de exposición, pues entra en el organismo y se acumula, permaneciendo durante mucho tiempo. El mercurio es uno de los metales pesados presente en una enorme variedad de productos de uso cotidiano, aparte de estar en el aire y en la amalgama de los empastes dentarios. Está presente en los termómetros, en bombillas de alumbrado doméstico (ampolletas) fluorescentes, barómetros, etc. Aunque no constituye ningún peligro, mientras los aparatos están atrapados. El problema surge cuando el aparato se rompe y se libera el mercurio. Puede llegar a ser divertido jugar con las bolitas que forma el mercurio, es un mineral hermoso y curioso. Una cosa a tener en cuenta, es que el mercurio no debería estar de ninguna manera presente en la cadena alimentaria. Este mercurio procede de actividades

humanas, como minería, fundición, combustión de residuos sólidos, fertilizantes para la agricultura y los vertidos de aguas residuales (López, 2009).

#### **2.1.4.4. El plomo (Pb)**

El plomo ha sido un metal muy utilizado en instalaciones domésticas y en aleaciones metálicas o químicas como tuberías, fabricación de pinturas, masillas y pesticidas. Es de los metales pesados que más fácilmente podemos contaminarnos, es un metal muy manejable y moldeable, en la antigüedad ha sido muy utilizado en obras de arte como vitrales y como componente de algunas pinturas, pero hoy en día no se puede utilizar en muchas de esas aplicaciones debido a su gran toxicidad en organismos vivos. El plomo es tremendamente nocivo para la salud, de los metales pesados que más estragos ha causado entre la población. Entra en el organismo a través de vegetales, carnes, frutas, mariscos y el vino (entre otros muchos alimentos contaminados con metales pesados). El humo del tabaco también es un contaminante con una alta concentración en plomo. Concentraciones altas de plomo pueden causar: Abortos, hipertensión arterial, problemas renales, Disminución en el aprendizaje y las habilidades motoras, alteración del sistema nervioso, daño en el esperma, daño cerebral, agresión, irritabilidad, hipersensibilidad, alteraciones en el comportamiento (sobre todo de los niños), etc. (López, 2009).

#### **2.1.5. Contaminación por metales pesados**

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre. Estos se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas.

- **Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos**

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Rosas, 2001).

- **Origen natural**

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986). Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual. La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Adriano, 1986).

- **Origen antropogénico**

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado (Wittmann, 1981).

Los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del

río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico.

- **Origen agropecuario**

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono (Rosas, 2001), el empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos para residuos no peligrosos o abandonados en los campos. Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Rosas, 2001). Los contaminantes de origen ganadero son los debidos a los desechos de los animales y a los que proceden del lavado de establos y granjas. La concentración de metales en dichos materiales es variable y depende del tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de establo e incluso del manejo de los desechos (Adriano, 1986).

- **Origen industrial**

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se

someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas, 2001). Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (López, 2009).

- **Origen doméstico y urbano**

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmósfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales (Rosas, 2001).

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades (Rosas, 2001).

### 2.1.6. Técnicas en determinación de metales pesados

El empleo de la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) es el método analítico de elección para el análisis de trazas de metales pesados y metaloides en diversas matrices (fluidos biológicos, alimentos, filtros de captación ambiental, etc.). Esta técnica, por tanto, permitirá valorar el grado de contaminación medioambiental, la exposición a determinados tóxicos industriales en un colectivo de trabajadores, el nivel de metales en un alimento, etc.

Para el análisis concreto de cada uno de los contaminantes se emplean diferentes técnicas analíticas:

- EAA con Llama (Ejs.: Cu, Zn)
- EAA con Horno de Grafito (Ejs.: Pb, Cd)
- EAA con Generador de Hidruros:
  - Sin llama (Técnica de Vapor Frío) Ej.: Hg.
  - Con llama Ejs.: As, Se (Cañadas y Calabuig, 2004).

## 2.2. ANTECEDENTES

### 2.2.1. Arsénico

En la cuenca de Ramis – Titicaca en un estudio realizado con muestras de 2 épocas desde Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco, encontraron los niveles de concentración de arsénico en cabello humano por debajo del valor de límite de determinación 0.1 mg/kg. Para la leche cruda de vacas, los niveles de arsénico se encuentran por debajo del Límite de Determinación establecido como 0.100 µg/L. Este resultado está directamente relacionado a los suelos de Ananea que poseen valores menores de arsénico cuando comparamos a los estándares de calidad de suelos de la Unión Europea, donde los límites

permisibles de UE (mg/kg) para arsénico oscila de 5.5 a 13 mg/kg (Astorga *et al.*, 2010).

En el estudio de línea base del año 2009, el área del Medio Ambiente de la CIA Minera Antapaccay y la oficina de sanidad animal de Fundación Tintaya, evaluaron niveles de concentración de arsénico en el hígado de los ovinos criados en ámbitos con influencia minera 0.02 mg/kg; igual valor se encontró en el hígado de los ovinos que han sido criadas en áreas sin actividad minera; mientras no detectaron este metal en el riñón de los animales de ambas zonas (Xstrata Tintaya S.A. 2009).

En el entorno de la Minera Antapaccay, el laboratorio de Servicio Nacional de Sanidad Animal (SENASA) Perú, no encuentra los niveles de arsénico en las vísceras ni en la carne de los ovinos de las comunidades de Espinar; mientras El Laboratorio CERPER S.A. registra 0.006 mg/kg en el hígado, 0.006 mg/kg riñón y 0.006 mg/kg carne de las muestras de 04 ovinos (Vicaria de la Solidaridad-prelatura 2011).

En Argentina estudiaron arsénico total e inorgánico en músculo e hígado de la Llamas, mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con generación de hidruros. Los resultados que se reportan a nivel de músculo procedente de Abra Pampa zona no contaminada encontraron niveles de arsénico total de  $0,132 \pm 0,043$  ng/g, similar a los hallados en las llamas de Rinconadillas zona contaminada  $0,114 \pm 0,062$  ng/g. Sin embargo, en la zona contaminada El Moreno los niveles de arsénico se duplican  $0,233 \pm 0,041$  ng/g. Referente al arsénico inorgánico los contenidos en el músculo de las muestras de Abra Pampa fue  $3 \pm 1$  ng/g y Rinconadillas  $4 \pm 2$  ng/g ( $P \geq 0.05$ ). Las bajas concentraciones de arsénico inorgánico indican que la carne de llama no es un alimento de riesgo para los

consumidores porque en ninguno de los casos exceden el límite máximo permisible por la legislación Argentina; aunque para realizar una evaluación más certera del riesgo sería el interés estudiar las especies órgano-arsenicales existentes en este alimento. Los contenidos de arsénico total en el hígado superan al de los músculos en 1,7 en Abra Pampa y 1,5 en El Moreno. La mayor acumulación del arsénico en hígado es atribuible a que, es el principal órgano implicado en los mecanismos de detoxificación del arsénico (Ponce, 2006).

Se valoraron los niveles de arsénico, cadmio, plomo, cobre y zinc en hígado, riñón y músculo de terneros y vacas sacrificados en Galicia (Noroeste de España). Excepto para los niveles de cobre en hígado, que eran altos, el resto de metales mostraron concentraciones generalmente bajas en Galicia y similares al resto de Europa, Australia y Canadá. Los niveles de concentración de arsénico en el hígado, riñón, músculo y sangre de ganado vacuno (terneros y vacas) oscilaron entre 2.92 mg/kg y 15.2 mg/kg de peso fresco. Las concentraciones, en la mayoría de los tejidos fueron significativamente más altas en las vacas que en los terneros. Los niveles de arsénico en el ganado vacuno en Galicia no constituyen un riesgo para la salud animal (López *et al.* 2003).

La información disponible sobre el arsénico en las aguas superficiales y subterráneas de consumo humano de la provincia de Catamarca se ha recopilado y se presenta en tres categorías de concentraciones de arsénico: menor a 0,050 mg/l, intermedio 0,050 mg/l y 0,100 mg/l y mayor a 0,100 mg/l. Las investigaciones realizadas en estas cuencas, determinaron tenores anómalos de arsénico en agua subterránea, en diversos cursos de agua y

lagunas. Su origen se atribuye a la presencia de cenizas volcánicas en suelos, hacia donde fueron transportadas antiguamente desde zonas volcánicas por la acción eólica. La provincia de Catamarca carece de información epidemiológica específica derivada de la presencia de arsénico en el agua de consumo. La información disponible indica que amplias áreas pueden presentar aguas con concentraciones superiores a 0,100 mg/l de arsénico. Esta situación aconseja profundizar en la evaluación de la distribución geográfica, el origen y la movilidad ambiental del arsénico en las aguas de Catamarca. Esta investigación servirá para plantear las soluciones más adecuadas para minimizar los riesgos derivados del consumo de aguas con elevadas concentraciones de arsénico (Muñoz *et al.*, 1999).

### **2.2.2. Cadmio**

El cadmio puede acumularse en el cuerpo humano hasta por 30 años, especialmente en el riñón, pues su eliminación es muy lenta a través de la orina y puede provocar afecciones renales, alteraciones óseas (osteoporosis, dolores óseos) y fallos del aparato reproductor. Además no puede descartarse que actúe como carcinógeno pulmonar por la inhalación de cadmio. En su dictamen de 2 de junio de 1995, el SCF recomendó que se realicen mayores esfuerzos para reducir la exposición de cadmio en la dieta; puesto que los productos alimenticios son una de las principales fuentes de ingestión humana de cadmio (CE, 2006).

La absorción de cadmio por los animales es baja, particularmente en rumiantes (Underwood y Suttle, 1983) donde los porcentajes de absorción no sobrepasan el 1%, pero la retención en el organismo es muy elevada, particularmente en

los riñones, donde la vida media en rumiantes puede ser de varios años. En animales de abasto donde el tiempo de crianza es muy reducido, particularmente en monogástricos, las acumulaciones de cadmio serán muy mermadas con prácticas habituales de manejo. El cadmio se encuentra en el ambiente de lugares de trabajo que manipulen baterías, soldaduras, pigmentos, en barras de control de los reactores nucleares, en aguas contaminadas, en lugares cercanos a centrales térmicas y quemaderos de basuras y muy especialmente en el tabaco; así la cantidad de cadmio absorbido con el humo del tabaco puede ser equivalente a la ingerida en la dieta, de hasta unos 10  $\mu\text{g}/\text{día}$  (Méndez, 2002).

Los niveles máximos tolerables de consumo diario de cadmio son 68  $\mu\text{g}/\text{persona}/\text{día}$  para un peso de 68 kg (IARC, 1984). En el entorno occidental los valores de ingesta diaria varían entre los 10  $\mu\text{g}/\text{día}$  para Finlandia, los 11  $\mu\text{g}/\text{día}$  del País Vasco, los 12  $\mu\text{g}/\text{día}$  de Estados Unidos, los 18  $\mu\text{g}/\text{día}$  de Reino Unido, Bélgica, República Checa y sobresale Japón con 35  $\mu\text{g}/\text{día}$  (IARC. International Agency for Research on Cancer. 1987).



**Figura 1: Contribución en (%) de los distintos grupos de alimentos a la ingesta de cadmio**

### 2.2.3. Mercurio

El mercurio es el único metal volátil; absorbido por los pulmones y la piel, del mercurio inhalado por el cuerpo absorbe un 82%, depositando gran parte en el sistema nervioso, mientras que del ingerido sólo se acumula cerca del 7%; por eso la inhalación es la fuente más peligrosa. Además se sabe que después de comer el nivel de mercurio en la sangre sube en las personas que tienen empastes con amalgama, porque se sueltan iones de mercurio. Éstos primero son absorbidos por la saliva y a través del sistema digestivo llegan a la sangre, donde se pueden medir. Si esta saliva fuese agua estaría prohibido su consumo, muchas veces, por lo menos dos horas después de comer, personas con 8 empastes tienen de 100 a 200 veces más mercurio en el aire de exhalación de lo que está permitido en instalaciones industriales. Estos vapores se ingieren parcialmente a través de las vías respiratorias y así pasan también a la circulación sanguínea, donde se transforma una parte del vapor de mercurio en óxido de mercurio, una forma del mercurio aún más tóxica que el vapor. Y puesto que órganos como el hígado, la bilis, el corazón y el riñón trabajan como un filtro sanguíneo, es aquí donde se almacena principalmente el metal tóxico (Saiful *et al.*, 2015).

El mercurio traspasa sin dificultad la barrera hematoencefálica llegando así directamente al cerebro, perturbando en su camino esta barrera, lo que facilita la entrada de otras toxinas, que normalmente no pueden entrar. Estas toxinas provocan síntomas propios que no tienen que ver con la intoxicación por mercurio, pero que éste facilita indirectamente. Gran parte de las enfermedades conocidas del sistema nervioso no están provocadas primariamente por el

mercurio en el cerebro, sino por las intoxicaciones e infecciones secundarias que llegan al cerebro por la defectuosa barrera hematoencefálica. Eso quiere decir que para tratar enfermedades neurológicas es imprescindible quitar el mercurio para estabilizar el funcionamiento de la barrera hematoencefálica, inhibiendo así la entrada de sustancias patógenas (Kuramshina *et al.*, 2014).

Cuando masticamos se desprenden partículas de amalgama en su forma metálica todavía poco inocua, que se tragan. La flora intestinal natural transforma estas partículas y el vapor de mercurio en la forma más peligrosa del metal: mercurio metílico (50 veces más venenoso), este proceso se llama metilación. Numerosos experimentos y estudios confirman este proceso; aun así es desmentido por muchos dentistas y odontólogos. Desde el intestino pasa el mercurio metílico a la circulación sanguínea y finalmente a los órganos y nervios. También se fija mucho mercurio en los huesos y en las articulaciones. El mercurio también se difunde en 48 horas a través de las encías, las raíces dentales y la mandíbula hasta el sistema nervioso central (Castillo, 2005).

La primera conclusión del estudio fue que los niveles de metales pesados en los productos cárnicos producidos en Castilla y León – España, no son preocupantes desde el punto de vista de la salud humana, ya que ninguno de los valores sobrepasó los límites máximos de residuos fijados en la legislación europea, y avalan la buena calidad alimentaria del vacuno criado en Castilla y León. Los investigadores destacan que, en la mayoría de las muestras analizadas, los resultados fueron inferiores a los de estudios previos realizados en lugares donde no había contaminación de ningún tipo. Los niveles de metales de la mayoría de muestras de carne analizadas no sobrepasan los límites máximos

fijados por ley. Los resultados indicaban que el mercurio era casi inapreciable en las producciones cárnicas de esta comunidad autónoma, ya que no se detectó este metal en hígado, riñón, sangre y músculo en casi ninguna de las muestras analizadas. Otra conclusión importante fue que, en el plano hepático y renal, se confirmó una estrecha correlación entre la edad de los animales y metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, en el plano muscular, con el arsénico. Este hecho demuestra que, de forma general, estas sustancias tienden a acumularse con la edad en el animal y que la fuente de contaminación es común e influye en casi todos los animales estudiados (López *et al.*, 2003).

Asimismo, en la trucha reportan los niveles de mercurio menores a 0.025 mg/kg o 25 µg/kg, concentración que está muy por debajo al nivel máximo permitido (Astorga *et al.*, 2010).

El estudio muestra la primera serie de datos sobre la concentración de mercurio en el tejido muscular de pejerrey (*Basilichthyes bonariensis*), el carachi (*Orestias*) y 2 tipos de bagre indígena (*Trichomycterus*). Los niveles de mercurio en el pejerrey incrementaron con el tamaño de los peces, aunque esta relación era menos evidente para el carachi menor. El pejerrey y carachi son importantes peces comestibles para los residentes locales. Un muestreo del Río Ramis que es el mayor afluente al Lago Titicaca, se llevó a cabo en un intento de determinar si las emisiones de mercurio de la minería artesanal del oro, podrían ser una fuente importante de contaminación de Hg al Lago Titicaca. Aunque las concentraciones muy elevadas de Hg y otros metales pesados se documentaron en los arroyos de cabecera cerca de los centros mineros de La Rinconada y Cecilia, la cantidad de Hg en el Lago Titicaca podría atribuirse a la minería de la

cuenca Ramis que estaba por debajo del límite cuantificable en julio 2002. Esto no disminuye la amenaza localizada a la exposición al mercurio para los propios mineros de oro artesanales, así como sus familias. Es probable que la mayor parte del transporte cuesta abajo de Hg y otros metales traza de los centros mineros de cabecera se produce como sedimento en suspensión durante los períodos estacionales de alto flujo (Christopher *et al.*, 2006).

En un estudio realizado con muestras de dos épocas desde La Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco (cuenca de Rio Ramis) encontraron los niveles de concentración de mercurio en cabello humano menores al límite de determinación 0.02 mg/kg. Similar resultado obtuvieron en la leche cruda de vacas, que los niveles de mercurio están por debajo del límite de determinación establecido como 0.02 mg/kg; además los investigadores mencionan que las concentraciones se aproximan a cero por cuanto no fue posible determinar un valor. Asimismo, en la trucha reportan los niveles de mercurio menores a 0.030 mg/kg, este valor es muy por debajo de los valores permisibles que señala la legislación Española, porque los niveles máximos permitidos oscila de 0.5 a 1 mg/kg (Rodríguez *et al.*, 2005).

Se pretendió cuantificar las concentraciones de mercurio en el ganado de dos zonas: una rural y otra industrial - minera. La mayoría de las muestras (79.5-96%) en hígado, músculo y sangre no contienen residuos detectables, en cambio el mercurio suele ser detectado en el riñón (62.4 - 87.5% de las muestras). Las concentraciones de mercurio en riñón fueron significativamente mayores en los terneros de la zona rural que en los animales de la zona industrializada-minera. Los valores no parecen ser un riesgo para la salud humana o animal (López *et al.*, 2003).

#### 2.2.4. Plomo

Según informaciones de las normas indican que la concentración del plomo en las carnes de ovino, se encuentran establecidas como límite permisible dentro de 0.1 a 0.5 mg/kg de carne para la alimentación humana (Reglamento CE N° 1881/2006. Comisión del 19 de diciembre que fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios; CODEX STAN 193-1995 2009. Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos Rev. 2-2006 (NOM-1994).

Los resultados de estudios realizados en la cuenca de Ramis – Titicaca con muestras de 2 épocas desde Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco, no detectaron los niveles de concentración de plomo en la leche cruda de vacas, que cuya concentración está muy por debajo de los límites de determinación (0.56 mg/kg) y los investigadores consideran como no habido. Mientras, en la trucha reportan los niveles de plomo en 0.41 mg/kg, este valor es superior a los valores de límite de determinación de 0.1 mg/kg o la norma Española indica que los límites máximos permitidos está en 5 mg/kg; Asimismo, los niveles de concentración de plomo en cabello humano es variable, alcanzando 6.5 mg/kg en Rinconada, 2.4 mg/kg en Progreso, 0.78 mg/kg en Crucero y 0.82 mg/kg en Taraco, estos indicadores son superiores al límite de determinación 0.56 mg/kg y excede los límites establecidos ( $0.960 \pm 0.86$  mg/kg), y por otra parte la Unión Europea ha elaborado un reglamento que establece límites de plomo en alimentos de 1.0 mg/kg; y según la EPA los suelos de Ananea muestra concentraciones de 9.4 a 38 mg/kg que está por debajo del valor referencial de 85 mg/kg, comparado a los estándares de calidad de suelos de la Unión

Europea, donde los límites permisibles de UE es de 50 a 300 mg/kg (Astorga *et al.*, 2010).

El plomo es un elemento tóxico que se acumula en el organismo animal, según el nivel y duración de la exposición, puede afectar múltiples sistemas orgánicos. Los signos clínicos de intoxicación en mascotas en su mayoría están relacionados con el sistema gastrointestinal, sistema nervioso central y dependerá de la intensidad y tiempo de exposición al metal: en (a) envenenamiento crónico: signos gastrointestinales son notables debido a la exposición constante de los tejidos con bajas concentraciones de plomo y (b) agudo: las señales nerviosas se destacan con mayor evidencia en animales jóvenes. Los signos clínicos más comunes durante la infección aguda son vómitos, diarrea, letargo, faltos de apetito, dolor abdominal, regurgitación, debilidad, convulsiones o ceguera. Además de la mencionada anteriormente, los estudios en animales han demostrado que el plomo produce tumores. Algunos alimentos destinados a los gatos que contengan ingredientes derivados de productos de mar que permiten la bioacumulación de metales pesados (Vildes *et al.*, 2009).

Los resultados del SENASA reporta en el 2011 metales pesados como el plomo en los ovinos de las comunidades de dos cuencas, tales como el Río Salado y Cañipía de la provincia de Espinar - Cusco, en 04 muestras de hígado encuentran de 0.101 a 0.142 mg/kg, en riñón de 0.076 a 0.125 mg/kg y en la carne 0.00 a 0.059 mg/kg; mientras El Laboratorio CERPER S.A. registra niveles de concentración de plomo en el hígado 0.034 mg/kg, en riñón 0.034 mg/kg y en la carne 0.034 µg/kg; el arsénico no fue detectado en vísceras ni en la carne (Xstrata Tintaya S.A. 2009).

En un estudio de línea base en el año 2009, realizada por la oficina del Medio Ambiente del Proyecto Antapaccay – Fundación Tintaya, en coordinación con el área de Sanidad Animal analizaron muestras de carne y vísceras de ovinos de la Provincia de Espinar; donde no detectaron niveles de plomo en el riñón de los animales criados en áreas con influencia minera y sin actividad minera; mientras en el hígado proveniente de áreas de actividad minera encuentran 0.095 mg/kg y en áreas sin actividad minera 0.646 mg/kg (Vicaria de la Solidaridad-prelatura 2011).

El suelo es considerado uno de los depósitos principales de plomo, debido a que este contaminante puede permanecer por tiempo indefinido allí, y es una de las principales fuentes de contaminación de los pastos, cultivos y agua. El plomo en el suelo puede estar de diversas formas: (a) relativamente insoluble (sulfato, carbonato u óxido), (b) soluble, (c) adsorbida, (d) y precipitado adsorbido, como sesquióxido (e) adsorbido a material coloidal orgánica o (f) complejado en el suelo. En los suelos cultivables, los niveles de plomo pueden estar de 20 a 80 mg/g. El reglamento de la UE para plomo de control establece el límite máximo de 5 mg/kg de los alimentos, que cuyo contenido de humedad aproximadamente es 12%. (Legislación con actualización - Agosto 2012 (DIGESA. 2008).

Los niveles de concentración de plomo en el hígado, riñón, músculo y sangre de ganado vacuno (terneros y vacas) oscilan entre 5.47 y 58.3 mg/kg peso fresco. Las concentraciones, en la mayoría de los tejidos fueron significativamente más altas en las vacas que en los terneros. Los niveles de plomo en el ganado vacuno en Galicia – España no constituyen un riesgo para la salud animal (Hernández, 2011).

Estudios de la concentración de plomo en hígado, riñón y músculo vacas del NW de España, reportan valores más altos en el hígado del ganado lechero (51.6 y 43.7 mg/kg), que del ganado de carne (35.7 y 14.7 mg/kg). Tanto en riñón, como en músculo los residuos fueron similares en ganado de carne como de leche. La mayor acumulación de metales en el hígado de ganado lechero podría estar relacionada no sólo al aumento de la ingesta alimentaria, sino también al mayor metabolismo hepático asociados con la producción de leche (López *et al.*, 2003).

Investigadores de la Facultad de Veterinaria de León y de Santiago de Compostela España en los últimos años realizaron monitoreo de carne y leche procedentes de ganado bovino y ovino de las Comunidades Autónomas de Castilla y León, Asturias y Galicia. En las muestras de leche de las vacas recogidas en diferentes granjas de la provincia de León presentaron una concentración media de plomo de 4.34 mg/kg, de aluminio de 192.16 mg/kg, de cromo de 69.28 mg/kg, de níquel de 45.11 mg/ kg, de molibdeno de 45.20 mg/kg, de zinc de 4860 mg/kg, de hierro de 300 mg/kg, de manganeso de 31.82 mg/kg y de cobre de 63.51 mg/kg. Mientras los elementos como el mercurio, el arsénico y el cadmio en las muestras de leche, tanto individuales como de tanque, registraron concentraciones por debajo del límite de detección por la metodología empleada. Los diferentes metales pesados analizados estuvieron dentro de los rangos señalados por otras investigaciones, por ello el riesgo para la salud del consumidor de leche de vaca procedente de explotaciones de la provincia de León es muy bajo, aunque no nulo (Monroya *et al.*, 2014).

**Tabla 1: Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua  
– D.S. N° 004-2017-MINAM**

AGUA PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS ANIMALES			
Parámetros	Unidad de Medida	Riego de vegetales	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05

Fuente: Diario Oficial "El Peruano".

**Tabla 2: Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N°  
031-2010-SA**

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Arsénico	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010

Fuente: MINSA Febrero 2011.

**Tabla 3: Análisis físico químico de muestras de aguas subterráneas y superficiales – Rinconada**

N°	Lugar	pH	Pb	As	Hg
1	Riachuelo Lunar al final de la población y entrada a Pampa M.	4,15	0,01	<0,01	<0,01
2	Final de Pampa Molino y entrada a laguna	5,68	10,25	0,23	0,0016
3	Canal Vizcachani a Minero Perú	3,67	<0,01	0,15	<0,001
4	Pozo con agua (manantial)	5,68	<0,01	<0,01	<0,001
5	Salida del lago Lunar (deshielo)	3,85	<0,01	0,01	<0,001
6	Manantial a 30 del centro	4,24	<0,01	<0,01	<0,001
7	Bocamina del Balcón de Oro (aguas ácidas)	3,97	<0,01	0,01	<0,001

Fuente: (Muñoz et al., 1999)

**Tabla 4: Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentación animal (OMS. Reglamento Sanitario Internacional 2005)**

Categorías	Niveles máximos(mg/kg)	Metales
Alta toxicidad	10	Cd, Hg y Se
Toxicidad	40	Ba, Cu, Pb, Mo, V y W (Tg)
Moderada toxicidad	400	At, As, Y y Ni
Leve toxicidad	1000	Al, B, Br, Bi, Cr, Mn y Zn

Fuente: OMS-2005.

**Tabla 5: Contenidos máximos (mg/Kg) de metales pesados en los productos alimenticios**

Metales	Especie animal	Valores (mg/kg)
Plomo	Carne: bovino, ovino, cerdo y aves	0.10
	Despojos: bovino, ovino, cerdo y aves	0.50
Mercurio	Productos de pesca y carne de pescado	0.50 a 1.0

Fuente: (Reglamento C.E., 2006).

**Tabla 6: Contaminación de metales pesados (mg/L) en zona alta y estándares de calidad de suelos según UE y EPA**

Metal	Represa sillacunca	Ananea	Rinconada (relave)	Lunar de oro-relave	Límite permisible mg/kg (UE)	Niveles promedios ppm (EPA)
Pb	< 0.0056	< 0.0056	< 0.0056	0.065	50 – 300	2.6 – 25
As	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01	----	5.5 – 13
Hg	< 0.00027	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	1 – 1.5	30 – 160

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010)

**Tabla 7: Contaminación de metales pesados en sedimentos (mg/kg) en cordillera**

Metales	Pampa Blanca	Ananea	Rinconada (relave)	Lunar de oro-relave	Límite de determinación
Plomo	32	18	26	38	0,10
Arsénico	75	39	66	53	0,10
Mercurio	0,03	< 0.02	0,15	38	0,03

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010).

**Tabla 8: Contaminación con metales pesados en suelos (mg/kg) en cordillera**

Metales	Sillacunca	Ananea	Rinconada (relave)	Lunar de oro - relave	Interpretación
Plomo	29 – 10	57 – 9.4	222 – 15	78 – 32	Muy alto
Arsénico	60 – 30	69 – 29	130 – 32	105 – 41	Muy alto
Mercurio	0,09 – 0,02	0.12- 0,02	0,12 – 0,07	0,12 – 0,08	Muy alto

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010).

**Tabla 9: Contaminación con metales pesados en vegetales (mg/kg) en cordillera**

Metales	Pampa Blanca	Pampa Blanca	Silla cunca	Lunar de oro-relave	Límite de determinación
Plomo	0,9	1,1	0,96	< 0,1	0,10
Arsénico	< 0,10	2,3	< 0,10	< 0,10	0,025
Mercurio	0,06	0, 034	0,04	0,04	0,03

Pastos naturales: Calamagrostis, Distichia sp., Senecio sp., Trifolium amabile

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010).

**Tabla 10: Contaminación con metales pesados en sedimentos (mg/kg) en zona intermedia**

Metales	Crucero	Progreso	Azángaro	Taraco	Límite de determinación
Plomo	21	19	18	19	0,10
Arsénico	29	35	31	53	0,10
Mercurio	0,065	0,08	0,09	38	0,04

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010).

En muestras de carne cruda fresca de Llamas de Potosí y Oruro, determinaron el contenido de plomo, cadmio, cobre y zinc, mediante espectrofotómetro de absorción atómica AA-10. En carnes de Potosí reportan plomo de 0.27 – 0.79 µg/kg, Cadmio de 0.00 – 0.04 mg/kg, las mismas que superan el nivel máximo permisible, establecido por normas internacionales para la carne cruda. En carnes de la ciudad de Oruro el plomo se encuentra entre 0.035 - 1.590 mg/kg, cadmio 0.037- 0.128 mg/kg, zinc 18.5 - 66.2 mg/kg, y cobre 0.462 a 1.194 mg/kg, los cuales superan los límites máximos permisibles por normas internacionales (Caba *et al.*, 2009).

Estudios realizados sobre concentraciones de plomo y cadmio en carne de ovino de dos rastros del estado de Puebla México reportan 0.009 a 0.091 mg/kg para cadmio, lo cual no supera los valores establecidos como permisibles para consumo humano. Por el contrario, altas concentraciones de plomo superan los 0.5 mg/kg en muestras de uno de los rastros analizados ( $P \leq 0.01$ ), lo que representa un problema potencial para la salud humana y una limitante para la exportación, lo cual se encuentra en los animales, los suelos y alimentación destinada a estos, así como la edad de los mismos. No existe diferencias estadísticas significativas entre diferentes muestreos realizados sobre la concentración de plomo (ANDEVA  $F_c = 0.12 > F_t = 0.8881$ ); donde la concentración media fue de 0.18 mg/kg; es clasificada dentro del intervalo permisible para consumo humano. La NOM-004-ZOO-1994 (NOM-004-ZOO-1994, grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovino, caprino, cérvido, equino, ovino y porcino. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo establece como concentración límite permitida de

plomo 0.50 mg/kg. Si bien, este estudio sienta un precedente en el estudio de metales pesado en ovinos; y en función de los resultados obtenidos, podría afirmarse que al menos la concentración de plomo podría ser un riesgo potencial para la salud humana y siendo un factor limitante para la exportación. Podría recomendarse la implementación de análisis de puntos críticos de control utilizando HACCP para determinar los factores que minimicen la concentración de plomo en carne de ovino y el establecimiento de un programa de buenas prácticas agropecuarias; es decir, poder tenerlos con mayor frecuencia y orden así como mayor información sobre la procedencia y manejo que se le da a los animales durante su crecimiento que permitiría tener mayor control sobre los productos que éstos elaboran y a su vez tener una trazabilidad de los mismos (López *et al.*, 2000).

Los resultados de los niveles de Plomo no mostraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre los músculos ( $1.6 \pm 1.9$  ppm/kg), riñón ( $1.7 \pm 1.8$  ppm/kg) e hígado ( $1.4 \pm 1.8$  ppm/kg). Un elevado porcentaje de las muestras, que osciló del 40 % (hígado) hasta el 88 % (músculo) estuvieron por encima del límite máximo tolerable por esta NOM. El contenido de Cd fue menor a los límites permisibles en la NOM. No se encontró mercurio y arsénico, ni DDT y sus metabolitos, sólo se encontró un efecto significativo en el contenido de plomo atribuible al mes de muestreo ( $P \leq 0.01$ ). Por lo que respecta a los meses de enero 2002 a abril de 2002, el promedio del contenido de Pb está por debajo de los límites estipulados en la NOM, para cualquier tipo de muestra; en los meses de junio, septiembre y diciembre, se encuentra ligeramente por arriba de lo permisible para el músculo, pero inferior a lo permisible tanto para el riñón como el Hígado. En el

resto de los meses muestreados el contenido total de Pb encontrado está por encima de 2 ppm, que es la mayor cantidad permisible para el riñón como el hígado y obviamente también para músculo (Pelayo, 2011).

En el distrito de Bogra, Bangladesh, en los alimentos como carne, huevos, pescado, leche, verduras, cereales y frutas encontraron los niveles de metales pesados y evaluaron el riesgo a la salud de los adultos y niños, mediante espectrómetro de masas de plasma seguido por digestión ácida. En general, detectaron en verduras, cereales y frutas de 0,058 hasta 10; de 0,036 hasta 25; de 0,045 hasta 40; de 0,001 a 5,5 y 0,005 a 13 mg/kg para Cr, Ni, Cu, Cd y Pb, respectivamente; y no detectaron en alimentos de origen animal. Al evaluar riesgos de salud en términos de coeficiente de peligro objetivo y riesgo carcinogénico objetivo (TR) mostraron que la ingesta de algunos metales a través de los alimentos eran más altos que los valores recomendados, en consecuencia, el consumo de los alimentos puede estar asociado con riesgos para la salud no cancerígenos. No obstante, también encuentran niveles elevados de As y Pb y está asociado con riesgo carcinogénico de los consumidores (Saiful *et al.*, 2015).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

El trabajo de investigación fue realizado en las comunidades de Pampa Blanca con actividad minera y Trapiche sin actividad minera pertenecientes al distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región Puno; cuenta con una superficie total de 4, 560 hectáreas – 45.6 km<sup>2</sup>, con una distancia de 200 km. desde la ciudad de Puno y con una altitud de 4 653 msnm., el clima es frío en la tarde y en la madrugada; bien marcada sobre todo en los meses de Junio y Julio, con heladas que limitan la siembra de productos agrícolas, la superficie cuenta con pastos naturales como Calamagrostis, Distichia sp., Senecio sp., Trifolium amabile y cuenta con ríos provenientes de los deshielos de la cordillera. Temperaturas en el mes de noviembre, quizá es el mes más cálido, que llega hasta 20°C. La media máxima en noviembre y diciembre es de 9.6°C., la menor en junio con 3.5°C. La media anual es de 7.6°C. La temperatura mínima media absoluta en julio con -13.1°C. De diciembre a Marzo corresponde el 70% de las precipitaciones totales anuales. Límites: Por el Norte: Distrito de Sina y Cuyo cuyo Sandia, Por el Sur: Distrito de Cojata y Quilcapuncu, Por el Este: República de Bolivia, Por el Oeste: Distritos de Putina y Quilcapuncu. Las muestras han sido procesadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Mayor San Marcos de la ciudad de Lima.

#### 3.2. Material de estudio

Las familias de las comunidades de Trapiche y Pampa Blanca poseen de 60 a 110 alpacas en el proceso productivo, de estas las alpacas hembras tienen una

parición de 48 %, mortalidad de crías 20 %; la tasa de saca no pasa del 10% anualmente; por tanto cada familia vende en el año un promedio de 5 a 10 animales, entre consumo familiar y venta a los comerciantes intermediarios. Considerando estos indicadores productivos, se obtendrá 40 muestras para ser analizado para cada metal pesado, que consiste en 8 músculos y 32 de los animales fueron menores a 2 y mayores a 7 años; lo cual se detalla en tabla siguiente.

### 3.2.1. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra está influenciado por la varianza ( $\sigma^2$ ), las diferencias de medias ( $\delta$ ), el nivel de significancia ( $\alpha$ ) y la potencia de la prueba ( $1-\beta$ ); la fórmula fue el siguiente:

$$r \geq 2[Z_{\alpha/2} + Z_{\beta}]^2 \left(\frac{\sigma}{\delta}\right)^2$$

$$r \geq 2[1,96 + 0,84]^2 \left(\frac{1,3}{1,8}\right)^2 = 8,20$$

Se determinó el tamaño de la MUESTRA:  $n = Z^2 S^2/d^2$

Donde:  $n =$  N° de muestra

$Z^2 =$  Nivel de confianza estandarizada

$S^2 =$  Variancia

$d^2 =$  Precisión o error permisible

Reemplazando:

$$n = (1.96)^2 (0.32)^2 / 0.01 = 39.34$$

**Tabla 11: Distribución de muestras de carne y vísceras de alpacas para el estudio**

Zonas de estudio	Con Minería		Sin Minería		TOTAL	Total de muestras
	Menor a 2 años	Mayor a 7 años	Menor a 2 años	Mayor a 7 años		
Músculo y vísceras	2 Alpacas	2 Alpacas	2 Alpacas	2 Alpacas	08 Alpacas	
Músculo	2	2	2	2	08	
Hígado	2	2	2	2	08	
Pulmón	2	2	2	2	08	40
Riñón	2	2	2	2	08	
Hueso	2	2	2	2	08	

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Obtención de muestras de carne y vísceras de alpaca

- Coordinación con los criadores para la adquisición de alpacas en las comunidades del distrito de Ananea.
- Beneficio, desuello y evisceración de los animales beneficiados
- Se obtuvo 250 gramos de muestra a nivel del músculo de brazo y vísceras como el hígado, pulmón, riñón y hueso; previo pesado en una balanza de 2000 g.
- Las muestras han sido embolsadas y rotuladas con su identificación (edad animal y procedencia).
- Las muestras previa congelación fueron trasladadas a la ciudad de Lima en una caja de tecnopor con hielo.

### 3.3.2. Determinación de arsénico, plomo, mercurio y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito

Las 40 muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) SHIMADZU AA-6800 Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Mayor San Marcos de la ciudad de Lima. Los reactivos, materiales, equipos, preparación de la muestra y la medición, se adjunta (Anexo 1).

#### Reactivos:

- Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Estándar certificado de arsénico de 1000mg/L
- Estándar certificado de cadmio de 1000mg/L
- Estándar certificado de mercurio de 1000 mg/L
- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  concentrado ultrapuro, para preparación de estándares.
- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  concentrado para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Agua desionizada.

#### Materiales

- Fiolas de 10 mL, 25 mL y 100 mL clase A
- Pipetas de 5 mL y 10 mL, clase A

- Probetas de 10 mL
- Vasos de precipitados
- Papel de filtrado de celulosa Whatman Nro. 40.
- Embudos de líquidos.

### Equipos

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800
- Horno de grafito GFA-EX7
- Inyector automático, Autosampler ASC-6100
- Computadora
- Plancha térmica
- Balón de Argón, 99.999% de pureza
- Balanza analítica.

### Preparación de la muestra:

La muestra se corta en pequeños trozos con ayuda de un bisturí de alimentos, luego, se procedió a pesar las muestras de carne y vísceras de alpacas, se pesa en vasos de precipitado limpios y secos aproximadamente 1 g, se procede a llevar a digestión acida con 20 ml de ácido nítrico, una vez la solución haya aclarado, se lleva a secado, se deja enfriar, se disuelve en agua, se filtra y se lleva en una fiola a un volumen de 50 ml con agua desionizada. Para el caso de huesos, se pesó 2 g en crisoles de porcelana, limpios y secos Luego se aumenta la temperatura a 150 °C por unas horas más, y se lleva a una mufla a calcinar a 650 °C. Cuando las cenizas estén completamente blancas, la muestra es sometida a una digestión ácida con 3 mL de  $\text{HNO}_3(\text{CC})$  y se lleva a calentamiento a 90 °C en una plancha eléctrica. Llevar casi hasta sequedad, y se agrega ácido

en caso la solución conserve aún alguna coloración. Una vez la solución haya aclarado, se lleva a sequedad, se deja enfriar, se disuelve en agua, se filtra en una fiola a un volumen de 50mL con agua desionizada, Se preparó simultáneamente un blanco digerido sustituyendo la muestra por agua ultrapura y realizar la digestión como se ha descrito con anterioridad.

**Medición:**

Se encendió el equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800, así como también el horno de grafito 6FA-EX7 con inyector automático (autosampler) y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de plomo. Siguiendo el procedimiento de operación del horno de grafito GFA-600, se verificó la calibración del instrumento, asegurando el alineamiento del autosampler antes de iniciar la corrida analítica. Usando el control manual del brazo muestreador, se hizo balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco. Luego se colocó en el autosampler, el estándar de trabajo de 20 µg/L, blanco reactivo y las muestras a los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente. Programar la calibración automática y chequear la curva de calibración.

**3.4. Análisis Estadístico**

Los datos cuantitativos continuos de las variables estudiadas como niveles de arsénico, plomo, mercurio y cadmio fueron interpretados mediante medidas de tendencia central y de dispersión.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO

En la tabla 12, se muestra los resultados de la variable estudiada en músculos y vísceras de las alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad, en zonas con y sin actividad minera del distrito de Ananea.

**Tabla 12: Niveles de concentración de arsénico ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea**

Zonas	Edad animal	Nº de alpacas	Nº de Músculos y vísceras	Total de muestra	Menor a 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Con actividad Minera	2 años	02	05	10	N.D.
Sin actividad Minera	7 años	02	05	10	N.D.
Con actividad Minera	2 años	02	05	10	N.D.
Sin actividad Minera	7 años	02	05	10	N.D.

En la tabla 12, observamos que la variable arsénico no se detectó en las muestras de los músculos ni en vísceras de las carcasas de alpacas de menores a 2 y mayores a 7 años de edad, criadas en zonas con y sin la actividad minera; lo cual, indica que existen valores menores a 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de este metal y no tuvieron efecto en la variabilidad de este indicador por efecto de zonas de crianza (con y sin actividad minera) ni edad de los animales; estos resultados (N.D.) obtenidos mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito es confiable, ya que el equipo es muy sensible, porque cada uno de las muestras fueron repetidos por dos veces para obtener un aproximado de 0.0001  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , estos valor no detectable no supera al reporte de la Unión Europea (U.E.),

que el contenido máximo permisible de Arsénico oscila de 0.05 a 1.25 mg/kg en productos alimenticios.

Similar resultado registra (Vicaria de la Solidaridad-prelatura de Sicuani, 2011) mediante SENASA - Lima, en muestras del hígado, riñón y en la carne de los ovinos de dos años de edad criadas en zonas con actividad minera de la Provincia de Espinar – Cusco, donde obtuvieron un valor no detectable (N.D.) de este metal arsénico; mientras el Laboratorio CERPER S.A. Lima, encuentra valores menores a 0.06 mg/kg en muestra de hígado y riñón de los ovinos; no obstante que, estos no llegan a sobrepasar valores establecidos como permisibles para consumo humano. Igualmente (Xstrata Tintaya, 2009), reporta en muestras de ovinos en un ámbito control sin actividad minera valores de arsénico en concentraciones por debajo del límite de detección. Esta similitud indica que, tanto las alpacas como los ovinos no estarían asimilando a su organismo mediante la cadena trófica, debido a que los pastizales contaminados consumidos por los animales no permanecen en todo el año, porque en época de estiaje desaparece por la helada y a falta de humedad. También podemos atribuir a la edad del animal, porque las alpacas se benefician menores a 5 años, es por eso que no bioacumularía este bioindicador y por ende que no se evidencia el metal estudiado. A esto respalda (Pelayo, 2011) indicando que la edad de los animales es un factor que influye, debido a que la bioacumulación de metales pesados es conforme avanza la edad de los animales; como estos animales en la mayoría no supera edades mayores a 5 años en permanecer en el hato, es por ello que no mostrarían valores detectables, muy a pesar de que los suelos de la cordillera de Ananea contienen arsénico.

En Argentina (Ponce, *et al.*, 2006) estudiaron arsénico total e inorgánico en músculo y hígado de las Llamas, mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con generación de hidruros. Los resultados que se reportan a nivel de músculo procedente de Llamas de Abra Pampa zona no contaminada encontraron niveles de arsénico total de  $0,132 \pm 0,043$  ng/g, similar a los hallados en las llamas de Rinconadillas zona contaminada  $0,114 \pm 0,062$  ng/g. Sin embargo, en la zona contaminada El Moreno los niveles de arsénico se duplican  $0,233 \pm 0,041$  ng/g. Referente al arsénico inorgánico los contenidos en el músculo de las muestras de Abra Pampa fue  $3 \pm 1$  ng/g y Rinconadillas  $4 \pm 2$  ng/g ( $P \geq 0,05$ ). Las bajas concentraciones de arsénico inorgánico indican que la carne de llama no es un alimento de riesgo para los consumidores porque en ninguno de los casos exceden el límite máximo permisible por la legislación Argentina. Los contenidos de arsénico total en el hígado superan al de los músculos en 1,7 en Abra Pampa y 1,5 en El Moreno. La mayor acumulación del arsénico en hígado es atribuible a que, es el principal órgano implicado en los mecanismos de detoxificación del arsénico. La diferencia entre Argentina que reportó valores en ng/g que es un indicador mínimo y en el distrito de Ananea que no detecta, se debería a diferente actividad económica, ecosistema y sistema de manejo que se encuentran sometidos los animales; porque los suelos Argentinos registran niveles de concentraciones de arsénico muy elevados, así como registra también los suelos de Ananea valores elevados (Astorga *et al.*, 2010).

Nuestros valores encontrados son inferiores a los resultados de (Astorga *et al.*, 2010) en un estudio realizado en la cuenca de Ramis – Titicaca con muestras de 2 épocas desde Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco, donde los niveles de concentración de arsénico en leche cruda de vacas se encuentra por

debajo del Límite de Determinación establecido como  $0.0001 \mu\text{g/L}$ ; debido a que del suelo al pasto muy poco se absorbería y por ende que no refleja en el producto leche, porque la crianza de vacas ha incrementado con fines de producir leche en la zona de Progreso y Taraco parte baja de la cuenca de Ramis – Titicaca. Asimismo, en la trucha reportan los niveles de arsénico menores a  $0.025 \text{ mg/kg}$ , concentración que está muy por debajo al nivel máximo permitido y en el cabello humano también registraron valores menores al límite de determinación  $0.1 \text{ mg/kg}$ . Estos resultados encontrados en diferentes especies como en la leche de las vacas, trucha y cabello de humanos estudiados en la cuenca Ramis – Titicaca, respaldan al indicador arsénico en los músculos y vísceras de las alpacas, que no fue detectado en el presente estudio; estos indicadores nos coadyuva a comentar que muy a pesar de que el suelo de ésta cuenca se encuentra con valores altos de arsénico no está relacionado con la cadena trófica entre consumo de vegetales y el animal; que este último actuaría mediante su organismo la destoxificación como defensa propia del organismo. Sin embargo los suelos, sedimentos y los vegetales de la zona cordillera de Ananea están por debajo de los estándares de calidad de suelos de la Unión Europea, donde los límites permisibles para arsénico son de  $5.5$  a  $13 \text{ mg/kg}$ .

Una conclusión importante que manifiesta (Pelayo, 2011) que, en el plano hepático y renal, confirman una estrecha correlación entre la edad de los animales y metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, y en el plano muscular, con el arsénico. Este hecho demuestra que, de forma general, estas sustancias tienden a acumularse con la edad del animal y que la fuente de contaminación es común e influye en casi todos los ejemplares estudiados. Y no

obstante que, (Gonzales *et al.*, 2009), registra concentraciones por debajo del límite de detección de este metal pesado arsénico en las muestras de leche de cada una de las vacas o del tanque, y los otros metales pesados analizados estuvieron dentro de los rangos señalados por otras investigaciones, es por ello el riesgo para la salud del consumidor, la leche de vaca procedente de explotaciones de la provincia de León es muy bajo, aunque no nulo. Diferencia al no detectarse en carne y vísceras de la carcasa de alpaca comparada al de la leche de vacunos, es debido al diferente nivel de concentración de arsénico que tiene los suelos de España y Ananea – Perú.

#### 4.2. CONCENTRACIÓN DE CADMIO

La tabla 13 muestra los resultados de la variable estudiada en músculos y vísceras de las alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad, criadas en dos zonas del distrito de Ananea con y sin actividad minera.

**Tabla 13: Niveles de concentración de cadmio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea**

Zonas	Carne y vísceras	Alpacas 2 años		Alpacas 7 años a más	
		n	Prom. $\pm$ D.S.	n	Prom. $\pm$ D.S.
Con actividad minera	Músculo	2	N.D.	2	207.21 $\pm$ 92.3
	Hígado	2	N.D.	2 (1)	15.877
	Pulmón	2	76.23 $\pm$ 58.99	2	134.54 $\pm$ 17.59
	Riñón	2	N.D.	2	N.D.
	Hueso	2	134.76 $\pm$ 42.54	2	408.54 $\pm$ 5.82
Sin actividad minera	Músculo	2	N.D.	2	119.87 $\pm$ 84.28
	Hígado	2	N.D.	2	N.D.
	Pulmón	2	N.D.	2	N.D.
	Riñón	2	N.D.	2(1)	32.02
	Hueso	2	N.D.	2(1)	392.97

En la tabla 13, se observa las concentraciones de cadmio en músculos, pulmón, hueso y hígado con valores que oscilan de 15.877 – 408.54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , en las alpacas con edades mayores a 7 años criadas en zona de influencia minera, y las alpacas de 2 años sin influencia minera no se encontró en ninguna muestra, pero en animales mayores de 7 años se determinó 119.87, 32.02 y 392.97  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en el músculo, riñón y hueso, respectivamente; estos valores encontrados en este estudio no superan a los límites permisibles reportados y recomendados por (CE, 2006). En general los niveles de concentración de cadmio son evidentes en carne y vísceras de alpacas de la zona de Ananea, pero está por debajo del límite permisible para el consumo humano, como consta la Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos Rev. 2 – 2009 (CE, 2006). Sin embargo con este resultado se evidencia el papel de las alpacas como biomonitor de la contaminación por cadmio en la cadena productiva de carne, en donde un ambiente contaminado, unido al desconocimiento de los criadores podría conllevar a la alteración de productos cárnicos que repercuten en la salud humana en el futuro; ya que cada vez aumenta el número de los pobladores mineros con fines de trabajo dentro del área de influencia de las actividades como es la minería y el desconocimiento sobre el impacto medio ambiental podría exponerse a niveles de cadmio, que es un riesgo para la salud de esta población. La peligrosidad de cadmio radica que no son ni química ni biológicamente degradables, de ahí que se acumulan tanto en el medio ambiente como en los organismos. Una vez que se encuentra en el entorno sobre todo por las actividades que implementan el ser humano, pueden permanecer en el medio ambiente cientos de años, contaminar el suelo y

acumularse en los pastos y tejidos orgánicos y, por lo tanto, aumentar su consecuencia a medida que se avanza en la cadena trófica.

### 4.3. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO

La tabla 14 muestra los resultados de la variable estudiada en músculos y vísceras de las alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad, criadas en zonas con y sin actividad minera, del distrito de Ananea.

**Tabla 14: Niveles de concentración de mercurio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea**

Zonas	Carne y vísceras	Alpacas 2 años		Alpacas 7 años a más	
		N	Prom. $\pm$ D.S.	n	Prom. $\pm$ D.S.
Con actividad minera	Músculo	2	N.D.	2	N.D.
	Hígado	2	N.D.	2 (1)	112.352
	Pulmón	2(1)	56.215	2(1)	124.597
	Riñón	2	N.D.	2(1)	135.256
	Hueso	2 (1)	66.597	2	174.98 $\pm$ 41.25
Sin actividad minera	Músculo	2	N.D.	2(1)	58.333
	Hígado	2	N.D.	2(1)	116.663
	Pulmón	2	N.D.	2	N.D.
	Riñón	2	N.D.	2(1)	66.544
	Hueso	2	N.D.	2	179.83 $\pm$ 75.67

En la tabla 14, observamos las concentraciones de mercurio en pulmón, hueso, riñón y hígado con valores que oscilan de 112.352 – 174.98  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , en las alpacas con edades mayores a 7 años criadas en zona de influencia minera, y las alpacas de 2 años sin influencia minera no se encontró ningún valor detectable, pero en animales mayores de 7 años sin influencia minera si se determinó la

presencia de 58.33, 116.663, 66.54 y 179.83  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en el músculo, hígado, riñón y hueso, respectivamente; estos valores encontrados no superan a los reportes de diferentes investigaciones. Estos resultados nos induce asumir que las carnes y vísceras que se expenden en los mercados informales del Centro Poblado La Rinconada y mercado del Distrito de Ananea, constituirían en un futuro el factor de riesgo para los consumidores de este ámbito.

Resultados inferiores al presente investigación obtuvieron (Astorga *et al.*, 2010) en un estudio realizado en la cuenca de Ramis – Titicaca con muestras de dos épocas desde La Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco, para los niveles de concentración de mercurio en la leche cruda de vacas, registran niveles por debajo del Límite de Determinación establecido como 0.2 mg/kg ó 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Asimismo, en la trucha reportan los niveles de mercurio menores a 0.030 mg/kg o 30  $\mu\text{g}/\text{kg}$  este nivel de concentración está muy por debajo de los valores permisibles que señala la legislación Española, porque los niveles máximos permitidos oscila de 0.5 a 1 mg/kg en los pescados. Igualmente en cabello humano encuentran menores al límite de determinación 0.02 mg/kg, pero a pesar de que, de acuerdo a la EPA, indica que los suelos de Ananea no sobrepasan en un 90 % de los lugares de la cordillera, valores elevados de mercurio comparado a los estándares de calidad de suelos de la Unión Europea, donde los límites permisibles para mercurio son de 1.0 – 1.5 mg/kg. Esto permite deducir que esta contaminación con mercurio por la extracción de oro en la zona de Ananea estaría afectando a los camélidos, debido a que los animales estarían bebiendo aguas estancadas provenientes del proceso de obtención de oro, igualmente del río que fluye de forma constante, más que todo en la comunidad

de Pampa Blanca que permitiría la ocurrencia efectiva en la cadena trófica; por tanto refleja el bioindicador en las muestras estudiadas.

El mayor problema es, en el futuro, ya que la contaminación ambiental generada por la minería informal es por el uso de mercurio en forma exagerada e inadecuada para la extracción de oro, debido a que altera a la flora y fauna silvestre, así como cultivos y ganadería, con los consiguientes riesgos sobre la salud pública de aproximadamente 80,000 habitantes, y se estima que se pierden cada año alrededor de 15 toneladas de mercurio líquido en la zona de Puno, acrecentando la contaminación ambiental y los riesgos de salud pública (Lobato, 2013). Debido a la deficiente tecnología en la recuperación del oro por refogeo y lixiviación por cianuro, más del 50% del mercurio usado se libera al aire y se precipita en las zonas inmediatas y fuentes de agua; encontraron altos niveles de mercurio en sangre de todos los miembros de las familias que habitan en las casas donde se quema la amalgama. Las fuentes de agua derivan en el río Ramis que acarrea los relaves mineros al lago Titicaca, y evidenciaron la contaminación mercurial en peces que habitan en las aguas del Titicaca y en el río Ramis (Aquino, 2003).

Aunque las concentraciones muy elevadas de Hg y otros metales pesados se documentaron en los arroyos de cabecera cerca de los centros mineros de La Rinconada y Cecilia, la cantidad de Hg en el Lago Titicaca podría atribuirse a la minería de la cuenca Ramis que estaba por debajo del límite cuantificable en julio 2002. Esto no disminuye la amenaza localizada a la exposición de mercurio para los propios mineros de oro artesanales, así como sus familias. Si no recomendamos más estudios de la dinámica de mercurio en el Lago Titicaca, así

como en los ríos que desembocan en el lago. Es probable que la mayor parte del transporte cuesta abajo de Hg y otros metales traza de los centros mineros de cabecera se produce como sedimento en suspensión durante los períodos estacionales de mayor precipitación pluvial (Christopher, 2006).

#### 4.4. CONCENTRACIÓN DE PLOMO

La tabla 15 muestra los resultados de la variable estudiada en músculos y vísceras de las alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad, en dos zonas del distrito de Ananea con y sin actividad minera.

**Tabla 15: Niveles de concentración de plomo ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en músculos y vísceras de la carne de alpaca en comunidades del distrito de Ananea**

Zonas	Edad animal	Nº de alpacas	Nº de Músculos y vísceras	Total de muestra	Menor 5 a $\mu\text{g}/\text{kg}$
Con actividad	2 años	02	05	10	N.D.
Minera	7 años	02	05	10	N.D.
Sin actividad	2 años	02	05	10	N.D.
Minera	7 años	02	05	10	N.D.

Resultados que se observa en la tabla 15, refiere que la variable plomo que no se detectó en las muestras de los músculos ni vísceras de las carcasas de alpacas menores a 2 y mayores a 7 años de edad, criadas en zonas con y sin la actividad minera; lo cual indica que existen valores menores a 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de este metal en las muestras estudiadas no tuvieron efecto en la variabilidad de este indicador por efecto de zonas de crianza (con y sin actividad minera) ni edad de los animales (menores a 2 y mayores a 7 años de edad); estos resultados (N.D.)

de los niveles de concentración de plomo están por debajo de los límites máximos permisibles por normas internacionales, donde la concentración de plomo en las carnes rojas, el límite establecido para el consumo humano es de 0.1 a 0.5 mg/kg según Reglamento CE N° 1881/2006. Comisión del 19 de diciembre que fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios; CODEX STAN 193-1995 2009. Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos Rev. 2-2009.

Los valores encontrados en el presente trabajo fueron inferiores a los reportes de (Caba y Vega, 1996), donde los niveles de concentración de plomo se registra de 0.27 – 0.79 mg/kg, en muestras de carne cruda fresca de Llamas de Potosí, y en carnes de Llamas de la ciudad de Oruro - Bolivia encuentra 0.035 - 1.590 mg/kg determinadas mediante espectrofotómetro de absorción atómica AA-10, el valor extremo superior muestra que está por encima de los límites máximos permisibles por normas internacionales. Esta diferencia se debería al efecto de precipitaciones entre los dos ecosistemas; ya que en la cordillera occidental, donde se ubica la ciudad de Oruro posee la menor precipitación pluvial aproximadamente 200 mm<sup>3</sup> /año y esto permite la presencia constante de ventarrones que ya se observa a partir de 11:00 am y este polvo ingresa por vía respiratoria a las Llamas; mientras la cordillera oriental donde se ubica Ananea presenta un promedio de 780 mm<sup>3</sup>/año; lo cual permite el mayor arrastre de este metal tóxico a nivel del suelo hacia parte baja de la cordillera y no hay mucha frecuencia de presencia de polvo, por ende menores concentraciones (N.D) de plomo en los animales estudiados.

No obstante que, en (Xstrata Tintaya S.A. 2009) a través de Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) reporta niveles de concentración de plomo en ovinos de las comunidades del Río Salado y Cañipía de la provincia de Espinar - Cusco, donde en el hígado registra 0.101 a 0.142 mg/kg, en el riñón 0.076 a 0.125 mg/kg y en la carne 0.00 a 0.059 mg/kg; mientras el Laboratorio CERPER S.A. Lima, registra niveles de concentración de plomo en el hígado menores a 0.034 mg/kg, en riñón 0.034 mg/kg y en la carne 0.034 mg/kg; Estos bioindicadores no superan el límite de determinación; la diferencia es porque el medio ambiente de Espinar es planicie y no hay mucho arrastre de contaminación por efecto lluvia y muy a pesar que la CIA minera Antapaccay es una empresa formal, por tanto cumple a través del área de medio ambiente la vigilancia y protección de la contaminación ambiental, tales como el regadío con agua no potable de las carreteras con tanques o cisternas que prestan servicios a la empresa; mientras el ámbito de Ananea no tiene muchas áreas planicies, posee más laderas y es por ahí que se vierte los residuos de plomo a los ríos circundantes.

Estos valores N.D. en esta investigación son semejantes cuando comparamos a un estudio de línea base que hizo (Vicaria de la Solidaridad-prelatura de Sicuani, 2011), en carne y vísceras de ovinos de la Provincia de Espinar, no detectaron niveles de plomo en el riñón de los animales criados en áreas con influencia minera y sin actividad minera; mientras en el hígado de ovinos criadas en áreas de actividad minera encuentran 0.095 mg/kg y en áreas sin actividad minera 0.646 mg/kg; lo cual se debería a la geografía que posee Espinar por la planicie de su ecosistema. Y cuando comparamos nuestros

valores con (Hernández, *et al.*, 2012) quienes encuentran altas concentraciones de plomo (superiores a 0.5 mg/kg) en la carne de los ovinos de 3 lugares de México e indica que es un problema potencial para la salud humana y una limitante para la exportación; las concentraciones registradas superan el límite establecido para el consumo humano; el cual, es de 0.1 a 0.5 mg/kg según Reglamento CE N° 1881/2006 comisión del 19 de diciembre que fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios; CODEX STAN 193-1995 2009. Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. También en México (Hernández A. 2011), reportan diferencias estadísticas no significativas ( $P \geq 0.05$ ) en el contenido de plomo entre los músculos ( $1.6 \pm 1.9$  mg/kg), riñón ( $1.7 \pm 1.8$  mg/kg) e hígado ( $1.4 \pm 1.8$  mg/kg), además señalan de que los valores de desviación estándar es muy elevada, debido a que los valores extremos tenían una amplitud, por lo que están por encima del límite máximo tolerable por la Norma. Nuestros valores N.D. del presente investigación en alpacas no superan a los órganos estudiados al de ovinos; diferencia que, podría deberse al diferente ecosistema, tipo de actividad minera y método de evaluación.

Los valores encontrados se asemejan por (Astorga *et al.*, 2010) al estudio realizado en la cuenca de Ramis – Titicaca con muestras de 2 épocas desde Rinconada, Crucero, Progreso, Azángaro y Taraco, no detectaron los niveles de concentración de plomo en la leche cruda de vacas, que cuya concentración está muy por debajo de los Límites de Determinación (0.56 mg/kg); esto es similar a la carne y vísceras de alpaca del presente estudio; esta semejanza podría deberse a que los vacunos y alpacas no poseen edades mayores a 5 años, por

tanto este metal pesado no se acumulan suficientemente conforme aumenta la edad animal, y los pastizales aparecen y desaparecen por efecto época del año. Mientras, en la trucha reportan los niveles de plomo en 0.41 mg/kg, este valor es superior a los valores de límite de determinación de 0.1 mg/kg o la norma Española indica que los límites máximos permitidos está en 5 mg/kg, esta superioridad es por el arrastre del metal de la parte de cordillera hacia lago Titicaca. Asimismo, los niveles de concentración de plomo en cabello humano es variable, alcanzando 6.5 mg/kg en Rinconada, 2.4 mg/kg en Progreso, 0.78 mg/kg en Crucero y 0.82 mg/kg en Taraco, estos indicadores son superiores al límite de determinación 0.56 mg/kg y excede los límites establecidos ( $0.960 \pm 0.86$  mg/kg), esto es por el contacto directo con el polvo durante el trabajo minero. Sin embargo, la Unión Europea ha elaborado un reglamento que establece límites de plomo en alimentos de 1.0 mg/kg; y según la EPA los suelos de Ananea muestra valores de 9.4 a 38 mg/kg que está por debajo del valor referencial de 85 mg/kg, comparado a los estándares de calidad de suelos de la Unión Europea, donde los límites permisibles para plomo es de 50 a 300 mg/kg.

## V. CONCLUSIONES

1. Los niveles de concentración de cadmio y mercurio se encontraron en músculos y vísceras de las carcasas de alpacas mayores a 7 años de edad, tanto en zonas con actividad y sin actividad minera; no obstante que, estos valores no superan el límite máximo permisible y pero en el futuro sería un factor de riesgo para la salud humana.
2. No se detectaron plomo y arsénico en la carne y vísceras de las alpacas menores de 2 y mayores a 7 años de edad procedentes de zonas con o sin actividad minera, por tanto no es un factor de riesgo para el consumo humano.

## VI. RECOMENDACIONES

- La Oficina del Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de Ananea debe considerar en el plan de desarrollo del Municipio, la vigilancia y el monitoreo de metales pesados, previa socialización de la población expuesta a este factor de riesgo.
- Implementar estrategias de vigilancia de metales pesados mediante la Oficina del medio ambiente y zoonosis del Centro de Salud del distrito de Ananea.
- Realizar investigaciones sobre metales pesados en pastizales durante época seca y lluvia.

## VII. REFERENCIAS

- Astorga, J., Cari A., Vilcatoma L., Alcantara A., Zamalloa W., Calsin A., Olarte U., Tello E., Supo F. y Julio Huanca. 2010. Implicancias sociales y económicas de la contaminación de la Cuenca hidrográfica del Río Ramis. Oficina Universitaria de Investigación. Universidad Nacional del Altiplano. Puno.
- Adriano, D. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York: Springer Verlag.
- Aquino, E. 2003. "Contaminación por mercurio y cianuro en el Distrito Minero de Ananea-Puno". Tercer Congreso Internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia. Crea ediciones graficas E.I.R.L. Perú. Pág. 51.
- Arce García, O. 2000. Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia. Obtenido de Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia: <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>
- Caba F., S. Vega Olmos. 1996. Contaminación por metales pesados y microbiológicos en carne de camélidos de Oruro y Potosí. Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA).
- Castillo, M. F. 2005. "Minería artesanal, un caso de contaminación por mercurio y su impacto socio-ambiental". IV Congreso Internacional de medio ambiente en minería y metalurgia. Perú. Pág. 145.
- Christopher H. Gammonsa, Darell G. Slottonb, Butch Gerbrandta, Willis Gramajea, Courtney A. Younga, Richard L. McNearnya, Eugenio Cámac, Rubén Calderon, Henry Tapia. 2006. Las concentraciones de mercurio de peces, el agua Del río, y los sedimentos en la Cuenca del río Ramis-Lago Titicaca, Perú Volumen 368, Temas 2-3, páginas 637-648.
- Codex Stan 193-1995 2009. Norma general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.

- Cuentas A, M. 2008. Evaluación cualitativa del impacto ambiental generado por la actividad minera en La Rinconada Puno. Tesis para optar el Grado de Master en Gestión y Auditorías Ambientales. Piura – Perú.
- Dammert A. y F. Molinelli. 2007. Panorama de la Minería en el Perú. Osinergmin-Perú pag. 10.
- DIGESA. 2008. Variaciones de parámetros en el Río Ramis y afluentes. DIGESA/DEPA/JVAR/21- 07.
- Ferro, – Mayhua, F. P. 2009. Contaminación de la Cuenca del Río Ramis – Puno – Perú. [www.poferro@yahoo.com](mailto:www.poferro@yahoo.com)
- Gonzales, Montaña y José R. 2009. Metales pesados en carne y leche de vacunos y certificación para la Unión Europea (UE). Revista Colombiana de Ciencias Agropecuarias. Tesis doctoral. Universidad de León, España. <http://rccp.udea.edu.co>. 22:3.
- Hernández A. 2011. Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca. Tesis de Licenciatura. México.
- Hernández Vázquez MA, LI Trejo-Téllez LI, Anaya-Rosales S, y JE Ramírez-Bribiesca. 2012. Contenido de cadmio y plomo en carne de ovino. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo – México. Correo electrónico: [tlibia@colpos.mx](mailto:tlibia@colpos.mx).
- IARC. 2087. International Agency for Research on Cancer. Lyon. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans ([www.iarc.fr](http://www.iarc.fr)).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), IV Censo Nacional Agropecuario – 2012. Disponible: <http://www.inei.gob.pe/DocumentosPublicos.2012/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>.
- Kuramshina, N. G., E.M. Kuramshinb, S.V. Nikolaevac,, Y.B. Imashev. 2014. Las características biogeoquímicos del contenido de metales pesados en el suelo, las plantas y los animales en diferentes espacios naturales de

- Bashkortostán. Diario de Geoquímica de Exploración. Volumen 144, páginas 237 a 240.
- Leguía, G. y N. Clavo. 1989. Sarcocistiosis o triquina. Boletín Técnico N° 7 – CICCIS Universidad Nacional Mayor de San Marcos IVITA. Agosto. Lima – Perú.
- López Alonso M, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. 2000. Toxic and trace elements in liver, kidney and meat from cattle slaughtered in Galicia (NW Spain). Food Addit Contam. 17(6):447-457.
- López Alonso M, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. 2003. Mercury concentrations in cattle from NW Spain. Sci Total Environ. 20; 302(1-3):93-100.
- López Alonso M, Prieto F, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Benedito JL. 2003. Cadmium and lead accumulation in cattle in NW Spain. Vet Hum Toxicol. 45(3):128-30
- Maite Pelayo. 2011. Metales pesados en carne de vacuno. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2011/04/14/199972.php#sthash.vOz5RGXH.dpuf>
- Méndez Batán, J. Metales pesados en alimentación animal. Anaporc. Revista de Porcinocultura. 2002; 22(223), 88-95
- MINSA 2011. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA. Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima –Perú.
- Monroya M., Maceda-Veigab A., y Adolfo de Sostoa. La concentración de metales en agua, sedimentos y cuatro especies de peces del lago Titicaca revela una preocupación ambiental a gran escala. Investigación Artículo Original Ciencias del medio ambiente total, Volumen 487. 2014, Páginas 233-244.

- Moreno Sanches, R. 1999. Contaminación ambiental por metales pesados impacto en los seres vivos. Mexico: AGT, Editor, S.A. México.
- Muñoz O., D. Vélez and R. Montoro. 1999. Optimization of the solubilization, extraction and determination of inorganic arsenic (AsIII+AsV) in seafood products by acid digestion, solvent extraction and hydride generation atomic absorption spectrometry. *Analyst*. 124: 601-607.
- NOM (Norma Oficial Mexicana) 004-ZOO. 1994. Grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovinos, caprinos, cérvidos, equinos, ovinos, y porcinos. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo. Modificación de la Norma Oficial Mexicana.
- OMS. Reglamento Sanitario Internacional. 2005. Disponible en:<http://www.who.int/csr/ihr/es/index.html>. Acceso 20/04/2015.
- Oyarzun, 2011. Introducción a la geología de minas. Madrid: GEMM.
- Oyarzun, R., & Higuera, P. 2009. Minería ambiental. Madrid: GEMM.
- Ponce R.; Silvia Farías S., Bovi Mitre G., Dinoraz Vélez y Rosa Montoro. 2006. Determinación de arsénico total e inorgánico en carne y vísceras de camélidos (lama glama) autóctonos de la provincia de Jujuy, argentina. *Rev. Fac. De Agronomía de la UBA, Buenos Aires*. 26(1):105.109.
- Reglamento (CE) 1881/2006 de la comisión del 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 20.12.2006.
- Rodríguez P H., Sánchez E., Rodríguez M., Vidales J. A., Contreras, Karim Acuña Askar, Martínez G., y Juan Carlos Rodríguez O. 2005. Metales pesados en leche cruda de bovinos. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. E-mail: hrodrigu10@yahoo.com.mx.
- Rosas Rodríguez, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Del Llobregat. Catalunya Barcelona.

- Saiful Islama, Kawser Ahmedc, Habibullah-Al-Mamunb, y Mohammad Raknuzzamanb. 2015. La concentración, la fuente y el potencial riesgo para la salud humana de metales pesados en los alimentos de consumo habitual en Bangladesh. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental* Volumen 122, páginas 462-469.
- Solís. 2000. Huancayo Perú.
- Vega G, S. 1990. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Mexico: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud: Organización Panamericana de la Salud: Organización Mundial de la Salud, 1985.
- Vicaria de la Solidaridad-prelatura de Sicuani. 2011. Monitoreo Ambiental Participativo en el ámbito del proyecto Xstrata Tintaya en la Provincia de Espinar – Cusco.
- Vildes M., Karina K de Souza, Geovana D., Menithen Bieber, Laura P Garcia, Vinícius Vitorino, Sheron Bitencourt, Kin A da Costa. 2009. “Contaminación por metales pesados PLOMO. Laboratório de Micotoxicologia e Contaminantes Alimentares. [www.labmico.ufsc.br](http://www.labmico.ufsc.br) Depto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Centro de Ciencias Agrarias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – Brasil. Traducción: [www.latinrendering.com](http://www.latinrendering.com).
- Villanueva Cañadas. Gisbert Calabuig, Medicina Legal y Toxicología. 6ª ed., Masson, Barcelona, 2004.
- Wittmann, G. 1981. Toxic Metals. . Berlin: Springer-Verlag.
- Xstrata Tintaya S.A. 2009. Estudio del Impacto Ambiental del Proyecto Antapaccay. Espinar – Cusco.

# ANEXOS

## ANEXO 1

**PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LABORATORIO DE LA UNIDAD DE  
SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS (USAQ) DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS****A) ARSENICO****1) Preparación de estándares:**

- Estándar patrón de arsénico, 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ : medir 10 mL del estándar certificado y diluir a 100ml con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de un año.
- Estándar de arsénico, 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ : medir 10 mL del estándar de 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de 6 meses.
- Estándar de arsénico, 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ : medir 10 mL del estándar de 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de una semana.
- Estándar de arsénico, 0.1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  (100  $\mu\text{g}/\text{L}$ ): medir 5 mL del estándar de 1 mg/L y diluir a 50 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de un día.
- Estándar de calibración, 0.05  $\mu\text{g}/\text{mL}$  (50  $\mu\text{g}/\text{L}$ ): medir 25 mL del estándar de 0.1 mg/L y diluir a 50 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de un día.
- Estándares de calibración: el estándar de 50  $\mu\text{g}/\text{L}$  será diluido por medio del autosampler con agua desionizada para obtener concentraciones de 5  $\mu\text{g}/\text{L}$  (2:18), 10  $\mu\text{g}/\text{L}$  (4:16) y 20  $\mu\text{g}/\text{L}$  (8:12).

- Blanco de calibración: tomar un volumen de agua ultrapura acidificada, con la misma cantidad de ácido que los estándares de calibración.

### 2) Curva de Calibración

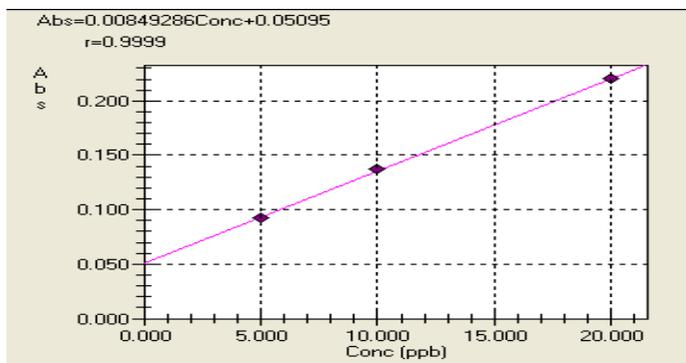


Figura 2: Curva de calibración de As

Sample ID	Graph	X	M	Q	True Value (ppb)	Conc. (ppb)	Abs.	BG	Pos.	VOL	Diluent RI
STD 1					5.0000		0.0926	0.0026	1	2	18
STD 2					10.0000		0.1371	0.0000	1	4	16
STD 4					20.0000		0.2204	0.0002	1	8	12

Tabla 16: Valores determinados por el equipo de AA de las soluciones estándar de As

### 3) Condiciones instrumentales

Las condiciones instrumentales para un análisis de arsénico por horno de grafito son:

- Longitud de onda: 193.7nm.
- Slit: 1.0
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- Temperatura programada del horno de grafito:
  - Temperatura de secado: 150°C
  - Temperatura de pre tratamiento: 500°C
  - Temperatura de atomización: 2200°C

- Volumen de muestra: 20  $\mu$ L.
- Se usa corrección de fondo (background) mediante el uso de una lámpara de deuterio.

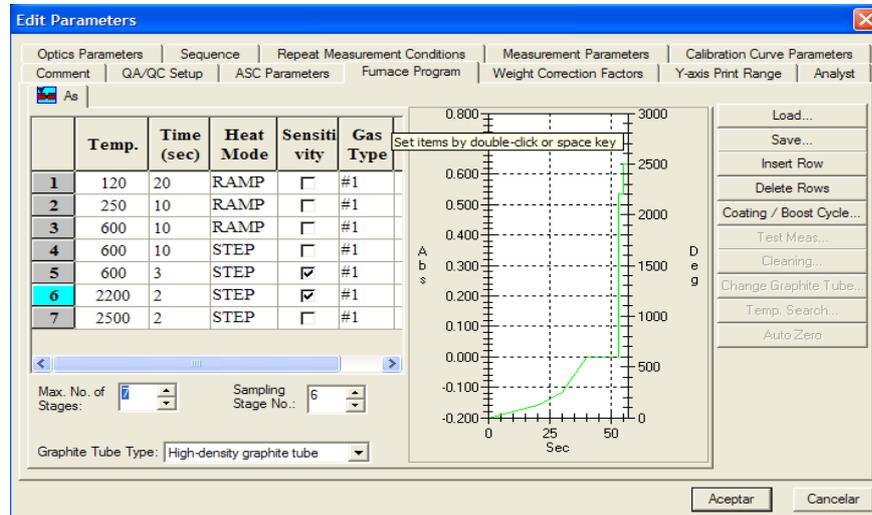


Figura 3: Programa de temperatura para la medición de As por horno de grafito

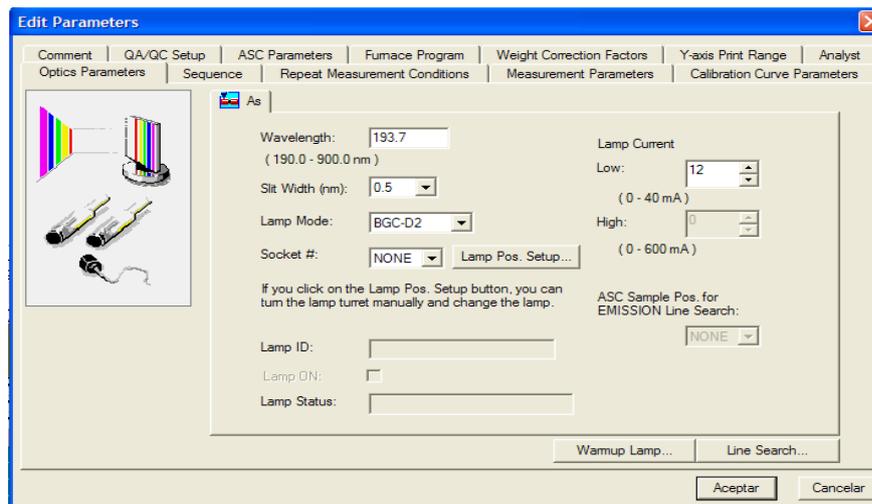


Figura 4: Parámetros ópticos para la medición de As por horno de grafito

## B) PLOMO

### 1) Preparación de estándares:

- Para preparar un estándar patrón de plomo de 100 mg/L, se midió 10mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se contuvo en una fiola de 100

ml, luego se enraso con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de 6 meses.

- Para el estándar de plomo de 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 100 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.
- Para el estándar de plomo de 1mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Tiene una duración de 1 semana.
- Para el estándar de plomo de 20  $\mu\text{g/L}$ : se midió 2mL del estándar de 1 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.
- Los estándares de calibración obtenidos son de 4  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ , 8  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 12  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 16  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 18  $\mu\text{g}/\text{L}$ . El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20  $\mu\text{g}/\text{L}$ .
- Se preparó un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

## 2) Curva de Calibración

Concentración (ppb)	Absorbancia
4.0000	0.0101
8.0000	0.0158
12.000	0.0219
16.000	0.0286
18.000	0.0313

Tabla 17: Absorbancias de los patrones de Pb

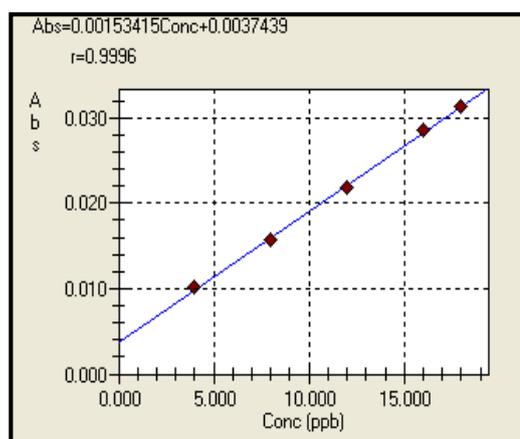


Figura 5: Curva de calibración de Pb

Programar el análisis de las muestras y constatar los resultados.

### 3) Condiciones instrumentales

Las condiciones instrumentales para un análisis de plomo por horno de grafito

son:

- Longitud de onda: 283.3 nm.
- Slit: 0.5
- Se usa corrección de fondo (background)
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- Volumen de muestra: 20  $\mu$ L
- Temperatura programada del horno de grafito:

Temperatura de secado: 120°C

Temperatura de pre tratamiento: 800°C

Temperatura de atomización: 2400°

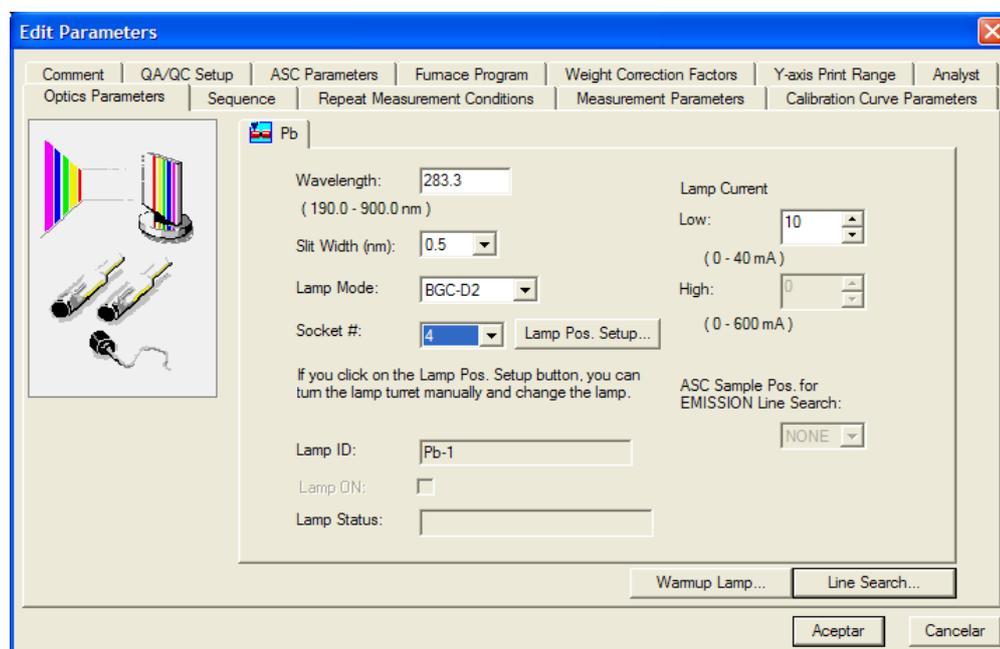


Figura 6: Condiciones ópticas para la medición de Pb por horno de grafito

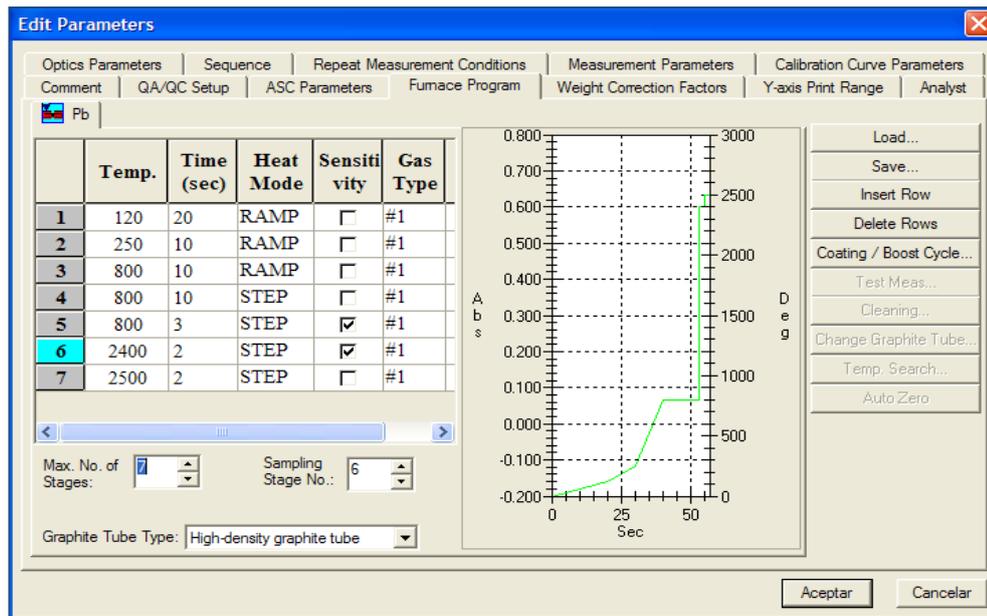


Figura 7: Programa de temperatura para la medición de Pb por horno de grafito

## C) MERCURIO

### 1) Preparación de estándares:

- Para preparar un estándar patrón de Mercurio de 100 mg/L, se midió 10mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se contuvo en una fiola de 100 ml, luego se enrazo con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de 6 meses.
- Para el estándar de mercurio de 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 100 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.
- Para el estándar de mercurio de 1mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Tiene una duración de 1 semana.

- Los estándares de calibración obtenidos son de 10 µg/µL, 20µg/L 40 µg/L, El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20 µg/L.
- Se preparó un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

**2) Curva de calibración**

Concentración (ppb)	Absorbancia
10.0000	0.0036
20.0000	0.0041
40.0000	0.0049

Tabla 18: Absorbancia de los patrones de Mercurio

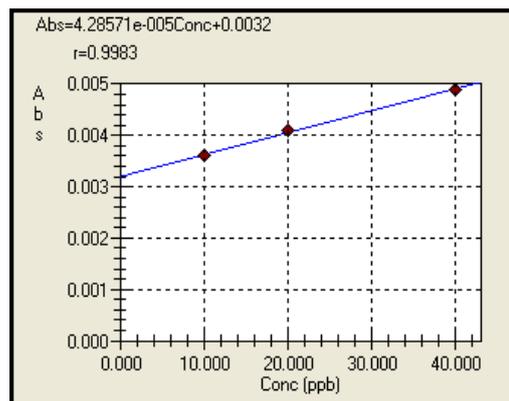


Figura 8: Curva de calibración de Hg

**3) Condiciones instrumentales:**

Las condiciones instrumentales para un análisis de mercurio por horno grafito son:

- Longitud de onda: 253.7nm.
- Slit: 0.5
- Se usa corrección de fondo (background)
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Temperatura programada del horno de grafito:

Temperatura de secado: 100°C

Temperatura de pre tratamiento: 250°C

Temperatura de atomización: 1000°C

- Volumen de muestra: 20 µL.

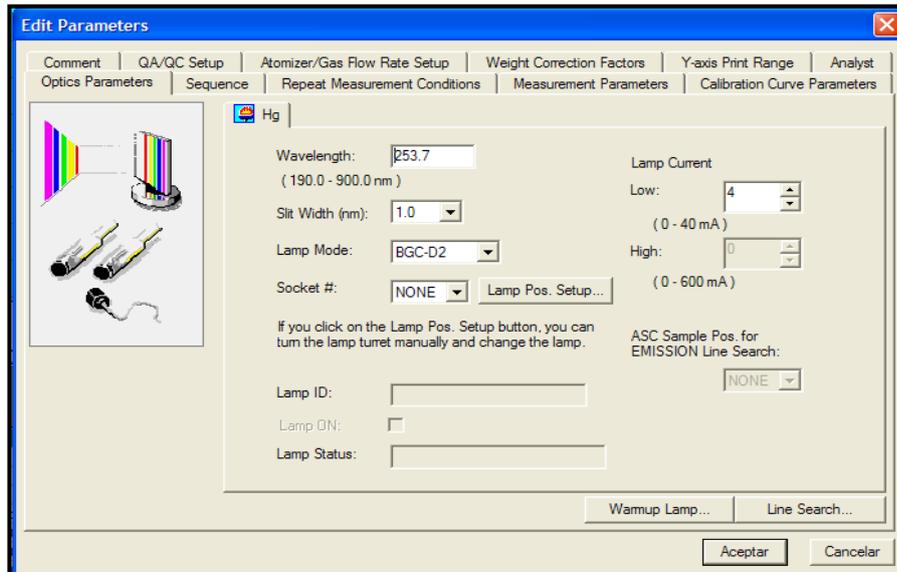


Figura 9: Parámetros ópticos para la medición de Hg por horno de grafito

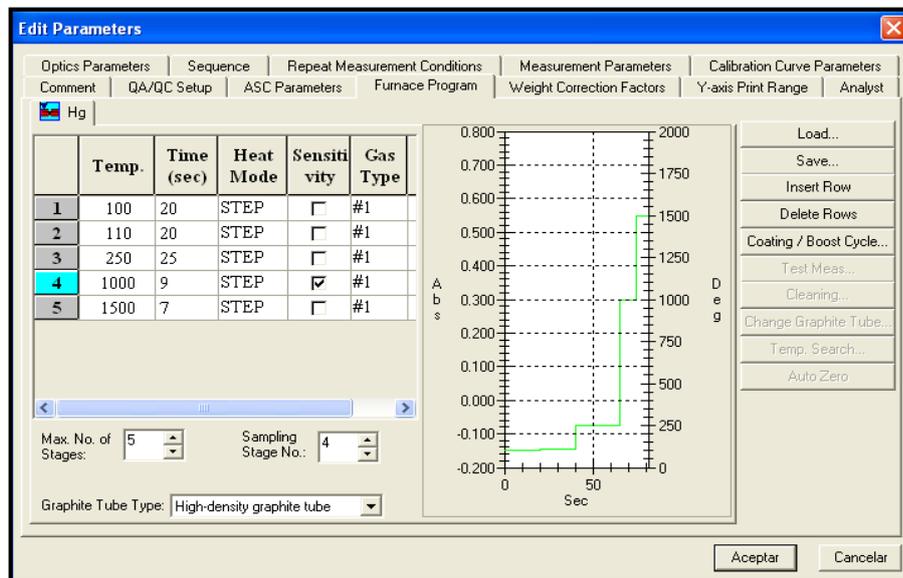


Figura 10: Programa de temperatura para la medición de Hg por horno de grafito

## D) CADMIO

### 1) Preparación de estándares:

- Estándar patrón de cadmio, 100 µg/mL: medir 100 mL del estándar certificado de 1000 mg/L y diluir a 100ml en un matraz volumétrico con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de seis meses.

- Estándar de cadmio, 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el ácido nítrico al 0,2%. Tiene una duración de 3 meses.
- Estándar de cadmio, 1mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Tiene una duración de 1 semana.
- Estándar de cadmio, 10µg/L: se midió 1 mL del estándar de 1 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.
- Los estándares de calibración obtenidos son de 4 µg/L, 6 µg/L, 8 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 10 µg/L.
- Blanco de calibración: tomar un volumen de agua ultrapura

**2) Curva de Calibración**

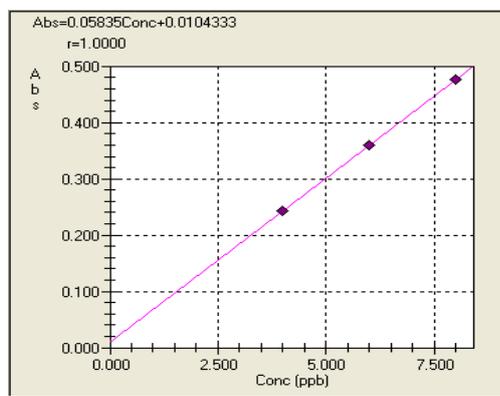


Figura 11: Curva de calibración de Cd

True Value (ppb)	Conc. (ppb)	Abs.	BG	Pos.	VOL	Diluent R1
4.0000		0.2440	0.0014	1	8	12
6.0000		0.3602	0.0014	1	12	8
8.0000		0.4774	0.0015	1	16	4

Tabla 19: Valores determinados por el equipo de AA de las soluciones estándar de Cd

### 3) Condiciones instrumentales

Las condiciones instrumentales para un análisis de Cadmio por horno de grafito son:

- Se usa corrección de fondo (background)
- Longitud de onda: 228.8nm.
- Slit: 1.0
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- Temperatura programada del horno de grafito:

Temperatura de secado: 150°C

Temperatura de pre tratamiento: 500°C

Temperatura de atomización: 2200°C

- Volumen de muestra: 20 µL.

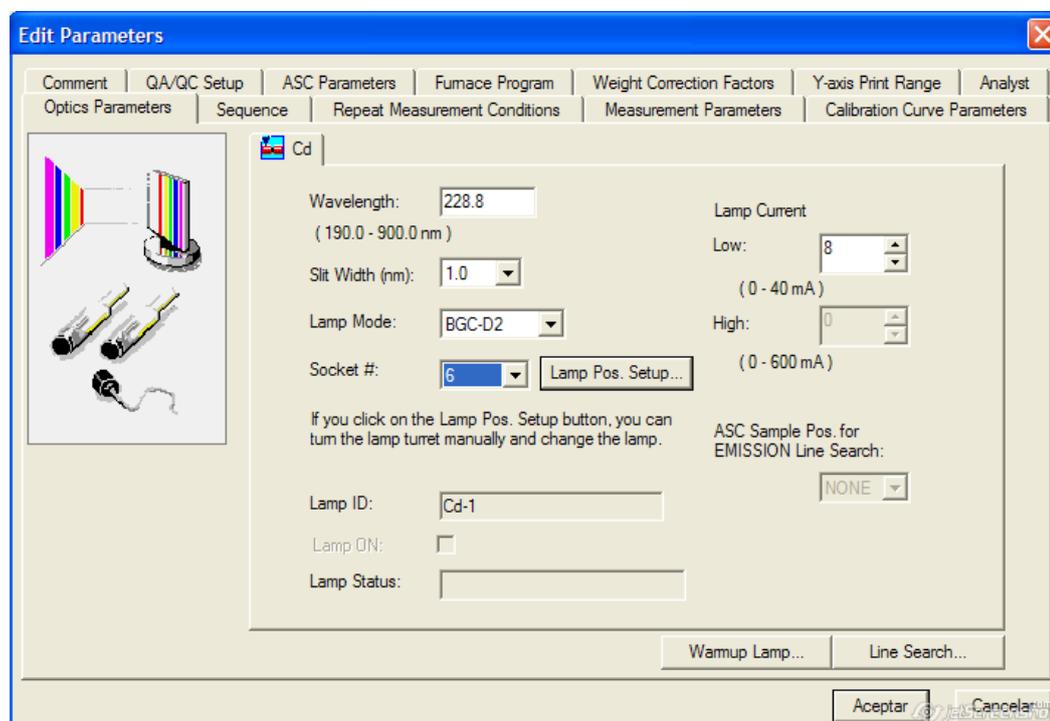


Figura 12: Parámetros ópticos para la medición de Cd por horno de grafito

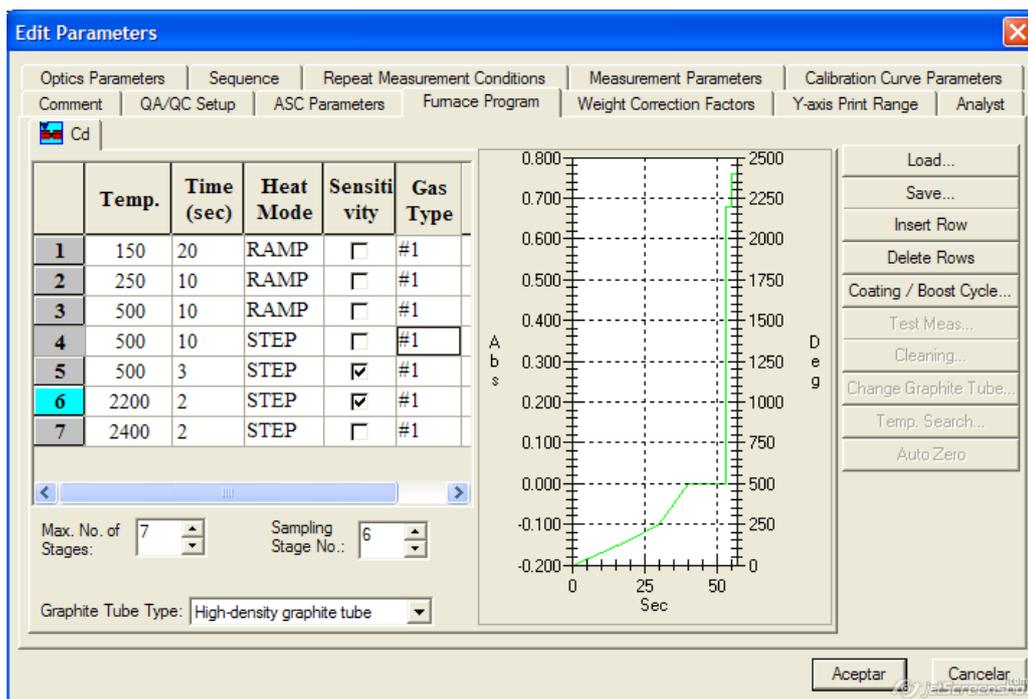


Figura 13: Programa de temperatura para la medición de Cd por horno de grafito

ANEXO 2

IMÁGENES DE LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



Img. 1: Alpacas en pastoreo de zona sin actividad Minera (C. Trapiche).



Img. 2: Alpacas en pastoreo de zona con actividad minera (Pampa Blanca).



Img 3 – 4: Selección de los animales para el beneficio y obtención de muestras.



Img 5 – 6: Materiales para la obtención de muestras.



Img 7 – 8: Beneficio de las alpacas para la obtención de muestras.



Img. 9: Pesado, etiquetado y embolado de muestras.



Img. 10: Envío de muestras.



Img 11 – 12: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Laboratorio de la Unidad de Servicios de análisis químicos.



Img 13 – 14: Triturado de las muestras.



Img. 15: Pesado de la muestra triturada.



Img. 16: Colocado de muestra en crisoles.



Img. 17: Automuestreador.



Img. 18: Espectrofotómetro.