

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS PARTES ANATÓMICAS DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) DEL RÍO DE CHALHUANCA”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. MAYUMI PATIÑO CONDORI**

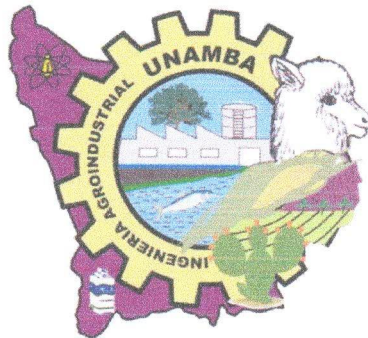
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ABANCAY - PERU**

**2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

“DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS PARTES ANATÓMICAS DE LA  
TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) DEL RÍO DE CHALHUANCA”

Presentado por **BACH. MAYUMI PATIÑO CONDORI** para optar el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Sustentado y aprobado el 07 de noviembre de 2018 ante el jurado:

Presidente:

Ing. Alfredo Fernández Ayma

Primer Miembro:

Ing. Alex Ernesto Muñoz Cáceres

Accesitario:

Ing. Liz-Zaida Vera Huamani

Asesor:

Ing. Jorge mendoza cáceres

## **DEDICATORIA**

Con mucho amor, cariño a Dios por darme salud y así concluir los cinco años de estudio de Ingeniería Agroindustrial; a mis padres y hermanos que representa el gran motor de mi vida a quién los debo todo, por ser los que me dieron fuerzas para seguir adelante y estar cumpliendo mis objetivos trazados.



## AGRADECIMIENTO

- A Dios que siempre está a nuestro lado de manera incondicional y que hasta ahora me guía, me protege y me impulsa a seguir adelante.
- A mis padres Eloy Patiño Villegas e Irma Condori Azarte, que siempre confían y me apoyan, a ellos porque son la razón de mí existir.
- Al Ing. Jorge Mendoza Caceres y al Ing. Víctor Hugo Sarmiento Casavilca, Ing. Justo Flavio Arias Motta por su colaboración desinteresada y dedicación constante para hacer realidad dicho proyecto.
- A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac - Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y así asimilar los conocimientos para mi formación académica y profesional que me servirá para poder desenvolverme plenamente en el campo de mi carrera y en la sociedad.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I. ....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 ENUNCIADO. ....	4
PROBLEMA GENERAL .....	4
PROBLEMA ESPECÍFICOS. ....	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN. ....	5
1.5 DELIMITACIÓN. ....	5
CAPÍTULO II. ....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. TRUCHA ARCO IRIS .....	6
2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TRUCHA ARCO IRIS. ....	6
2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA TRUCHA ARCO IRIS.....	7
2.1.3. HÁBITAT.....	7
2.1.4. CICLO DE VIDA .....	8
• DESARROLLO BIOLÓGICO .....	8
• APAREAMIENTO .....	9
2.1.5. HÁBITOS ALIMENTICIOS .....	9
2.1.6. PARTES ANATÓMICAS DE TRUCHA .....	9
2.1.7. VALORES NUTRICIONALES DE LA TRUCHA. ....	15
2.2. AGUA.....	15
2.2.1. ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA .....	16
2.2.2. POTENCIAL DE HIDROGENIONES (PH) DEL AGUA .....	16
2.2.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	16
2.2.4. OXÍGENO DISUELTO.....	17
2.2.5. TEMPERATURA. ....	17
2.2.6. TURBIEDAD.....	17
2.2.7. AGUA DE RÍO CHALHUANCA .....	17
2.2.7.1. CALIDAD FÍSICO- QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DEL RIO.....	18
2.2.7.2. CONTAMINACIÓN.....	18
A. MOVIMIENTO DE RESIDUOS DE METALES PESADOS EN EL AMBIENTE .....	18

B. METALES PESADOS EN EL CUERPO DE AGUA.....	19
C. DISTRIBUCIÓN Y NIVELES DE METALES PESADOS EN AGUA. ....	20
D. NIVELES DE METALES PESADOS EN INVERTEBRADOS ACUÁTICOS.....	20
E. DISTRIBUCIÓN Y NIVELES DE METALES PESADOS EN PECES. ....	21
F. FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PECES.	21
G. TOXICIDAD DE METALES PESADOS PARA LOS PECES. ....	22
2.4. ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO .....	22
2.5. METALES PESADOS.....	25
2.5.2. METALES PESADOS EN EL SEDIMENTO .....	27
2.5.3. BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN DE METALES PESADOS.....	28
2.6. CADMIO (CD) .....	32
2.7.1. CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL CADMIO. ....	33
2.7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS.....	34
2.8. PLOMO (PB).....	38
2.8.2. CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL PLOMO.....	39
2.9. PRINCIPALES EFECTOS POSIBLES EN LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE DE PRODUCTOS QUE CONTIENEN CADMIO Y PLOMO .....	39
CAPÍTULO III. ....	42
MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....	42
1.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	42
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.2.1. MATERIALES .....	42
A. MATERIALES, INSUMOS Y REACTIVOS .....	42
B. EQUIPOS E INSTRUMENTOS .....	42
3.2.2. MÉTODOS.....	43
3.2.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRA.....	43
CAPÍTULO IV.....	46
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46
1.3. CONTENIDO PLOMO EN LA ESCAMA, MUSCULO, TEJIDO ÓSEO Y EL HÍGADO DE LA TRUCHA ( <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ) EN LA CUENCA DEL RÍO CHALHUANCA. ....	46
1.4. CONTENIDO CADMIO EN LA ESCAMA, MUSCULO, TEJIDO ÓSEO Y EL HÍGADO DE LA TRUCHA ( <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ) EN LA CUENCA DEL RÍO CHALHUANCA.	47
5.1. CONCLUSIONES .....	52
5.2. RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	54
ANEXOS.....	59
ANEXO 01: ANÁLISIS DE AGUA DEL RÍO DE CHALHUANCA .....	59

GRAFICA 2. CURVA DE CALIBRACIÓN PROMEDIO PARA EL CADMIO.....	60
ANEXO 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA.....	61
ANEXO 3. CONTENIDO MÁXIMOS DE METALES PESADOS EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS SEGÚN LA UNION EUROPEA.....	64
ANEXO 04: FOTOGRAFIAS .....	67



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor Nutritivo Estimado.....	15
Cuadro 2. Resultados del primer monitoreo de la calidad de las aguas del rio de Aymaraes 2009.....	18
Cuadro 3. Humedad en las partes anatómicas de trucha <i>Oncorhynchus Mykiss</i> .....	44
Cuadro 4. Longitud de onda para cada metal.....	45
Cuadro 5. Resultado de la concentración de plomo en las diferentes partes anatómicas de la trucha.....	46
Cuadro 6. Resultado de la concentración de cadmio en las diferentes partes anatómicas de la trucha.....	48



## ÍNDICE DE FIGURA

<i>Figura 1:</i> La trucha y su cultivo, Secretaria de Pesca.....	7
<i>Figura 2.</i> Mapa de departamento de Apurímac, PDCA.....	23
<i>Figura 3.</i> Mapa de departamento de Apurímac, PDCA.....	24
<i>Figura 4.</i> “Determinación de Elementos Traza, Presenta las principales vías De transmisión y amplificación de los contaminantes.....	27
<i>Figura 5.</i> Vías para la absorción, distribución eliminación de compuestos xenobioticos en los peces.....	29
<i>Figura 6.</i> Cascada de alternativas histopatológicas como resultados de alternaciones bioquímicas y fisiológicas de un organismos.....	31
<i>Figura 7.</i> Cadmio en el ambiente, Russel et al. (2008).....	33
<i>Figura 8.</i> Esquema básico de flujo de cadmio en el cuerpo.....	36
<i>Figura 9.</i> Ciclo Biogeoquímico.....	36

**DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS PARTES ANATÓMICAS DE LA  
TRUCHA (*oncorhynchus mykiss*) DEL RÍO DE CHALHUANCA**

**Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons**



## INTRODUCCIÓN

El río Challhuanca del distrito de Chalhuanca provincia de Aymaraes departamento de Apurímac, es el cauce de diversos riachuelos que provienen de zonas donde se realiza actividad minera. El incremento de lluvias y por consecuencia los volúmenes de agua, hacen que el material suelo deslizable en estas zonas se trasladen a los cauces del río Chalhuanca trayendo consigo restos de metales pesados. Cadmio, Plomo, Cobre, Mercurio, los cuales se biomagnifican en tejidos de peces y otras especies en los ecosistemas del río Chalhuanca y demás efluentes, desde bajas concentraciones en el plancton y peces pequeños hasta muy altas concentraciones en los organismos de los niveles superiores de la cadena trófica. En los seres humanos como el principal consumidor de peces, se espera una alta bioacumulación es por ello que el pescado es considerado como la principal fuente de contaminación por metales (Agusa et al. 2007; Díez et al. 2008).

Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en aguas y sedimentos del río Chalhuanca representa un serio problema para la flora y fauna ictiológica así como la salud de los moradores. Que afecta al sistema nervioso central lo cual se traduce en retraso mental especialmente para los niños.

Los contaminantes ambientales importantes son aquellos que tienden a acumularse en los organismos, que son persistentes debido a su estabilidad química o escasa biodegradabilidad. La contaminación por metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en un fenómeno de interés mundial debido a su toxicidad, persistente durante varias décadas en el medio acuático, así como a su bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia (Rajeshkumar & Munuswamy, 2011).

El riesgo de exposición de metales pesados se puede dar al comer pescado. Estos metales ha sido ampliamente distribuido en los ecosistemas acuáticos por procesos naturales como consecuencia de actividades antropogénicas que han causado una enorme contaminación desde el siglo pasado, (Camargo, 2002; Wasserman et al, 2003).

El conocimiento de los niveles de contaminación por metales pesados cadmio y plomo en trucha (*Oncorhynchus mykiss*) permitirá la toma de decisiones en el campo de la salud y medio ambiente como también en el desarrollo de la actividad acuícola y su relación con la contaminación con metales pesados.

En general en el plano social repercutirá positivamente en el desarrollo agroindustrial como actividad económica generadora de empleo en la zona de influencia geográfica de la presente investigación.

La acuicultura constituye una contribución importante para la nutrición en el departamento de Apurímac en virtud esta es un potencial agroindustrial tanto de su gran productividad, teniendo la potencialidad de producir alimentos ricos en proteínas y de bajo costo. Llegando a ser un potencial agroindustrial.

## RESUMEN

El conocimiento de los niveles de contaminación por metales pesados cadmio y plomo en trucha (*Oncorhynchus mykiss*) permitirá la toma de decisiones en el campo de la salud y medio ambiente como también en el desarrollo de la actividad acuícola y su relación con la contaminación con metales pesados. En general en el plano social repercutirá positivamente en el desarrollo agroindustrial siendo la acuicultura actividad económica generadora de empleo en la zona de influencia geográfica de la presente investigación.

El estudio planteado, da a conocer los niveles de plomo y cadmio en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando el método horno grafito. Todos los análisis se realizaron por duplicado, Para la curva patrón se preparó concentraciones de 200, 400, 600, 800, 1000 ppm en 50 ml de agua ultra pura a partir de una la muestra patrón multielemental con concentración inicial de 1000 mg/L equivalente a 1000 ppm utilizando micro pipeta. Teniendo como resultado las concentraciones de Plomo, en componentes anatómicos como, Escama 2.37 µg/g, Medula 0.06 µg/g, Hígado, Musculo se encuentran debajo del límite de detección. La concentración de Cadmio que describe los resultados en los componentes anatómicos fueron: Hígado 1.52 µg/g, Escama, Musculo, Medula se encuentran debajo del límite de detección. Según Unión Europea. Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 y 2017 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios, el contenido máximo de plomo en la carne de pescado es de 0.30 mg/kg y cadmio en la carne de pescado es de 0.050 mg/kg. Con un nivel del 95.0% de confianza, Teniendo como resultados cifras menores a cero establecidos y en su defecto se encontró cadmio en el hígado que rebasa los límites permisibles, siendo un órgano no comestible por el humano, así mismo, como las escamas; el análisis estadístico demuestra que la absorción del cadmio y plomo es homogéneo para el Hígado, Escama, Músculo y Médula.

**Palabras claves:** Bioacumulación, biomagnificación, metal pesado, trucha.

## ABSTRACT

The knowledge of the contamination levels by heavy metals cadmium and lead in trout (*Oncorhynchus Mykiss*) will allow the decision making in the field of health and environment as well as in the development of the aquaculture activity and its relation with the contamination with metals heavy. In general, at the social level, it will have a positive impact on agroindustrial development as an economic activity that generates employment in the geographic area of influence of this research.

The study proposed, discloses the levels of lead and cadmium in the scale, muscle, bone tissue and liver of the trout (*Oncorhynchus mykiss*), using atomic absorption spectrophotometry, using the graphite oven method. All the analyzes were carried out in duplicate. For the standard curve, concentrations of 200, 400, 600, 800, 1000 ppm in 50 ml of ultra pure water were prepared from a multielemental sample with an initial concentration of 1000 mg / L equivalent to 1000 ppm using a micro pipette. Resulting in the concentrations in the Lead, Scale 2.37  $\mu\text{g} / \text{g}$ , medulla 0.06  $\mu\text{g} / \text{g}$ , liver, muscle are below the limit of detection. The concentration in Cadmium that describes the results were liver 1.52  $\mu\text{g} / \text{g}$ , scale, medullary muscle are below the limit of detection. According to the European Union. Regulation (EC) No. 1881/2006 of December 19, 2006 and 2017, which sets the maximum content of certain contaminants in food products, the maximum content of lead in fish meat is 0.30 mg / kg and cadmium in fish meat it is 0.050 mg / kg. With a level of 95.0% confidence, having as a result figures lower than or established and failing to find cadmium in the liver that exceeds the permissible limits, being an organ not edible by the human, likewise, like the scales; Statistical analysis shows that the absorption of cadmium and lead is homogenous for the liver, scale, muscle and marrow.

**Keywords:** Bioaccumulation, biomagnification, heavy metal, trout.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

El río Challhuanka del distrito de Challhuanka provincia de Aymaraes departamento de Apurímac, es el cauce de diversos riachuelos que provienen de zonas donde se realiza la actividad minera, el incremento de lluvias y por consecuencia los volúmenes de agua, hacen que el material suelo deslizable en estas zonas se trasladen a los cauces del río Challhuanka trayendo consigo restos de minerales pesados. Estos minerales son principalmente cadmio y plomo. Estos metales se biomagnifican en tejidos de peces y otras especies en los ecosistemas tanto marinos como de agua dulce, desde bajas concentraciones en el plancton y peces pequeños hasta muy altas concentraciones en los organismos de los niveles superiores de la cadena trófica. En los seres humanos como el principal consumidor de peces, se espera una alta bioacumulación es por ello que el pescado es considerado como la principal fuente de contaminación por metales (Agusa et al. 2007; Díez et al. 2008),

Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en aguas y sedimentos del río Challhuanka representa un serio problema para la flora y fauna ictiológica así como la salud de los moradores de las poblaciones que se sirven de este río por la presencia de metales como el plomo, cadmio, etc. Que afecta al sistema nervioso central lo cual se traduce en retraso mental especialmente para los niños.

Estos metales se biomagnifican en tejidos de peces y otras especies en los ecosistemas tanto marinos como de agua dulce, desde bajas concentraciones en el plancton y peces pequeños hasta muy altas concentraciones en los organismos de los niveles superiores de la cadena trófica. En los seres humanos como el principal consumidor de peces, se espera una alta bioacumulación es por ello que el pescado es considerado como la principal fuente de contaminación por metales (Agusa et al. 2007; Díez et al. 2008), hasta el punto que se ha demostrado una correlación entre los niveles de metales en la sangre a través del consumo de pescado.

Los contaminantes ambientales importantes son aquellos que tienden a acumularse en los organismos, que son persistentes debido a su estabilidad química o escasa biodegradabilidad. Entre los innumerables contaminantes, la contaminación por metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en un fenómeno de interés mundial debido a su toxicidad, persistente durante varias décadas en el medio acuático, así como a su bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia (Rajeshkumar & Munuswamy, 2011).

Los metales pesados causan graves efectos tóxicos en los animales acuáticos especialmente en los peces. EL mercurio, plomo, Arsénico y el Cadmio constituyen los elementos causantes de mayores efectos adversos en la salud en base a su toxicidad y actuales niveles de exposición.

El riesgo de exposición de metales pesados se puede dar al comer pescado. Estos metales ha sido ampliamente distribuido en los ecosistemas acuáticos por procesos naturales como consecuencia de actividades antropogénicas que han causado una enorme contaminación desde el siglo pasado, (Camargo, 2002; Wasserman et al, 2003).

## 1.2 Enunciado

### Problema General

- ¿Existe contenidos inadecuados de metales pesados, plomo, cadmio en los tejidos de la trucha especie acuícola *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca, Distrito de Aymaraes Provincia de Apurímac?

### Problema Específicos.

- ¿Existe contenido de cadmio en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la especie acuícola *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca?
- ¿Existe contenido de plomo en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la especie acuícola *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca?

## 1.3 Objetivos

### Objetivo General

- Determinar contenidos de cadmio y plomo en los tejidos de la trucha *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca Provincia de Aymaraes, Departamento de Apurímac.

### Objetivo Específicos

- Determinar el contenido cadmio en la escama, musculo, médula y el hígado de la especie acuícola *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca Provincia de Aymaraes, Departamento de Apurímac.
- Determinar el contenido de plomo en la escama, musculo, médula y el hígado de la especie acuícola *Oncorhynchus mykiss* en la cuenca del rio Chalhuanca Provincia de Aymaraes, Departamento de Apurímac.



## 1.4 Justificación

El estudio se ha planteado, conocer los niveles de plomo y cadmio en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) mediante el uso del espectroscopia de absorción atómica horno de grafito los resultados permitirán conocer los niveles de biomagnificación de estos metales en trucha.

El conocimiento de los niveles de contaminación por metales pesados cadmio y plomo en trucha (*Oncorhynchus mykiss*) permitirá la toma de decisiones en el campo de la salud y medio ambiente como también en el desarrollo de la actividad acuícola y su relación con la contaminación con metales pesados. En general en el plano social repercutirá positivamente en el desarrollo agroindustrial como actividad económica generadora de empleo en la zona de influencia geográfica de la presente investigación.

Uno de los elementos más importantes en los ecosistemas acuáticos son los peces, los cuales se encargan de transformar la energía contenida en los organismos de niveles tróficos inferiores en energía capaz de ser aprovechada por el ser humano. Los peces dulceacuícolas viven en las más variadas masas de agua siempre y cuando estas ofrezcan un mínimo de condiciones de espacio, persistencia y calidad. El aprovechamiento de los peces por el hombre nos lleva a la aparición de una nueva disciplina que trata de la conservación y producción de la fauna acuática, con fines de consumo alimenticio u ornamental, surgiendo una biotécnica llamada Acuicultura.

La acuicultura puede constituir una contribución importante para la nutrición en el departamento de Apurímac en virtud esta es un potencial agroindustrial tanto de su gran productividad en muchas situaciones, Se debe hacer notar que ciertos organismos acuáticos pueden ser mejores convertidores de alimentos básicos que los rumiantes, aves e incluso puercos. Algunos se alimentan de plancton microscópico que pueden ser usados directamente por el hombre, tales como peces y moluscos filtradores de alimento. La acuicultura tiene la potencialidad de producir grandes cantidades de alimento rico en proteínas y de bajo costo. Llegando hacer gran potencial agroindustrial.

## 1.5 Delimitación.

Siendo una investigación reciente en la región, carece de antecedentes, por lo que, al adquirir de información y datos debemos seleccionar con cuidados para resultados verídico.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. TRUCHA ARCO IRIS

##### 2.1.1. Características de la trucha arco iris.

La trucha arco iris presenta un color verde olivo oscuro en el dorso con tinte más claro en los flancos que tiene reflejos rosas, azules, violetas y cobrizos. Tiene una franja iridiscente que refleja la luz, de donde deriva su nombre y con manchas negras y pequeñas distribuidas en todo su cuerpo, el cual es alargado, ligeramente comprimido, de una longitud promedio de 40 a 60 cm. La longitud de la cabeza es el 20% de la longitud total, esto es sobre todo en machos, dependiendo del grado de madurez sexual; ojos de tamaño moderado, boca terminal ligeramente oblicua, algunas veces grande: premaxilar protráctil, maxilar largo pasando ordinariamente el ojo, dientes bien desarrollados sobre las dos mandíbulas (premaxilar, maxilar y dentario). Presenta de dieciséis a veintidós Branquiespinas, ordinariamente de seis a nueve en la rama superior, once a trece en la rama inferior, radios branquiostegos de nueve a trece, el número varía de un lado a otro. Presenta dos aletas dorsales, la primera aleta a mitad de cuerpo, mediana, con radios blancos de diez a doce principales y la segunda aleta es un repliegue dérmico, sin radios, conocida como aleta adiposa. Aleta caudal mediana, moderadamente furcada en los individuos grandes, aleta anal corta y baja, borde derecho con ocho a doce radios, aletas abdominales pequeñas, aleta pectoral no larga, más bien puntiaguda con once a diecisiete radios, escamas cicloides pequeñas pero en número variable según las poblaciones, línea lateral completa, ligeramente encorvada; de cien a ciento cincuenta escamas perforadas en la línea lateral. La columna vertebral con sesenta a setenta y seis vertebras. El aparato digestivo consta de un estomago con un número de ciegos pilóricos de veintisiete a ochenta y un corto intestino. Los órganos de los sentidos incluyen la vista, el oído muy rudimentario en la cabeza y que sirve principalmente para el equilibrio, el tacto desarrollado en todo el cuerpo y principalmente en la línea y el olfato altamente desarrollado (Blanco,1994).



*Figura 1:* Aguilera P., Noriega P. 1985, La trucha y su cultivo, Secretaria de Pesca. FONDEPESCA, México

### 2.1.2. Clasificación taxonómica de la trucha arco iris

Reino: Animal

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Superclase: Pisces

Clase: Osteichthyes

Subclase: Actinopterygii

Orden: Salmoniformes

Familia: Salmonidae

Género: *Oncorhynchus*

Especie: *mykiss*

Nombre científico: *Oncorhynchus mykiss*

Nombre común: Trucha arco iris

### 2.1.3. Hábitat

La trucha es un salmónido que habita en las aguas frías, claras oxigenadas de los lagos y arroyos en altas altitudes. En zonas tropicales y subtropicales, habita en arroyos de agua corriente pero en zonas de gran altitud (superior a 1 500 m.s.n.m.) cuyas temperaturas en los meses más cálidos no rebasen los 21°C. Es originaria de la vertiente del Pacífico de América del Norte desde Alaska hasta California. En México, su distribución natural abarca corrientes de aguas frías y cristalinas de las zonas montañosas, valles y depresiones más altas de los estados de Baja California, Sinaloa, Sonora, Chihuahua. Como resultado de los programas de siembra y repoblación llevados a cabo por diversas dependencias, su distribución abarca las zonas templadas y frías (Ortega, 2000).

#### 2.1.4. Ciclo de Vida

El ciclo de vida de la trucha arco iris se lleva a cabo en corrientes de agua dulce y en embalses naturales, de tal manera que no ocurre una migración hacia el mar. Se describen cinco etapas de desarrollo durante el ciclo de vida son huevo, desarrollo embrionario y eclosión, alevín, cría, juvenil y adulto ó edad reproductiva. En cautiverio está en función del manejo que se le aplique a los reproductores. La hembra madura por primea vez a los 18 meses, el tamaño de los huevos depende del peso y de la edad de las hembras, por lo que se recomienda usar hembras reproductoras de tres años o más (Camacho, 2000).

- **Desarrollo biológico**

El desarrollo biológico de la trucha comprende ciertas etapas según el departamento de Pesca y Acuicultura, que va desde los huevos fertilizados, hasta llegar a la etapa de reproductores. Y cada uno de ellos posee ciertas características diferenciales.

Sin embargo solo se describirán las etapas que se desarrollaran en el proceso productivo para el desarrollo de dicho proyecto; considerándose así las siguientes etapas:

- Etapa de Ovas:** Son los huevos fecundados que después de un promedio aproximado de 30 días de incubación, eclosionan para convertirse en larva, esta fase larvaria puede durar entre 15 y 30 días, dependiendo de la temperatura del agua.
- Etapa de Alevinaje:** esta etapa comprende el cultivo de trucha arco iris, desde su talla promedio de siembra 2,5 cm hasta 10 cm; con pesos promedios entre 0,19 a 12,5 g respectivamente; esta fase tiene una duración de 3 meses, según Produce – 2009.
- Etapa Juvenil:** Esta etapa comprende tallas de cultivo de 10 hasta 18 cm, con pesos promedios de 12,5 a 30,7 g; respectivamente, esta fase tiene una duración de 2 a 3 meses, según Produce – 2009.
- Etapa de Pre – Engorde:** Durante esta etapa los peces se encuentran hasta alcanzar la talla de 18 - 22 cm, con pesos respectivos de 30,7 a 67 g. Esta fase tiene una duración de dos meses, según Produce – 2009.
- Etapa de Engorde (Tamaño Comercial):** En esta fase las truchas se encuentran hasta alcanzar el tamaño comercial, es decir de 22 a 28 cm con pesos aproximados de 200 – 250 g, que es el peso que mayormente es demandado por el mercado regional. Esta etapa tiene una duración de 2 meses, según Produce – 2009.

**f. Etapa de Reproductores:** con tallas de 30 cm a más, y pesos entre 350 y 400 g obteniéndose después de los 11 - 13 meses, que tienen que tener un período de cultivo como mínimo de 3 años en las hembras y a los 2 o dos años y medio los machos según CEDEP – 2009.

- **Apareamiento**

La trucha arco iris se reproduce en las partes altas de los ríos, donde las hembras una vez que alcanzan la madurez depositan los huevos, este evento tiene lugar en los fondos de grava de un río ó arroyo con una velocidad de corriente rápida. Su reproducción la llevan a cabo durante los meses de Septiembre a Febrero, desovando en torrentes poco profundos, de fondo gravoso y aguas claras, en los que la hembra excava nidos normalmente en presencia del macho, que no toma parte en la construcción, sino que se emplea en establecer peleas por la posición de la hembra. Los movimientos vigorosos del cuerpo de la hembra sobre la grava fina del fondo producen una depresión en forma de cuenca. La producción simultánea de los óvulos y la esperma es esencial, ya que este último solo es capaz de vivir en el agua durante un minuto cuando mucho. Los espermatozoides son organismos que se mueven activamente y es presumible que sean atraídos por los óvulos mediante algún estímulo químico. Cuando un espermatozoide penetra en el óvulo a través del micrópilo, este se cierra, impidiendo la entrada a un segundo espermatozoide (Camacho, 2000).

### 2.1.5. Hábitos Alimenticios

La trucha arco iris es una especie carnívora entomófaga, ligeramente ictiófaga, las crías de trucha son zooplanctófagas, consumen cladóceros y copépodos al pasar a la etapa juvenil o de adulto completamentan su alimentación con crustáceos, moluscos, lombrices, ajolotes, etc. la trucha arco iris al estar sujeta a un sistema de cultivo intensivo depende su alimentación completamente de alimentos balanceados ricos en proteínas. (Zamora. 1986). El proceso de engorda de la trucha se calcula entre los ocho y diez meses, tiempo en el cual alcanza su talla comercial (Higuera, 1987).

### 2.1.6. Partes Anatómicas de trucha

- **Aspecto Exterior**

**Tegumento** La piel es la primera barrera de protección del pez frente al medio acuático. Esta es húmeda y tiene en la epidermis glándulas mucosas que a través de la secreción de mucus lubrican la piel y la protegen de agentes externos nocivos. El mucus puede aumentar por agentes irritantes, parásitos y bacterias y, por otra parte, le permite al pez desplazarse

mejor. El olor típico de los peces está dado por el mucus. También se encuentran en la piel una cubierta de escamas que protegen al cuerpo y una serie de pigmentos y células sensitivas de la línea lateral. Algunos peces recién nacidos, como las truchas, no tienen escamas. Estas se forman a medida que crecen, comenzando aproximadamente a desarrollarse desde los tres centímetros de longitud a partir de la dermis. Las escamas tienen cuatro campos: anterior, posterior y dos laterales; solo el posterior es visible; el resto está cubierto por la dermis. Todos los factores que influyen en el crecimiento se traducen de alguna manera en la escama. De todos estos factores quizá el más importante sea la alimentación, ya que cuando el pez se alimenta abundantemente, la escama presenta una zona bien calcificada y ancha y cuando el pez deja de alimentarse (por causas como frío, reproducción o disminución en la cantidad de alimento) hay poca calcificación y se forma una zona estrecha que se interpretaría como anillo de crecimiento. Mediante el estudio de las escamas se puede determinar en algunos casos la edad y el número de frezas, entre otras cosas. Los pigmentos son sustancias químicas producidas en su mayoría por el pez. Se alojan en células especializadas llamadas cromatóforos o están impregnados en los tejidos. Estos pigmentos pertenecen a cuatro grupos principales: carotenoides, flavinas, melaninas y guaninas. La melanina es sintetizada en la dermis en células llamadas melanóforos que según su concentración producen color pardo, gris o negro. Las guaninas son cristales macroscópicos de desecho metabólico que se depositan en la superficie de la escama dando una cubierta plateada altamente reflectiva. Los carotenoides son pigmentos de tonalidad anaranjada que no son sintetizados por el pez, sino que deben ser incorporados por el alimento, ya sea a través del balanceado o por medio de crustáceos en el ambiente natural. Luego sí son reelaborados por el pez y fijados a los tejidos adiposos. La flavina produce color rojo o amarillo. Las coloraciones de los peces pueden deberse también a fenómenos físicos de refracción de la luz. Por ejemplo, las guaninas pueden dar coloraciones iridiscentes. Estos cambios de color les sirven para camuflarse, reconocer especies, sexo, etc. (Mancini, M. 2002)

- **Órganos y sentidos**

**Vista** Los ojos de los peces carecen de párpados y de glándulas lagrimales. Los cristalinos esféricos sobresalen y al estar ubicados a ambos lados de la cabeza, le permite al pez ampliar su campo visual. Para enfocar la imagen sobre la retina, en vez de modificar la curvatura del cristalino como en el caso del humano, los peces lo hacen acercando o

separando el cristalino mediante el ligamento que lo sostiene. En general, los peces están adaptados a una visión cercana y de poca luz.

**Tacto** Es bastante complejo ya que los peces están inmersos en un medio líquido y una vibración lenta puede ser percibido desde lejos a diferencia del medio aéreo. Hay papilas táctiles distribuidas a lo largo del todo el cuerpo, muy abundante en las barbas o barbillones y en la línea lateral. Esta última por ejemplo le permite percibir ondas de presión en el agua.

**Olfato** Al estar las partículas disueltas en el agua, no se puede precisar bien si se trata de sentido del gusto o del olfato, pero se lo toma como olfato. Es un sentido a distancia que le permite detectar presas, enemigos, presencia de un curso de agua, etc. Los peces poseen dos orificios nasales los cuales están separados por un puente a cada lado de la cabeza, un orificio de entrada y uno de salida. En cada canal hay células sensoriales especiales que se comunican con el cerebro. El olor disuelto en el agua al ponerse en contacto con esas células es transmitido al cerebro y de esa forma es percibido. En otros peces, en cambio, hay una sola abertura de cada lado. Puede existir también un repliegue epitelial en forma de pabellón que permite captar mejor los olores.

**Gusto** Radica en los llamados botones gustativos que son células sensibles a ciertas sustancias químicas relacionadas con los alimentos, que están distribuidos en el interior de la boca, faringe, esófago y epitelio bucal.

**Audición y equilibrio** El oído es a la vez el órgano del equilibrio. No hay oído externo ni medio, solo interno. Existe una serie de canales que contienen endolinfa. Cuando el pez se mueve este líquido lo denota y lo transmite al S.N., regulando la posición si fuese necesario. Por otra parte en el utrículo hay otolitos (concreciones calcáreas que también sirven para saber la edad de los peces) que están rodeados de "pelos" sensibles, y según se apoyen los otolitos en unos u otros pelos el pez advierte si esta derecho o inclinado. En el sáculo hay dos otolitos mas que están conectados con el nervio auditivo, encargado de recoger vibraciones sonoras. (Mancini, M. 2002)

- **Anatomía Interna**

**Aparato respiratorio** El opérculo es la cubierta ósea que tapa las branquias o "agallas". Por medio de las branquias respiran los peces, las que están formadas por un fino epitelio muy sensible a las características del agua (materias en suspensión, pH), falta de vitaminas y presencia de agentes biológicos (parásitos, bacterias, hongos). El intercambio entre el O<sub>2</sub>



y el CO<sub>2</sub> de la sangre se produce a nivel de las laminillas branquiales. Durante el proceso respiratorio el pez mantiene los opérculos cerrados, abre la boca, el agua entra por succión y se llena la cavidad bucal. Luego cierra la boca y el agua pasa por una amplia abertura branquial saliendo al exterior a través de los opérculos. La circulación de la sangre es en contracorriente con respecto a la del agua, logrando así que el intercambio de gases sea de hasta aproximadamente el 80 %; de lo contrario solo sería del 50 %. La frecuencia respiratoria dependerá del estrés, contenido de oxígeno disuelto del agua, nivel de metabolismo, temperatura, etc. Las branquias además de participar en la respiración también participan en la regulación de sales y agua entre el pez y el medio acuático. El CO<sub>2</sub> es un gas altamente hidrosoluble de modo que se libera fácilmente por las branquias. El intercambio gaseoso tiene lugar en las laminillas secundarias. En comparación con los animales de respiración aérea, el gasto energético es muy alto, especialmente cuando el O<sub>2</sub> es bajo, cuando el agua se presenta contaminada y en momentos de temperaturas elevadas. En las laminillas secundarias se encuentran linfocitos, fagocitos, eosinófilos y en los peces eurihalinos hay células pálidas de secreción salina. En los peces planctónicos existen las branquiespinas que sirven para retener el plancton. Hay una relación estrecha entre tamaño y número de branquiespinas y dieta del pez. (Mancini, M. 2002)

- **Sistema digestivo**

**Boca** Algunos peces no tienen dientes o si los tienen son muy pequeños, como en el caso de los planctófagos o fitófagos. Los dientes pueden ser vomerianos (en el paladar superior), maxilares, pueden estar ubicados en la lengua o en la faringe (misión trituradora). Estos últimos se encuentran en el quinto arco branquial modificado que carece de branquias, como en el caso de la carpa común (*Cyprinus carpio*) y de la carpa herbívora o "sogyo" (*Ctenopharyngodon idella*). Los dientes están concebidos más para la captura de los alimentos que para la masticación y están mucho más desarrollados en el caso de los animales ictiófagos como el dorado (*Salminus maxillosus*) y la tararira (*Hoplias malabaricus*). En estos peces predadores la boca es terminal y de gran tamaño. No presentan glándulas salivales, si en cambio glándulas mucosas.

**Faringe y esófago** La faringe actúa fundamentalmente como filtro evitando que pasen las partículas del agua a los delicados filamentos branquiales, participando de en este acto también los rastrillos branquiales. El esófago comunica la faringe con estómago, siendo generalmente de paredes gruesas, lo que le permite distenderse para el pasaje de presas o de alimento. **Estómago** Es de distinta forma y tamaño según la especie. En las especies



predadoras o carnívoras es amplio y con paredes distendibles que le permite dilatarse para facilitar la entrada de grandes presas. La salida del estómago al intestino esta limitada por el píloro. En los salmónidos, el alimento en el estómago se desmenuza realmente por acción de ácidos, enzimas digestivas (como la pepsina que digiere en parte las proteínas) y por acción trituradora de las paredes del estómago. Alrededor del estómago hay una serie de estructuras que conforman los ciegos pilóricos, los que se hallan rodeados generalmente por tejido adiposo blanco, salvo en situaciones de ayuno. Siempre hablando de salmónidos, dentro de ese tejido adiposo se encuentra el páncreas. La función que cumplen los ciegos pilóricos es absorbente y de neutralización de acidez, creando mayor espacio adicional para la digestión. En otras especies como en el caso de los Acantinopterigios (pejerrey), el páncreas está disperso en el hígado constituyendo el hepatopáncreas.

**Intestino** Las enzimas desdoblan las grasas, proteínas y azúcares que luego de atravesar la pared intestinal son llevados al hígado. El resto de alimentos como fibras, restos de caracoles, etc., se evacuan junto con las heces. El largo del intestino es variable, siendo corto en los depredadores y muy largo en los fitófagos. El alimento utilizado en la forma de balanceado comercial tiene alta cantidad de proteína (en algunos casos superior al 40%) y alta cantidad de energía (dada principalmente por lípidos). En general un coeficiente de conversión bueno es de alrededor de 1,2 - 1,4:1. El exceso de grasa es utilizado como energía y se almacena principalmente en músculo. El tiempo que tarde en recorrer el alimento el tubo digestivo puede variar desde unas pocas horas hasta días, dependiendo de los distintos procesos metabólicos que están dados principalmente por la temperatura, ya que a mayor temperatura se aceleran.

**Hígado** Es la principal fábrica del organismo interviniendo en distintos procesos metabólicos. Es blando, de color pardo rojizo y muy voluminoso, presentando en ocasiones de color rosa – crema, situación que no siempre indica un cuadro patológico. El hígado suele sufrir de infiltración grasa debido a ingestión de alimentos en mal estado o en casos de sobrealimentación. La vesícula biliar está bien desarrollada. El colédoco vierte en la primera porción del intestino delgado la bilis, que emulsiona las grasas para que sean fácilmente atacadas por las lipasas pancreáticas. Por su parte el páncreas segrega amilasas, tripsina y quimiotripsina. El conducto pancreático vierte casi siempre en el colédoco. (Mancini, M. 2002)

- **Sistema excretor**

El riñón es una formación pardo-negruzca que se extiende en la parte superior del abdomen desde la cabeza hasta el ano, hacia ventral de la columna vertebral y dorsal de la vejiga gaseosa. En algunos peces, como en la trucha, al principio es un órgano par y luego, en el adulto, se transforma en impar. Es el principal filtro del organismo. Filtra la sangre a través de los glomérulos y la conduce por tubos a conductos pares, los uréteres, que la llevan a la vejiga que se encuentra por encima del ano. El conducto de la vejiga vierte a través de la abertura urogenital, que sirve también para la expulsión de las ovas. La excreción se basa fundamentalmente en: Filtración: Dada principalmente por diferencias de presión y por diferencias de Peso molecular. Reabsorción: Recuperación de sustancias no desechables. Secreción: Expulsión de sustancias tóxicas que se encuentran en concentraciones excesivas.

Los peces excretan casi todo el nitrógeno en forma de amoníaco (90 %). Solo una pequeña parte (10 %) sale en forma de urea. El principal órgano excretor del amoníaco son las branquias. El agua dulce tiene una concentración de sales menor que la del pez, por lo que tiende a penetrar en el organismo (a través de las branquias y faringe principalmente). El riñón debe eliminar el agua en exceso produciendo orina diluida, mientras que en las branquias se recuperan sales en forma activa (las branquias también juegan un rol importante en la osmorregulación). En agua de mar ocurre lo contrario, y los peces la tienden a eliminar sales por medio de las branquias, produciendo orina en pequeñas cantidades (Mancini, M. 2002).

- **Sistema circulatorio**

La circulación en los peces tiene las características de ser simple, ya que pasa una sola vez por el corazón, y cerrada, porque no sale de los vasos. Por el corazón siempre circula sangre impura (no oxigenada) o venosa. El corazón consta de dos cavidades, una anterior, la aurícula y una posterior, el ventrículo. Este último de forma triangular y muy musculoso, que le permite proporcionar la presión principal al interior de una estructura blanca, el cono arterioso, que actúa como equilibrador de presión elástica, convirtiendo el impulso del corazón en una oleada uniforme de sangre hacia las branquias, de donde a su vez, pasa al resto del organismo para proporcionar oxígeno a paso a través de los tejidos es relativamente lenta. En los capilares el O<sub>2</sub> es intercambiado por el CO<sub>2</sub> y productos de desecho. La sangre finalmente vuelve al corazón por medio de la vena cava o principal,

que pasa a través de los riñones. En algunos peces, como en el caso d volumen de la linfa es bastante superior al de la sangre.

**Sistema esquelético.** El esqueleto de los salmonídeos está formado principalmente de dos partes: cabeza y columna vertebral. La columna vertebral está constituida por una sección de piezas óseas, articuladas entre sí, llamadas vértebras y cuyo número varia de una especie a otra. Cada vértebra presenta hacia arriba y hacia abajo una saliente llamada apófisis (neuro espina y hemoespinas) que en la región del tronco están sustituidas por las costillas, determinando la cavidad del cuerpo (Mancini, M. 2002).

### 2.1.7. Valores nutricionales de la trucha

**Cuadro 1. VALOR NUTRITIVO ESTIMADO EN GRAMOS**

VALOR NUTRITACIONAL	
Proteínas:	15,7 g
Fibra dietética:	0 g
Carbohidratos:	0 g
Grasas:	3 g
Calorías:	91kcal

Fuente. E. Camacho, 2000

## 2.2. Agua

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

Desde el punto de vista de la salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo humano, a través de los órganos excretores, en especial la orina y el sudor. Sin embargo, por esta misma propiedad, puede transportar una serie de sustancias tóxicas al organismo que pueden afectar a diferentes órganos, de manera reversible o irreversible.

### **2.2.1. Aspectos Físicoquímicos del agua**

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química.

Algunos procesos fisicoquímicos que ocurren en el agua pueden ser evaluados si se recurre a los principios de equilibrio químico, incluida la Ley de Acción de Masas y la Ecuación de Nerst o al conocimiento de los mecanismos de reacción y de las proporciones para los procesos irreversibles.

### **2.2.2. Potencial de hidrogeniones (pH) del agua**

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática (por debajo de 7 son ácidas y por encima de 7 son alcalinas). Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática.

### **2.2.3. Conductividad eléctrica**

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La Conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que ese sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la Conductividad.

#### 2.2.4. Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de Oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

#### 2.2.5. Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

#### 2.2.6. Turbiedad

La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua.

#### 2.2.7. Agua de Río Chalhuanca

El río es una corriente natural de [agua](#) que fluye con continuidad. cauce de riachuelos entre ellos, río de Cotaruse, Colca, Caraybamba, Pillhuara, Hunchiña, las lagunas y lagunillas más importantes de la provincia son: Lagunas de Chaquiccocha, Chaccacocha, Huancacocha y Uchacha, Las cuencas hidrográficas más importantes de la provincia de Aymaraes son: La cuenca del río Chalhuanca, en la provincia de Aymaraes que se une con el río Antabamba para formar el río Apurímac, desembocando al Amazonas y a su vez al océano atlántico.

### 2.2.7.1. Calidad físico- químico y microbiológico del agua del rio

La calidad físico- químico y microbiológico del agua del rio se expresa en el cuadro dos

**Cuadro 2. Resultados del primer monitoreo de la calidad de las aguas del rio de Aymaraes 2009.**

PARAMETRO EVALUADOS	UNIDAD	NORMA LEGAL E.C.A. PARA AGUA D.S N 002-2006 MINAM					
		E-10	E-11	A1	B1	BEBIDAS ANIMALES	RIEGO VEGETAL
CADMIO	mg/l	<0.006	<0.006	0.003	0.01	0.01	0.005
CROMO	mg/l	<0.004	<0.004	0.05	0.05	1	0.1
COBRE	mg/l	<0.010	<0.010	2	2	0.5	0.2
HIERRO	mg/l	0,221	0,237		0.3	1	1
PLOMO	mg/l	<0.010	<0.011	0.01	0.02	0.05	0.06
ZINC	mg/l	0.02	1.02	3	3	24	2

Fuente. Mesa de medio ambiente de la provincia de Aymares, 2009.

### 2.2.7.2. Contaminación

El agua es un recurso renovable en peligro por culpa de la actividad humana. Toda el agua pura procedente de las lluvias, ya antes de llegar al suelo recibe su primera carga contaminante, cuando disuelve sustancias como anhídrido carbónico, óxido de azufre y de nitrógeno que la convierten en lluvia ácida. Ya en el suelo, el agua discurre por la superficie o se filtra hacia capas subterráneas. Al atravesar los campos el agua del río se carga de pesticidas y cuando pasa por ciudades arrastra productos como naftas, aceites de auto, metales pesados, etc. Los ríos muestran una cierta capacidad de deshacerse de los contaminantes, pero para eso necesitan tener un tramo muy largo en las cuales las bacterias puedan realizar su trabajo depurador.

#### a. Movimiento de residuos de metales pesados en el Ambiente

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Si bien los metales pesados tienen una actividad tóxica reconocida a concentraciones altas, los organismos vivos tienen necesidad vital de alguno de ellos, ya que son necesarios para diversas funciones fisiológicas.

## **b. Metales pesados en el cuerpo de agua**

Las aguas superficiales y subterráneas contienen siempre en estado natural una serie de sales disueltas, éstas se originan por el contacto del agua en movimiento con los diversos materiales del suelo y subsuelo. De la misma forma, el agua recoge materia orgánica natural de las hojas, hierbas y vegetación en diversos estados de biodegradación y, diluye gases atmosféricos. El resultado de estos contactos es que el agua acumula ciertas cantidades de impurezas naturales por disolución o reacción química seguida de disolución (Hem, 1961). En aguas superficiales, los metales pesados existen en forma de coloides, partículas, y como fases disueltas, aunque debido a su baja solubilidad estas últimas suelen presentar concentraciones muy bajas en forma iónica o complejos organometálicos. En las formas coloidales y partículas los metales pesados aparecen como hidróxidos, óxidos, silicatos, sulfuros, o adsorbidos en minerales del grupo de arcillas, sílice y materia orgánica. La solubilidad de los metales pesados en las aguas superficiales está controlada por el pH, el tipo de ligantes en los que se encuentran adsorbidos, el estado de oxidación de las fases minerales y el ambiente redox del sistema (Connell et al, 1984). En las aguas subterráneas, el comportamiento de los metales pesados es función de la composición del acuífero, la composición de la materia en suspensión y la composición química del agua. De este modo los acuíferos con mayores niveles de metales adsorbidos serán aquellos constituidos por arenas finas y limos. Además, los metales pesados tienen una gran afinidad por los ácidos húmicos, arcillas orgánicas y óxidos cubiertos de materia orgánica (McCullough et al., 1999). La química del agua controla la tasa de adsorción/desorción de los metales hacia y desde el acuífero. La adsorción elimina el metal del agua y lo almacena en el acuífero, mientras que la desorción devuelve los metales al agua, favoreciendo su movilización. La desorción de los metales suele producirse debido a los siguientes cambios físico-químicos en el agua:

(1) aumento de la salinidad, que produce una competitividad entre los metales y los cationes, (2) disminución del potencial redox, que se da normalmente bajo condiciones deficitarias de oxígeno, y (3) disminución del pH, que provoca un incremento de la competitividad entre los metales y los iones hidrógeno, además de producirse una disolución de los complejo metalcarbonato, liberándose los iones del metal en el agua. Una inversión de estas condiciones favorece la adsorción de metales por los minerales del acuífero (López et al., 2001).

La concentración natural de metales en los ecosistemas acuáticos dependen de su distribución, meteorización y lixiviación en el área de la cuenca hidrográfica al que

pertenece (Tulonen et al., 2006); sin embargo, los niveles naturales en el ambiente acuático se han incrementado debido a la actividad antropogénica que libera contaminantes de forma doméstica, industrial, minera y agrícola, en concentraciones que no permiten la utilización posterior del agua debido a los cambios físico-químicos y a los efectos devastadores sobre el equilibrio ecológico del medio ambiente receptor (Vosyliene y Jankaite, 2006; Farombi et al., 2007; Russell et al., 2008; Chung, 2011). Algunos productos químicos antropogénicos son poco probable que entren en el medio acuático debido a la forma en que se utilizan. En otros casos, los procesos de degradación, tales como el metabolismo microbiano, la hidrólisis acuosa, o fotólisis, disminuyen notablemente las concentraciones de las sustancias químicas antes o después de entrar en los sistemas acuáticos, reduciendo así la probabilidad de exposición significativa de los organismos acuáticos (Russell et al., 2008). Aunque asociamos a los metales pesados con la contaminación directa del agua y los alimentos mediante vertidos, en realidad son transportados en su mayor parte de un lugar a otro a través del aire, como gases o especies absorbidas, o como especies adsorbidas en las partículas materiales suspendidas. Así, por ejemplo, cerca de la mitad de la entrada de metales pesados en los Grandes Lagos (grupo de cinco lagos en la frontera entre Canadá y Estados Unidos) es debida a la deposición desde el aire (Baird, 2001); además, los lagos son considerados más sensibles a la contaminación debido a que remueven su contenido relativamente más lento (USEPA, 1994) a comparación de los mares y ríos.

#### **c. Distribución y niveles de metales pesados en agua**

La concentración de metales en agua superficial contribuye a la acumulación de metales en branquias y riñón de peces. Las branquias se exponen a metales a través del agua ya que están constantemente en contacto directo. Los riñones están expuestos a los metales del agua porque la sangre fluye desde las branquias a la arteria carótida, que aporta sangre al riñón. (Farell, 1993) En general, el orden de acumulación de metales pesados en la red trófica es como sigue: capa biológica=sedimentos>invertebrados>peces (Deacon & Driver, 1999). Aunque las concentraciones absolutas de metales están más elevadas en la capa biológica y sedimentos, se ha cuestionado que los metales se biomagnifiquen en peces. Los datos de un estudio realizado por (Farag, y otros, 1998), demuestran que los metales. Son biodisponibles y que aunque no se biomagnifiquen a través de niveles tróficos, sí se bioacumulan a concentraciones que causen efectos fisiológicos en peces.

#### **d. Niveles de metales pesados en invertebrados acuáticos**

Los metales presentes en los tejidos de invertebrados nos documentan una ruta a través de la cual los metales se mueven hacia arriba en la cadena trófica. Tanto es así, que los



invertebrados pueden influir en las concentraciones de los metales acumulados en los macroinvertebrados bénticos y por tanto en peces.

**e. Distribución y niveles de metales pesados en peces**

Los metales pesados pueden entrar en los peces por 3 posibles vías: a través de las branquias, considerada como la vía más directa e importante, a través de la ingestión de comida, también importante, y por último y con una importancia menor, a través de la superficie corporal (Amundsen, 1997).

**f. Factores que afectan la acumulación de metales pesados en peces**

El medio acuático puede ser dividido en tres compartimentos principales: agua, sedimentos y organismos vivos. Los elementos metálicos naturalmente presentes en el medio ambiente o introducidos artificialmente por las actividades humanas se reparten en estos compartimentos en función de diferentes mecanismos de naturaleza química, física o biológica. Los intercambios entre estos compartimentos estarán influenciados por las variaciones de los factores ecológicos abióticos (características físicoquímicas del agua y de los sedimentos) o bióticos (hábitat, régimen alimentario, naturaleza y cantidad de alimento disponible) y por las variaciones del débito fluvial según las estaciones y fluctuaciones climatológicas (Anadon, y otros, 1984)

- **Vía de entrada de los metales pesados**

Ingestión versus absorción de agua. Las branquias son el principal lugar de ingreso para sustancias disueltas en el agua. Este tejido está expuesto a cantidades mucho mayores de tóxicos que los pulmones de un animal terrestre. En las branquias el agua y la sangre fluyen a contracorriente, el epitelio es muy delgado, sólo dos capas de células, con una gran área de contacto. Hay tóxicos que son principalmente absorbidos de los alimentos y otros del agua respirada. Por ejemplo; el 90% del mercurio acumulado en los peces entra vía la ingesta.

- **Dieta de los peces**

La dieta y hábitos alimenticios pueden condicionar los niveles de metales pesados ingeridos. (Kock, 1998) encontraron una correlación positiva entre el contenido de Pb de la ingesta y sus niveles en estómago e intestino de los peces.

- **Estación del año**

La estación del año no es un factor que influya de forma directa en la acumulación de metales pesados en los peces. Son otros factores relacionados con los cambios estacionales,

como la composición de la dieta (comentada anteriormente) y las precipitaciones (agua de escorrentía) las que más influyen.

- **Concentración de sales en agua**

El Ca sobre todo y menos el Mg, compiten con los mismos sitios de unión que los metales pesados, sobre todo en las branquias de los peces. De esta forma existirá una relación negativa entre los iones de Ca y Mg del agua (dureza) y la asimilación de metales pesados.

- **Diferencias Interespecíficas**

Existen diferencias de acumulación de metales entre las distintas especies. Esto ha sido comprobado por casi todos los estudios realizados sobre acumulación de metales en diversas especies que comparten el mismo hábitat (Amundsen, 1997). A grandes rasgos, las diferencias de acumulación entre especies parecen estar relacionado con el estatus trófico que ostentan.

**g. Toxicidad de metales pesados para los peces**

Se podría establecer tres umbrales críticos para el contenido de metales: un primer umbral, a nivel de trazas, donde los metales esenciales juegan su papel de activadores enzimáticos indispensables en el metabolismo; un segundo umbral, que determina una absorción pasiva, donde los metales van acumulándose en ciertos órganos; y un tercer umbral, incompatible con los fenómenos vitales, que desencadena procesos de defensa que tienden a disminuir la permeabilidad y el paso de estos metales a través de las membranas celulares (Labat, y otros, 1974)

- Toxicidad del Zinc
- Toxicidad del Cadmio
- Toxicidad del Plomo
- Toxicidad del Cobre
- Toxicidad del Cromo
- Toxicidad del Mercurio, etc.

## 2.4. Área geográfica de estudio

El área de estudio es el río de Chalhuanca provincia de Aymaraes departamento de Apurímac con Latitud -14,2952, longitud -73,2423 y altitud 2911msnm. El tramo de colección de muestras es de 500 metros paralelo a la ciudad de Chalhuanca, dando inicio la comunidad Pairaca hasta final de la ciudad barrio de camani, siendo el río Chalhuanca

al borde de la carretera panamericana central, cauce de riachuelos entre ellos, río de Cotaruse, Colca, Caraybamba, Pillhuara, Hunchiña, comunidades con actividad minera informal.

Siendo conjunto de sistemas hidrográficos una importancia fundamental en el desarrollo socio económico de los pueblos, como fuente de energía eléctrica, desarrollo agropecuario a través de irrigaciones, criaderos de peces entre otros. Las cuencas hidrográficas más importantes de la provincia de Aymares, departamento de Apurímac son:

- La cuenca del río Chalhuanca, en la provincia de Aymaraes

Las lagunas y lagunillas más importantes de la provincia son:

- Lagunas de Chaquiccocha, Chaccacocha, Huancacocha y Uchacha, en Aymaraes

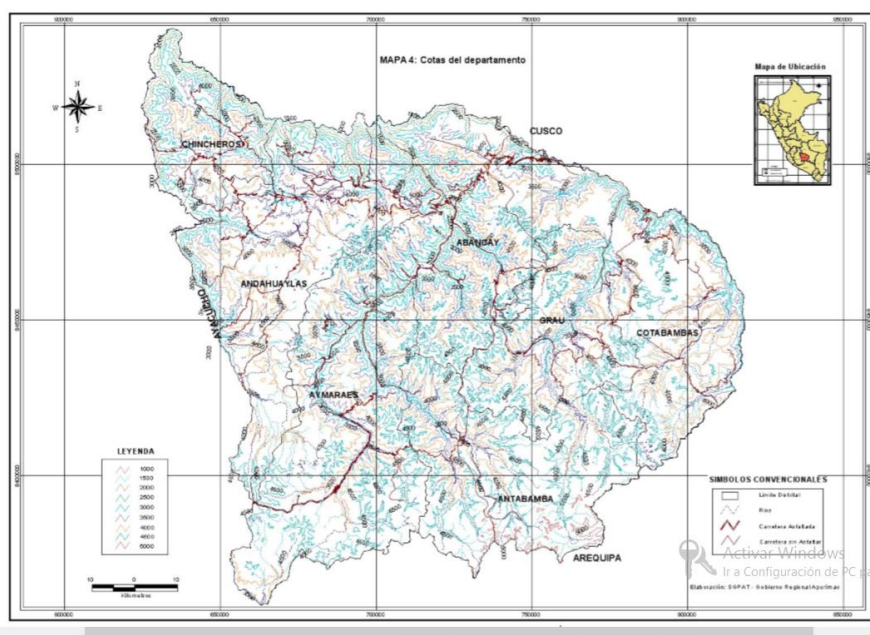


Figura 2. Mapa de departamento de Apurímac, PDCA

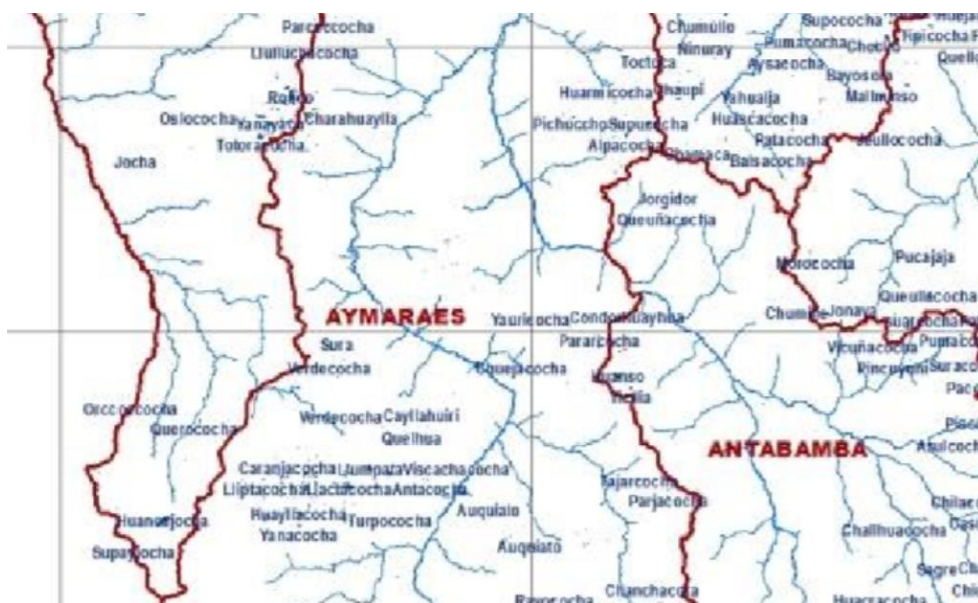


Figura 3. Mapa de departamento de Apurímac, PDCA

**Recursos Mineros.** La reconocida existencia de una gran variedad de riqueza minera en los suelos y subsuelos del territorio de Apurímac, hacen impostergable la necesidad de realizar acciones que conlleven al desarrollo sostenible de la Región sobre la base de la explotación de los recursos mineros. En Apurímac, la actividad minera se encuentra actualmente en una fase de evaluación de carácter exploratorio y prospectivo, situación que permitirá en los próximos años desarrollar proyectos que viabilicen el desarrollo económico. Los principales recursos mineros de la Región son:

**Hierro y Metales Ferrosos.-** Los yacimientos de Hierro de Huancabamba, junto con las Reservas de Marcona, son consideradas como una de las reservas más grandes del mundo. En total se estiman más de 2 mil millones de toneladas con un peso específico de cuatro. Estos afloramientos están distribuidos en las provincias de Andahuaylas y Aymaraes.

**Metales Preciosos.-** En el territorio de las provincias de Antabamba, Aymaraes, Grau, Cotabambas y parte de Andahuaylas existen numerosos afloramientos de metales ferrosos que debido a las oxidaciones han dejado libre al oro y presentan diferentes formas de ocurrencia. Existe también el oro en forma de filones en yacimientos de carácter hidrotermal, numerosas vetas en Soraya, Pachaonas, Antabamba, y Ayahuay, lo mismo en rocas calcáreas en las zonas de Progreso, Cotabambas, Turpay y otros.

**Pesquería** La actividad pesquera se sustenta en el potencial hídrico que presenta la región (ríos, riachuelos, lagunas, afluentes, manantiales), constituyendo la pesca una actividad complementaria a la dieta del poblador Apurimeño especialmente rural, entre las principales especies destinadas a la siembra en los ríos se encuentran la trucha y larvas de

pejerrey, concentradas de manera dispersa en las provincias de la región, pero que sin embargo Apurímac tiene una participación del 6% en la producción de especies piscícolas a nivel nacional. Anteriormente las larvas de alevinos se venían importando de los Estados Unidos, en la actualidad estas vienen siendo producidas en las piscigranjas por algunos criadores de larvas. Dentro de la actividad piscícola destaca la crianza en la laguna de Pacucha considerada una de las más grandes del Perú, su importancia radica en virtud al volumen y componentes nutritivos de sus aguas, en la actualidad se viene experimentando diferentes especies ícticas como trucha, pejerrey lacustre, carpa común y arco iris, generando de tal forma una fuente importante de alimentación y de trabajo en beneficio de la población apurimeña.

Actualmente se realiza la crianza de peces en jaulas flotantes, ello para aprovechar la disponibilidad de las fuentes hídricas especialmente de lagunas, entre ellas destaca la crianza en jaulas flotantes en la laguna de Pacucha, cuya producción se comercializa en la provincia de Andahuaylas y Abancay que constituyen principales mercados para la venta de trucha.

**Corredor Económico Abancay – Aymaraes.** Este se caracteriza por su aptitud productiva eminentemente pecuaria, resaltando la ganadería de vacunos, caprinos y camélidos sudamericanos (alpaca) y productos de pan llevar, en el aspecto turístico resaltan las festividades del Señor de Ánimas, los baños termo medicinales de Pincahuacho y el templo colonial de Pampamarca. El elemento articulador de este corredor es la carretera asfaltada Cusco – Abancay – Chalhuanca – Nazca – Ica – Lima. Las ciudades más importantes son Abancay y Chalhuanca. Este corredor desemboca en los grandes mercados de Ica y Lima por el sur – oeste y con el del Cusco por el nor-este.

## 2.5.METALES PESADOS

### 2.5.1 Propiedades generales de los metales pesados tóxicos.

Se define la Contaminación como todo efecto perjudicial producido por causas naturales (según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua es “alteración de la pureza de las cosas”) y a la Polución como un efecto parecido o similar al anterior pero en esta caso debido a causas antrópicas (ídem “contaminación intensa y dañina del agua y del aire producida por los residuos de los procesos industriales o biológicos”). De igual forma, tóxico (del griego toxon = punta de flecha y, por extensión, veneno que se le aplica) es toda sustancia química que administrada a un organismo vivo tiene efectos perjudiciales o nocivos, siendo la toxicidad resultante la interacción entre dicho tóxico y el organismo,

variando su grado en función de la especie, sexo, edad, tamaño, vía de adquisición o de administración y concentración, siendo un veneno aquel tóxico usado con fines dolosos, es decir, antrópicamente con fines lesivos premeditados. El concepto de metal pesado puede tener diferentes acepciones:

- Todo metal que tenga densidad superior a  $5 \text{ g/cm}^3$
- Todo metal con número atómico superior al del Na ( $Z = 11$ ).
- Todo metal con peso atómico comprendido entre 63,546 y 200,590 g/mol
- Todo metal que sea potencialmente tóxico para los sistemas biológicos.

Phipps (1976) define como metal tóxico como aquél que pertenece a un grupo de elementos que no tiene un efecto esencial ni es beneficioso, pero que tiene efectos nocivos en las funciones metabólicas normales, incluso estando presente en cantidades muy pequeñas. En sus aspectos generales, la incorporación de metales pesados en los organismos se puede producir por absorción respiratoria (compuestos metálicos volátiles o compuestos metálicos sólidos muy particulados) o por vía oral, siendo en este caso muy importante el proceso de bioacumulación o amplificación biológica, que consta de tres fases:

- **Asimilación:** externa por adsorción e interna por absorción.
- **Bioacumulación individual o bioconcentración.** Se expresa por medio del Factor de Bioconcentración (BCF), que relaciona la concentración del metal en el ambiente y en el organismo de referencia. Cuanto mayor sea el BCF menor será el contenido metálico del organismo.
- **Bioacumulación interindividual o bioamplificación (transferencia trófica).** Sus casos más notorios son los de Hg y Pb. En términos muy generales, los metales pesados tóxicos presentes en la biota marina tienen diferentes procedencias, siendo el aporte por drenaje de las zonas emergidas continentales e insulares, los vertidos directos al mar de residuos urbanos e industriales, el aporte desde la atmósfera y la propia huella geológica submarina las principales referencias a tener en cuenta. La asimilabilidad y amplificación biológica a través de las redes tróficas marinas está regulada por multitud de factores abióticos y bióticos, como pH, salinidad, temperatura, dinámica marina, transporte biológico vertical, presencia de materia orgánica en suspensión, presencia de microorganismos, textura de los sedimentos, condiciones redox e interacciones con nutrientes, entre otros. Dentro de estas propiedades, son de destacar las interferencias y sinergias existentes entre diversos metales, como pueden ser la reducción de la toxicidad de Hg en los peces en presencia de Se, el incremento tóxico del binomio Cu – Zn en peces, la reducción del efecto de Zn en algas en presencia de



Mn o la potenciación de la toxicidad mercurial y cúprica en crustáceos en presencia de otros metales.

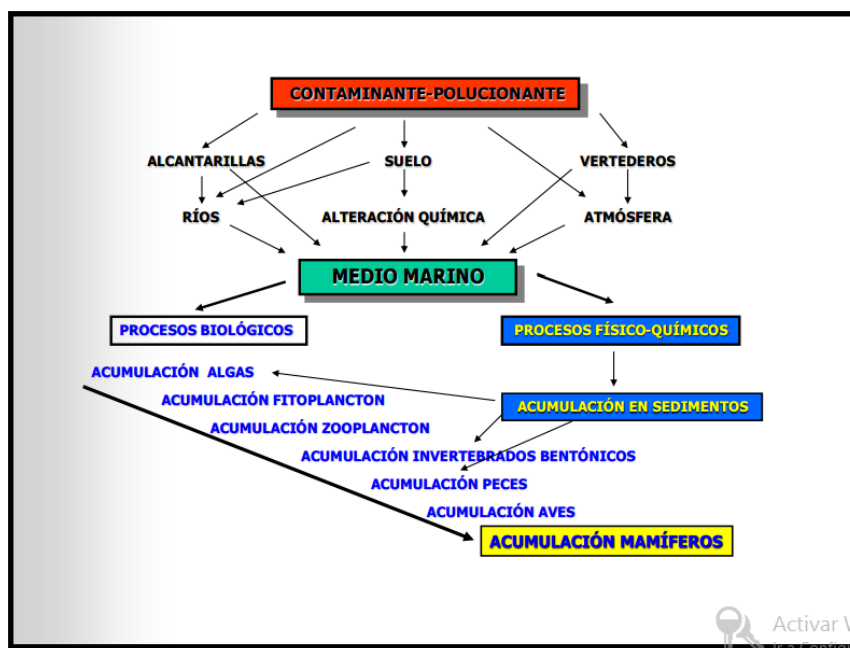


Figura 4. “Determinación de elementos traza, Presenta las principales vías de transmisión y amplificación de los contaminantes en el medio marino, Presenta las principales vías de transmisión y amplificación de los contaminantes en el medio marino (ASTM, 2003).

### 2.5.2. Metales Pesados en el Sedimento

La materia particulada que yace por debajo del agua en lagos, manantiales, arroyos, ríos y otros sistemas acuáticos se llama sedimento (ASTM, 2003), y es producto de la acumulación de materiales arrastrados, o bien producidos en el mismo cuerpo de agua. La velocidad con que se acumulan, expresa la actividad de un cuerpo de agua como receptor de contaminantes y como centro de actividad biológica (Margalef, 1983).

El sedimento representa los elementos esenciales del ecosistema acuático debido a que soportan a importantes organismos autótrofos y heterótrofos como bacterias, invertebrados bentónicos, peces, anfibios y reptiles. Las aves y mamíferos también pueden representar heterótrofos importantes de la cadena trófica acuática y acuático dependiente (es decir, a través del consumo de organismos acuáticos). Las bacterias son importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que descomponen materia orgánica (por ejemplo, los organismos que mueren y se acumulan en la superficie del sedimento, así como productos químicos

antropogénicos derivados orgánicos) y, al hacerlo, liberan nutrientes a la columna de agua y aumentan la biomasa bacteriana (USEPA, 1994; MacDonald et al., 2003). Cuando los contaminantes antropogénicos llegan al sedimento, estos no permanecen fijos en él, sino que procesos de adsorción y desorción se llevan a cabo vía biológica y por agentes químicos (Förstner et al., 1993; Altindag y Yigit, 2005; Harikumar et al., 2009) e incluso por el mismo movimiento del agua, causando que los xenobióticos estén suspendidos en la columna de agua donde pueden ser transferidos a los organismos. Como resultado, los organismos bentónicos, peces, aves y mamíferos pueden ser afectados adversamente por los efectos tóxicos de los sedimentos contaminados (Margalef, 1983; MacDonald et al., 2002) pudiendo dar lugar a una menor supervivencia, menor crecimiento y alteraciones en la reproducción de invertebrados y peces bentónicos (USEPA, 1994; Ingersoll et al., 1997). La mayor parte de la materia particulada en los medios acuáticos (arcillas, óxidos hidratados metálicos y materia orgánica) poseen una carga negativa neta, que le confiere carácter coloidal. Por tanto, los cationes metálicos son electrostáticamente atraídos hacia su superficie. Algunas de estas partículas, enriquecidas de metales pesados, se hunden hasta depositarse en el fondo. El grado en que tiene lugar este fenómeno depende, entre otros factores, de la naturaleza del metal, la abundancia de materia particulada, la concentración de otros solutos y la profundidad de la columna de agua (Förstner y Witmann, 1981; Förstner et al., 1993; MacDonald et al., 2003).

### 2.5.3. Bioacumulación y Biomagnificación de Metales Pesados

La captación de xenobióticos por los peces puede ocurrir por inhalación, ingestión o exposición dérmica, como ocurre en los mamíferos (Figura 5). Del mismo modo, la excreción de xenobióticos por los peces y mamíferos se produce por difusión o transporte a través de las vías respiratorias y superficies de la piel, así como por vías urinaria, biliar y fecal. Aún con estas similitudes, hay algunas obvias y no tan obvias diferencias entre los peces y los mamíferos con respecto a la naturaleza de estas vías, la importancia relativa de cada vía, y los movimientos de xenobióticos en las superficies de intercambio que separan el animal de su entorno (Russell et al., 2008).



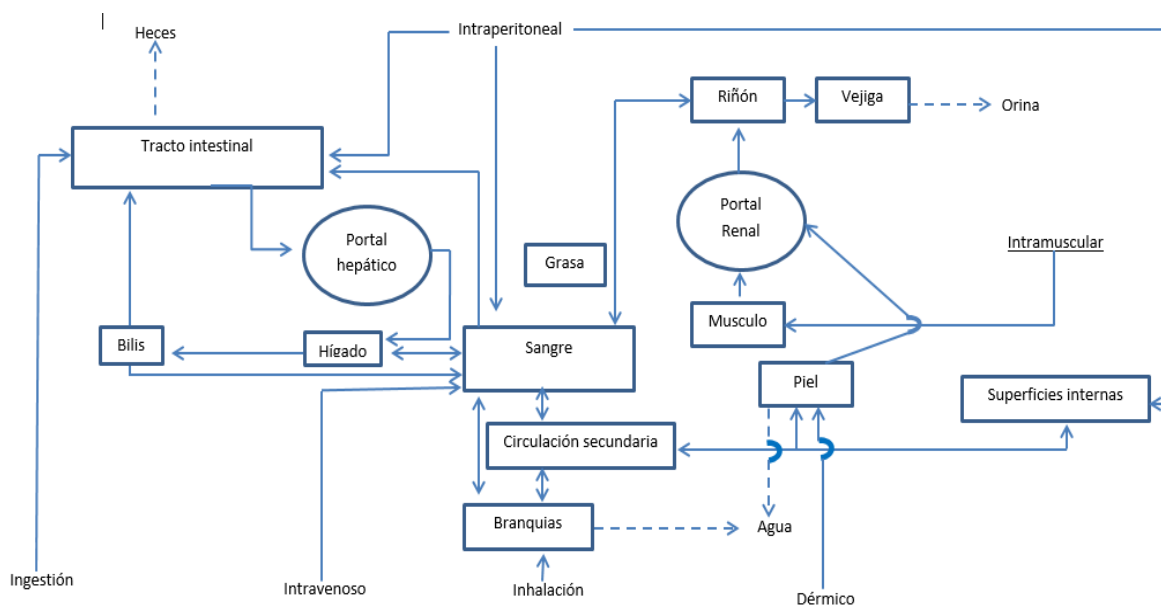


Figura 5. Vías para la absorción, distribución eliminación de compuestos xenobioticos en los peces, tomado de russel et al. (2008)

El ingreso y acumulación de metales pesados en los organismos depende de factores bióticos y abióticos que los modifican y los hacen biodisponibles, es decir que tienen relativa facilidad para ser transferidos desde el ambiente hacia una localización específica en un organismo de interés (Russell et al., 2008). En tal sentido, una mayor biodisponibilidad de metales pesados será proporcional a su bioacumulación en un organismo dado, el cual se realiza por todas las rutas posibles de exposición en el medio acuático; así los peces bioacumulan metales pesados tanto por ingestión de alimento contaminado (Dallinger y Kautzky, 1985; Dallinger et al., 1987; Clements, 1992) como por contacto entre su superficie respiratoria y piel con el agua (Olaifa et al., 2004) y sedimento contaminados (Hinton et al., 1992; Russell et al., 2008) (Figura 4). Este proceso de bioacumulación puede llevar años y cuando un organismo de nivel trófico inferior comienza a bioacumular alguna sustancia el siguiente camino es la biomagnificación que implica la incorporación y retención de metales en organismos de nivel trófico superior (Canli et al., 1998; Chen et al., 2000; Russell et al., 2008) (Figura 5). A pesar del serio problema que puede generar la biomagnificación en toda la cadena trófica, sólo algunas sustancias presentan tal capacidad, y el único metal pesado que indiscutiblemente es capaz de bioacumularse es el Hg; sin embargo, muchos organismos acuáticos como las ostras y mejillones pueden bioconcentrar niveles de Hg y Cd que son 100,000 veces más grande que los que se encuentran en el agua donde viven (Baird, 2001). Ambos procesos, bioacumulación y biomagnificación, son específicos para cada metal y taxa, y son

dependientes de la fisiología de los organismos, biodisponibilidad del metal en el medio junto a los factores que lo modifican, grado de adaptación en el hábitat, hábitos alimenticios, así como del balance entre la captación y excreción del metal que realiza el organismo (Dallinger et al., 1987; Clements, 1992; Chen et al., 2000). La bioacumulación de metales pesados puede generar efectos tóxicos multidireccionales en los peces (Russell et al., 2008). La mayoría de ellos apunta al sistema nervioso central, junto a otro sistema de órganos, resultando en cambios neuroendocrinos y de comportamiento que pueden perjudicar la posterior supervivencia o reproducción de animales expuestos (NRC, 1992; USEPA, 1994; Vosyliene y Jankaite, 2006). Los efectos de la exposición a niveles subletales se puede medir en términos de respuestas bioquímicas, fisiológicas o histológicas del organismo (Mondon et al., 2001; Basa y Rani, 2003; Farombi et al., 2007). Los biomarcadores histopatológicos son considerados las respuestas biológicas de más alto nivel y, a menudo significa el metabolismo anterior y la unión macromolecular. La mayoría de los productos químicos que son potencialmente genotóxicos requieren activación metabólica a una forma definitiva que se une covalentemente, formando aductos de ADN. Si el aducto no se repara y persiste, consecuentemente los cambios conducen a un proceso de varios pasos que podrían dar lugar a la muerte celular o tal vez al crecimiento anormal y formación tumoral (Figura 6). En este último caso, el biomarcador histopatológico es una respuesta de mayor nivel después de la interacción química y celular. Similarmente, la exposición a una sustancia química ambiental puede inducir la actividad de una enzima específica o isoforma de la enzima. La exposición posterior puede llevar a un aumento del metabolismo por la enzima inducida, lo que resulta en niveles intermedios tóxicos que superan los mecanismos de detoxificación celular. Por lo tanto, la inducción y el metabolismo pueden causar toxicidad celular y la muerte, posteriormente detectada como la necrosis del tejido o la apoptosis (Russell et al., 2008).

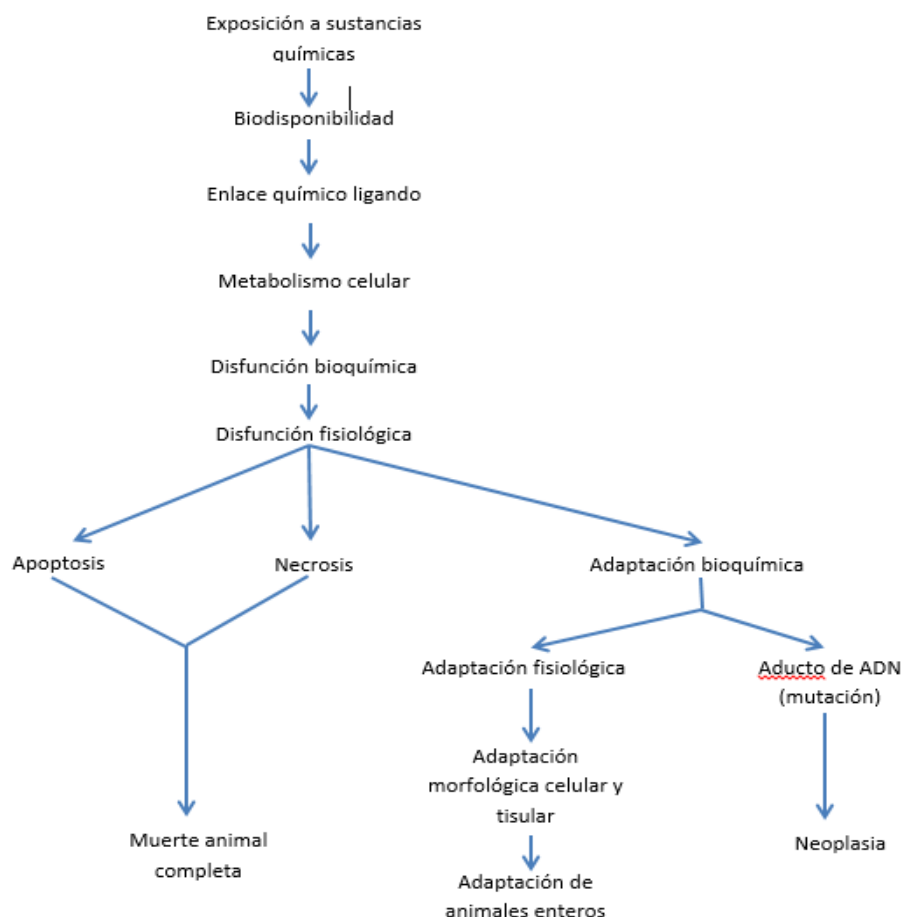


Figura 6. Cascada de alternativas histopatológicas como resultados de alteraciones bioquímicas y fisiológicas de un organismo, tomado de Russel et al. (2008)

La bioacumulación en distintos órganos se puede explicar bioquímicamente, la acción tóxica de metales pesados, como Hg, Cd, Pb y As, proviene de la fuerte afinidad de sus cationes por el azufre. Así, los grupos sulfhidriilo ( $-SH$ ), los cuales están presentes comúnmente en las enzimas que controlan la velocidad de las reacciones metabólicas críticas en los organismos se enlazan fácilmente a los cationes metálicos ingeridos o a las moléculas que contienen los metales. Debido a que el enlace resultante metal-azufre afecta a toda la enzima, este no puede actuar normalmente y la salud queda afectada adversamente, y a veces de forma fatal. La reacción de los cationes de los metales pesados  $M^{2+}$ , donde M es Hg, Pb o Cd, con las unidades  $-SH$  de las enzimas  $R-S-H$  para producir sistemas estables como el  $R-S-M-S-R$ , es análoga a su reacción con el compuesto simple inorgánico  $H_2S$ , con el que se obtiene el sólido insoluble  $MS$  (Baird, 2001). Los organismos presentan cierta tolerancia a altas concentraciones de metales pesados y ésta probablemente se deba a la inducción de metalotioneínas (MT), proteínas de bajo peso

molecular ricas en cisteína, ellas son indicadoras de biodisponibilidad y por tanto de su toxicidad. Se sabe que la MT secuestra la mayor parte de los iones metálicos libres dentro de la célula, previniendo su unión a grupos  $-SH$  de proteínas funcionalmente importantes, y los efectos tóxicos (Roch et al., 1982; Auro y Ocampo, 1999; Baird, 2001). La exposición de los peces a metales pesados como Zn, Cu, Cd y Hg induce la síntesis de MT en tejido hepático, renal y branquial probablemente como mecanismo de defensa (Roch et al., 1982; Hogstrand y Haux, 1990); pero, una mayor acumulación en hígado puede alterar los niveles de diversos parámetros bioquímicos, con el consiguiente daño hepático (Ferguson, 1989) y generalización de los efectos. Debido a la alta sensibilidad y tendencia a bioacumular metales pesados, los peces son ampliamente utilizados para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos (Giattina y Garton, 1983; Atchison et al., 1987; Mondon et al., 2001; Kane et al., 2005). Por ello, tiene un papel bioindicador cada vez más importante en el control de la contaminación del ecosistema acuático

Absorción gastrointestinal. Cantidades considerables de este elemento se ingiere a través de los alimentos, lo cual es muy importante sobre todo para la población que no está expuesta ocupacionalmente.

La dieta proteínica de los alimentos de origen animal en los cuales el cadmio se encuentra unido a las proteínas, lo que facilita la mayor ingestión de este alimento. Al igual que el caso del plomo, se ha demostrado que los animales más jóvenes adsorben mayores cantidades de cadmio que los más viejos.

#### 2.5.4. Absorción Cutánea en peces

Se ha estudiado muy poco la absorción de cadmio a través de la piel. No obstante, se ha observado que el cloruro de cadmio de logro absorber en la piel de Cuyos, en un porcentaje de 4%.

### 2.6. CADMIO (Cd)

El cadmio es un metal de color blanco brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Su densidad es de 8.642 g/cm<sup>3</sup> y sus vapores son 3.88 veces más pesados que el aire. Su presión de vapor es relativamente alta, por lo que pasa fácilmente al estado de vapor y en este estado se oxida rápidamente produciendo óxido de cadmio que permanece en el aire. Cuando en la atmósfera hay gases o vapores reactivos, como los bióxidos de azufre o de carbono, reaccionan con ellos y produce respectivamente carbonato, sulfito, hidróxido, sulfato y cloruro de cadmio. El cadmio está presente en la naturaleza como óxidos complejos, los sulfuros y los carbonatos de zinc, plomo y cobre. No se recupera como

producto principal de las minas, sino como un subproducto de la extracción de otros metales no ferrosos, principalmente de minerales de zinc. Alrededor del 18 por ciento del consumo mundial proviene del reciclaje. Los usos principales del cadmio refinado son: en baterías (pilas Ni Cd), pigmentos para plásticos, cerámica y esmaltes; estabilizadores para plásticos, placas de hierro y acero, también como elemento de aleación de plomo, cobre y estaño. Existen dos principales fuentes de obtención de cadmio, de tipo primario obtenido de la recuperación de la fundición del zinc y del cadmio, la otra fuente es de tipo secundario, derivado del reciclaje de baterías de níquel-cadmio, de las aleaciones de cobre-cadmio, hierro y otros, así como del reciclaje de polvos de hierro y cadmio.

### 2.7.1. Ciclo Biogeoquímico del Cadmio

Es evidente que grandes cantidades de cadmio se movilizan constantemente a través de las actividades del hombre y que se dispersan en toda la ecosfera. Las concentraciones de cadmio de origen natural en los principales comportamientos han aumentado durante la industrialización y se ha detectado elevadas concentraciones de cadmio en algunos vegetales y animales. A pesar de que aún no se hacen patentes los daños que este provoca en los ecosistemas. Sin duda alguna, algunas especies animales se encuentran en peligro. Por lo que se debe prestar atención a estas tendencias y se debe tomar medidas para reducir, hasta donde sea posible, la liberación constante de cadmio en la atmósfera.

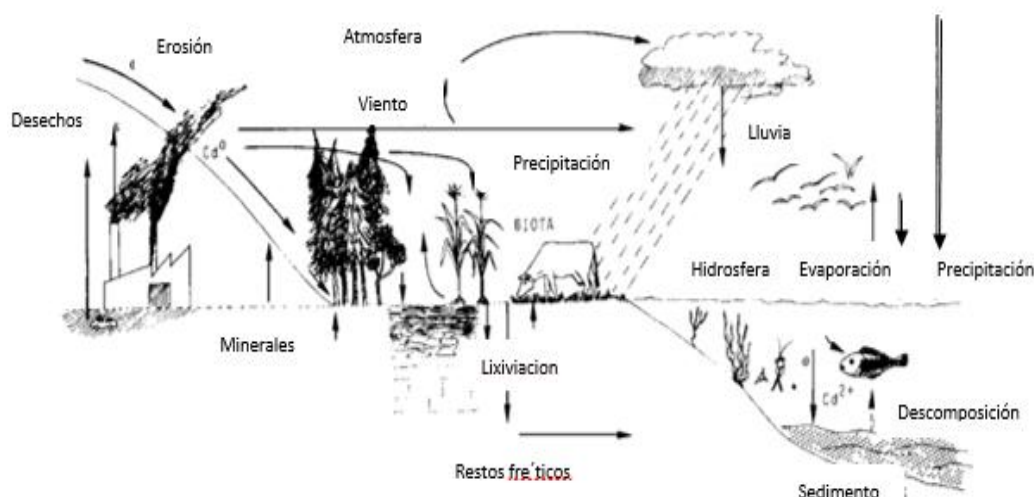


Figura 7. Cadmio en el ambiente, Russel et al. (2008)

- **Fuentes y usos**

El Cd se encuentra naturalmente en compuestos comunes que incluyen el óxido, sulfuro y carbonatos de Zn, Pb y Cu, mientras que los complejos con cloruro y sulfato son menos

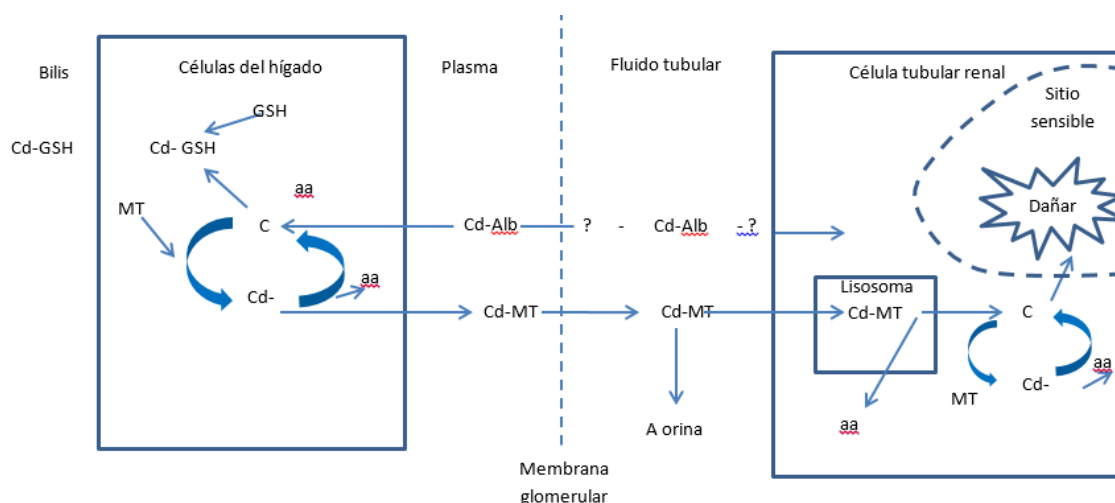
comunes. Este metal es un contaminante neurotóxico persistente y fue uno de los metales más comúnmente usados en la industria agrícola de la década de los setentas (ATSDR, 1999; NTP, 2005). Los mayores usos del Cd son la galvanoplastia, producción de pigmentos y manufactura de baterías y estabilizadores. Las fuentes antropogénicas incluyen productos de incineración de materiales con Cd, combustibles fósiles, fertilizantes, descargas de aguas residuales municipales, polvo atmosférico y humo de fundiciones, especialmente del Zn; sin embargo, la mayor fuente de exposición al Cd proviene de nuestra alimentación (Baird, 2001). Los mariscos, vísceras como riñones, papas y granos de trigo y arroz contienen altos niveles de Cd, mas de 100 mg/kg; por ejemplo, los problemas ambientales más graves que han involucrado el Cd ocurrieron en la región del del Valle del río Jintsu, Japón, donde el arroz para el consumo local (2 mg/kg de Cd) crecía con irrigación de agua extraída de un río contaminado de forma crónica con Cd disueltode la extracción y fundición de Zn, procedente de operaciones aguas arriba. Cientos de personas en esta área, en especial ancianos y mujeres multíparas, con dietas pobres, contrajeron una enfermedad degenerativa de los huesos, llamada itai-itai traducido como ay-ay, denominada así por los fuertes dolores articulares y musculares (Baird, 2001). Este metal tóxico está clasificado dentro del grupo B1 de probables cancerígenos humanos (USEPA, 2006), y no se elimina de los ecosistemas acuáticos, sino que se acumula en los sedimentos (CCME, 1999b; Olsvik et al., 2000).

### 2.7.2. Propiedades químicas y bioquímicas

El Cd se encuentra en el mismo subgrupo del Zn y Hg en la tabla periódica, pero es más similar al primero (Baird, 2001). Los dos estados de oxidación del Cd son el metálico ( $Cd^0$ ) y el divalente ( $Cd^{2+}$ ), que es su único ion. El  $Cd^0$  es insoluble en agua, mientras varias de sus sales ( $CdCl_2$  y  $CdSO_4$ ) son solubles; por otro lado, el  $Cd^{2+}$  predomina más en depósitos naturales (CCME, 1999b). Los procesos de adsorción y desorción son probablemente los mayores factores en controlar la concentración de Cd en aguas naturales y tiende a contrarrestar cambios en la concentración iónica de Cd en solución (CCME, 1999b). La mayor parte del Cd que ingresa a los cuerpos de agua, eventualmente se asocian en el fondo del sedimento con materia orgánica y óxidos de Mn y Fe, o precipitan con solución de carbonato o sulfuro (CCME, 1999a y 1999b). El Cd así asociado con óxidos de Mn y Fe, puede convertirse en biodisponible como resultado de cambios en las condiciones ambientales las cuales afectan la distribución del Cd entre las fases disuelta y particulada (por ejemplo, alteración del sedimento con disminución del pH e incremento del potencial

redox). En contraste, el Cd dentro del entramado cristalino de arcilla y algunos otros minerales los cuales están asociados con fracciones de ácido extraíble o sedimento residual es generalmente considerado menos biodisponible. Por tanto, los sedimentos, actúan como una importante ruta de exposición para los organismos acuáticos (CCME, 1999a). La absorción de Cd en el cuerpo puede producirse mediante exposición oral o por inhalación. La inhalación, absorción y distribución dentro del cuerpo parecen estar afectadas por la forma química, el tamaño de partículas inhaladas y la solubilidad en fluidos biológicos (ATSDR, 1999). Una vez el Cd es ingerido, su biodisponibilidad depende de varios factores, incluyendo la actividad enzimática y el pH intestinal (Environment Canada, 1997). El  $\text{Cd}^{2+}$  puede ser permeable a las barreras pulmonar e intestinal con ayuda de transportadores; pero, las formas complejas encontrados en cultivos de arroz, por ejemplo fitoquelatinas unidas a Cd, también pueden ser absorbidas (Maret y Moulis, 2012). El Cd no es conocido por experimentar alguna conversión metabólica como oxidación, reducción o alquilación. El  $\text{Cd}^{2+}$  se une a grupos aniónicos, especialmente los  $-\text{SH}$  en proteínas como albúmina, MT y otras moléculas (Nordberg et al., 1985), con las cuales circula en plasma (Foulkes y Blanck, 1990) (Figura 10). Asimismo, como catión el  $\text{Cd}^{2+}$  secuestra sistemas moleculares involucrados en el manejo de otros cationes metálicos esenciales. Si bien las propiedades químicas del calcio divalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ) difieren del  $\text{Cd}^{2+}$ , ambos cationes tienen la misma carga neta y radios iónicos muy próximos. Consecuentemente, el  $\text{Ca}^{2+}$  es una especie mimética del  $\text{Cd}^{2+}$ ; por ejemplo, el  $\text{Cd}^{2+}$  reemplaza fácilmente al  $\text{Ca}^{2+}$  en la hidroxiapatita, un mineral ampliamente utilizado como fertilizante. De manera similar, el hueso contiene microcristales de hidroxiapatita: los osteoblastos pueden por lo tanto incorporar Cd iónico y cambiar las propiedades mecánicas del esqueleto. El Cd es a menudo transportado mediante transportadores de Zn, aunque estos transportadores permiten al Cd alcanzar el citoplasma celular, no está establecido que el transporte de Cd interfiera con el Zn. Sin embargo, una vez dentro de la célula el Cd interactúa e induce MT; el complejo Cd-MT distribuye el Cd, pero su formación puede impactar la homeostasis del Zn dado que la MT es la principal molécula buffer identificada del Zn (Maret y Moulis, 2012).





*Figura 8.* Esquema básico de flujo de cadmio en el cuerpo. Se demuestra el rol de las formas ligadas en la sangre y la síntesis y degradación metalotioneína. GSH: glutatína, MT: metalotioneína; aa: aminoácidos; Alb: albumina. cornelis y nordber, 2007

Muchas moléculas involucradas en mecanismos de defensa antioxidantes son candidatas para unirse al Cd debido a que estas tienen grupos reactivos donantes de electrones como tiolatos para su función; además, proteínas como las tioredoxinas y peroxiredoxinas, que regulan los mecanismos celulares redox dependientes, tienen potencial para ligarse al Cd con sus cisteínas reactivas. Estos ejemplos, indican que el Cd puede secuestrar y mermar las principales células de defensa a daños oxidativos. Adicionalmente, el Cd parece interferir con la cadena respiratoria mitocondrial, que es uno de los mayores productores de especies parciales de oxígeno reducido, que aumenta esta producción y contribuye al desbalance redox. Las mitocondrias defectuosas son también involucradas en la inducción de muerte celular como resultado de la exposición a Cd. Por otro lado, es muy probable que la interferencia en la homeostasis redox sea parte de diferentes pasos de carcinogénesis inducida por Cd; por ejemplo, la reparación del ADN se realiza usando endonucleasas, que son activadas por mecanismos redox e inhibidas por Cd (Maret y Moulis, 2012).

- **Efectos en la biota acuática**

Al igual que en otros metales pesados, el Cd puede entrar en la cadena alimentaria y concentrarse en los organismos; pero, en peces también puede penetrar a través de las branquias como se evidencia por su rápida acumulación durante la exposición en agua (McDonald y Wood, 1993). En períodos cortos, es decir, horas o días, las concentraciones metálicas alcanzan niveles que pueden causar estrés fisiológico e incluso matar a los



organismos (Spry y Wiener, 1991). El Cd también se acumula en otros tejidos, tales como hígado y riñón (McGeeret al., 2000). La toxicidad del Cd en peces de agua dulce ha sido ampliamente estudiado (Spry y Wiener, 1991) y los salmónidos parecen estar entre las especies más sensibles para este metal (Buhl y Hamilton, 1991; Sanchez-Galan et al., 1999). El principal trastorno fisiológico relacionado con la toxicidad de Cd son las modificaciones de las actividades enzimáticas en órganos como en hígado, branquias, riñones e intestino (Gill et al., 1991). El complejo Cd-MT en varios tejidos (Hogstrand y Haux, 1990; Olsvik et al., 2000) junto a otros complejos Cd-proteína, pueden participar en la desintoxicación por secuestro del metal (Kay et al., 1986; Maret y Moulis, 2012). Sin embargo, se puede generar una saturación de MT unido a la incapacidad del Cd para desplazar al Zn y Cu de la MT endógena, excepto cuando son introducidas (in vivo o in vitro) concentraciones muy altas de Cd (Kay et al., 1986). Otras lesiones del Cd incluyen la genotoxicidad (Sanchez-Galan et al., 1999; Risso de Faverney et al., 2001) y trastornos reproductivos (Singhal et al., 1985). Los organismos bentónicos están expuestos a Cd particulado y disuelto, a Cd unido al sedimento y por la ingestión de sedimento. Sin embargo, se cree que las formas disueltas de Cd son más fácilmente biodisponibles (CCME, 1999a y 1999b). El Cd asociado con fracciones de sedimento que muestra capacidad de intercambio catiónico o que es fácilmente reducido es generalmente más biodisponible que los asociados con otras fracciones (Environment Canada, 1997).

- **Efectos en el hombre**

El Cd es tóxico para una amplia gama de órganos y tejidos; sin embargo, los órganos diana primarios son los riñones, huesos y pulmones (exposición por inhalación). La exposición crónica por vía oral ha producido daño celular del túbulo proximal, proteinuria (principalmente proteínas de bajo peso molecular, como  $\beta$ 2-microglobulina), glucosuria, aminoaciduria, poliuria, disminución de la absorción de fosfato, y enzimuria en los seres humanos y en 33 animales de laboratorio. El resultado clínico de los síntomas son la degeneración y atrofia de túbulo proximales, o (en el peor de los casos) la fibrosis intersticial del riñón (ATSDR, 1999). Se piensa que cuando se supera la capacidad de producción de MT de las células de los túbulo, se produce la insuficiencia renal. Se ha demostrado que el Cd perturba la composición de lípidos y aumenta la peroxidación lipídica (Gill et al., 1991). El agotamiento de las enzimas antioxidantes, específicamente glutatión peroxidasa y superóxido dismutasa, se ha propuesto como el mecanismo de efectos cardiotóxicos del Cd (Jamall y Smith, 1985), pero estudios posteriores mostraron

que mecanismos cardiotóxicos distintos de la peroxidación también están presentes (Jamall et al., 1989). El Cd altera el metabolismo del Zn, Fe y Cu así como del Se (Jamall y Smith, 1985b). Xu et al. (1995) propuso como paso inicial en la toxicidad inducida por Cd en testículos, que interfiere con los complejos Zn-proteína los cuales controlan la transcripción del ADN y posteriormente conduce a la apoptosis. El Cd por el secuestro de MT o un agente quelante impide la alteración de controles transcripcionales dependientes de Zn (Xu et al., 1995).

## 2.8. PLOMO (Pb)

En su forma elemental es de color blanco plateado y se vuelve de color gris azulado cuando se expone al aire. Pertenece al Grupo IVA de la Tabla Periódica. Sus propiedades incluyen: un bajo punto de fusión, alta densidad, facilidad de fundición, baja resistencia, maleabilidad, facilidad de fabricación, resistencia a los ácidos, y resistencia a la corrosión. En la naturaleza el plomo se encuentra con el mineral de zinc, plata y cobre y se extrae junto con estos metales. La minería produce más del 90 por ciento del consumo mundial actual y el reciclaje representa alrededor del 10 por ciento del total del consumo mundial de plomo. Aproximadamente tres cuartas partes del consumo de plomo se utiliza principalmente en la fabricación de baterías, mientras que un quinto en láminas de plomo para el techado de viviendas, para la fabricación de municiones, balas de plomo para escopetas, en aleaciones metálicas, revestimientos de cables y para los aditivos de la gasolina. Sobre los productos que contienen plomo, cabe señalar que el plomo se utiliza para un número de aplicaciones debido a su suavidad y plomo puro se utiliza sólo para unas pocas aplicaciones. En las aplicaciones metálicas, el plomo es más a menudo aleado con pequeñas cantidades de antimonio (por ejemplo, en baterías, revestimientos y envolturas de cables), de cobre (por ejemplo, en hojas de plomo y tuberías de plomo), de calcio (por ejemplo, en baterías) o de plata (por ejemplo en soldaduras). Además, el plomo se utiliza como elemento de aleación en las aleaciones de cobre, bronce y estaño. El uso del plomo a gran escala se debe a su bajo punto de fusión, la facilidad de fundición, alta densidad, baja resistencia, facilidad de fabricación, resistencia a los ácidos, resistencia a la corrosión, reacción electroquímica con ácido sulfúrico y la capacidad para atenuar las ondas sonoras, las radiaciones ionizantes y las vibraciones mecánicas. Los cambios más significativos en el patrón de uso general son el aumento del consumo de baterías, y una disminución en las áreas de revestimiento de cables y aditivos de gasolina.

## 2.8.2. Ciclo Biogeoquímico del Plomo

El plomo, al igual que el mercurio, se encuentra distribuido por todo el planeta con el agravante de ser mucho más abundante. Así, aunque el plomo es algo menos tóxico que el mercurio de forma absoluta, al final la intoxicación por plomo es mucho más probable. Desde 1750, su aumento ha sido gradual y ha ido paralelo al progreso de la revolución industrial, sufriendo un importante aumento a finales de la segunda guerra mundial como consecuencia de la introducción del plomo en las gasolinas como agente antidetonante. Afortunadamente, la retirada del plomo de las gasolinas permitirá depurar en unas décadas gran parte del plomo presente, pero es necesario considerarlo aún en su ciclo biogeoquímico para entender su distribución actual en el medio ambiente

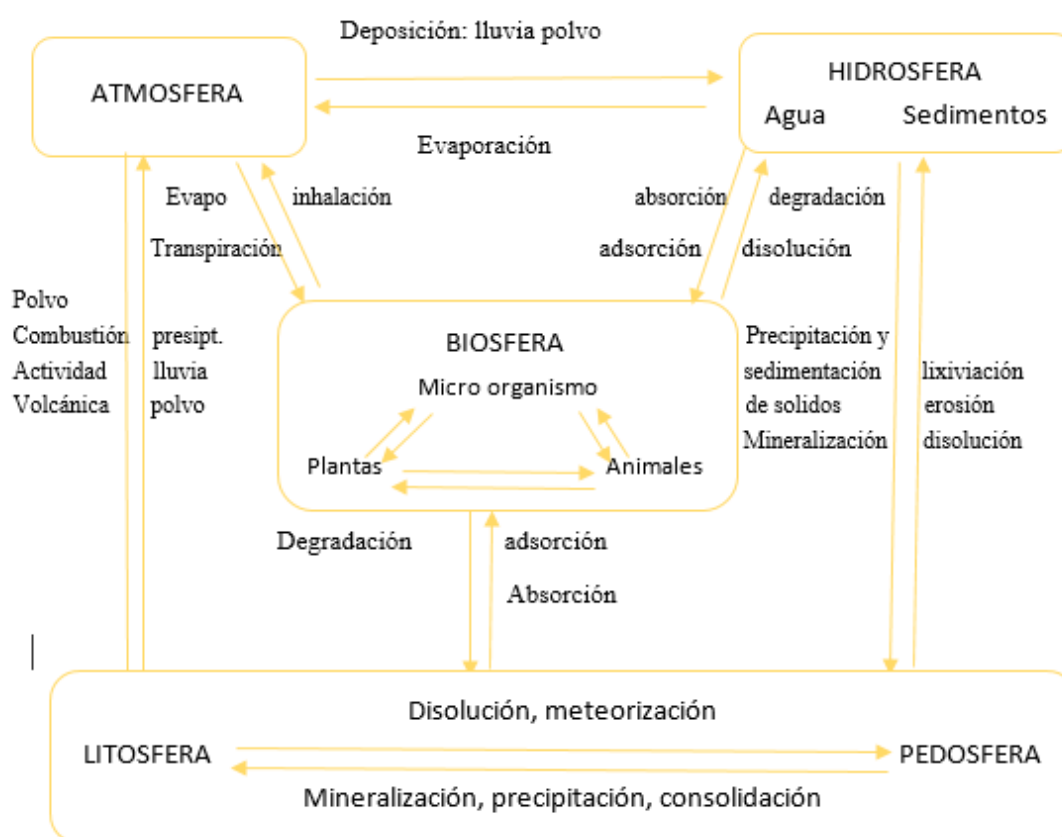


Figura 9. Ciclo Biogeoquímico del plomo, Ruiz et al. 2008

## 2.9. Principales Efectos Posibles en la Salud Humana y el Medio Ambiente de Productos que Contienen Cadmio y Plomo

- **Efectos a la salud del cadmio**

Los principales efectos adversos del cadmio incluyen daño renal y el enfisema pulmonar. La población de mayor riesgo son las mujeres con deficiencias nutricionales o bajo contenido de hierro, también las personas con trastornos renales, los fetos y los niños con

bajo contenido de hierro en sus reservas corporales. La (OMS) ha establecido una ingesta semanal tolerable provisional para el cadmio en  $7\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal siendo el riñón el órgano diana considerado crítico para controlar la toxicidad del cadmio en los humanos. Los efectos críticos principales incluyen un aumento de la excreción de proteínas en la orina como resultado de los daños de células tubulares proximales y la severidad del efecto depende de la duración y magnitud de la exposición.

Las alteraciones óseas es otro efecto crítico de la exposición crónica a niveles elevados de cadmio.

El cadmio es un carcinógeno humano por la vía de inhalación. Datos epidemiológicos de los lugares de trabajo confirman a los pulmones como órganos afectados, el cadmio no se considera un agente carcinógeno por ingestión. El cadmio se almacena principalmente en el hígado y los riñones, la excreción es lenta, con una media de vida muy larga (décadas) en el cuerpo humano; el cadmio se almacena en la mayoría de los tejidos al aumentar la edad. El tabaco es una importante fuente de absorción de cadmio en los fumadores y también puede afectar a los no fumadores a través de la exposición pasiva al humo secundario.

Las personas que viven en las proximidades de fuentes industriales y otras fuentes con punto de liberación de cadmio pueden estar expuestas a un mayor nivel de cadmio. El cadmio se produce en todos los alimentos, pero los cultivos agrícolas (en particular el arroz de regadío) generalmente representan la mayor parte de la ingesta, los vegetarianos y los grupos de alto consumo de cereales pueden tener mayor exposición en comparación con la población general. Las personas con un alto consumo de mariscos y carnes de órganos de animales marinos pueden tener un consumo especialmente alto de cadmio. El cadmio en los cultivos se debe a la absorción de cadmio del suelo y la velocidad de absorción está influenciada por factores tales como el pH del suelo, salinidad, contenido de humus, las especies y variedades vegetales y la presencia de otros elementos (por ejemplo, zinc).

- **Efectos a la salud del plomo**

El plomo es tóxico aún a muy bajos niveles de exposición y tiene efectos agudos y crónicos en la salud humana. Se trata de una sustancia tóxica que puede causar daños en el sistema de múltiples órganos, sean neurológicos, cardiovasculares, renales, gastrointestinales, hematológicos y efectos en la reproducción. La exposición a corto plazo a altos niveles de plomo puede causar vómitos, diarrea, convulsiones, coma e incluso la muerte. A largo plazo (crónica) la exposición al plomo en los seres humanos da lugar a efectos en la sangre,

sistema nervioso central (SNC), presión arterial, los riñones y el metabolismo de la vitamina D. La exposición al plomo en niños está relacionada con una disminución de su coeficiente intelectual (IQ). El sistema nervioso es el sistema más sensible a la exposición al plomo, quizás no haya para el plomo un umbral mínimo que indique el inicio de efectos neurológicos adversos en los niños. Se han detectado daños neurológicos a niveles de exposición que antes se consideraba que no causarían daño.

## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El presente proyecto de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac - Facultad de Ingeniería – Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial en la provincia de Abancay del departamento de Apurímac. La planificación y la organización para la utilización de los equipos, materiales y otros fueron en los laboratorios de análisis instrumental y análisis de productos agroindustriales.

#### 1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

##### 3.2.1. MATERIALES

###### a. Materiales, insumos y reactivos

- Papel toalla
- Toallas de telas
- Bandejas de polietileno
- Bisturí
- Placas Petri
- Guantes
- Mascarillas
- Tablas
- Mortero
- Hilo quirúrgico
- Cooler
- Hielo
- Patrón Multielementa

###### b. Equipos e instrumentos

- Espectrofotómetro de absorción atómica (contrAA 700 Espectrómetro de alta resolución con fuente de radiación continua) marca ANALYTIK JENA modelo CONTRAA 700BU
- Estufa marca MEMMERT modelo UN 30
- Desecador con tapa y sulfato de cobre granulado 4 Litros
- Balanza analítica marca SARTORIUS modelo ENTRIS224-1S

- Conductímetro marca HANNA modelo HI 9835
- Potenciómetro marco SCHOTT modelo LAB-850

### 3.2.2. MÉTODOS

#### 3.2.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRA

El tramo de colección de muestras 500 metros paralelo a la ciudad de Chalhuanca, se realiza el mes de octubre del 2017 de manera general en los sitios de mayor frecuencia para los pescadores, utilizando la atarrayas, obteniendo 15 truchas a lo largo del río Chalhuanca, dirección Lima, dando inicio la comunidad Pairaca hasta final de la ciudad barrio de Camani con pesos comprendidos entre 50 a 100 g y tallas entre 12 a 25 cm de largo. La trucha (*Oncorhynchus Mykiss*) recién capturados fueron trasladados en cooler, pesados, medidos, congelándose posteriormente en sobres de polietileno hasta su análisis a lo dispuesto en la NTP 204.060:2009 (revisada el 2014) trucha entera o entera eviscerada, con o sin cabeza, congelada.

#### 3.2.2. ACONDICIONADO DE LAS MUESTRAS

El acondicionamiento de las muestras de acuerdo a lo dispuesto en la NTP 204.060:2009 (revisada el 2014) trucha entera o entera eviscerada, con o sin cabeza, congelada, dictada a tal efecto

- **Escama.** Antes de la evisceración de la trucha *Oncorhynchus Mykiss* se retira la escama del cuerpo de la trucha utilizando bisturí, cuidadosamente colocamos en la placa Petri, para evitar contaminación con el resto del cuerpo se seca con toallas de tela desechándose en cada uso.
- **Hígado.** La obtención de este órgano se basa en abrir la parte ventral de la trucha *Oncorhynchus Mykiss*, con la ayuda del bisturí y toallas de tela se retira el hígado sin dañarlas o tocar otros órganos, colocándose en placas para su posterior tratamiento.
- **Musculo.** Dada la trucha *Oncorhynchus Mykiss*, eviscerada y limpiada, se retira la piel, cortando 4 cm por 4 cm de la parte dorsal de la trucha.
- **Medula.** Retirada el musculo y quedando solo la parte ósea de la trucha *Oncorhynchus Mykiss*, se limpia y con la ayuda del hilo quirúrgico se empuja toda la medula del esqueleto óseo.

### 3.2.2.1. SECADO Y DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

La muestra acondicionada con las mismas cantidades se seca en la estufa, a 65°C por 7 horas.

**Cuadro 3. Humedad en las partes anatómicas de trucha *Oncorhynchus Mykiss***

<b>Muestras</b>	<b>Humedad %</b>	<b>Desviación Estandar</b>
Escama	24	0.080
Hígado	4.5	0.012
Músculo	8.4	0.028
Medula	1.6	0.005

### 3.2.3. DETERMINACIÓN DEL Pb Y Cd EN LAS PARTES ANATOMICAS DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*).

Las muestras secas se trituran en el mortero, colocándose en placas Petri, se acondiciona para la alimentación de la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica debidamente programada.

#### 3.2.3.1. PREPACIÓN DE LA SOLUCIÓN PATRÓN

Se determinaron las concentraciones de los metales: plomo (Pb), cadmio (Cd), mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando el método horno grafito. Todos los análisis se realizaron por triplicado, Para la curva patrón se preparó concentraciones de 200, 400, 600, 800, 1000 ppm en 50 ml de agua ultrapura a partir de una la muestra multielemental con concentración inicial de 1000 mg/L equivalente a 1000 ppm utilizando una micropipeta. Se usó la fórmula de diluciones ( $v1 \times c1 = v2 \times c2$ ) (anexo 1).

#### a. Análisis de la concentración

El análisis se realizó en el equipo de Espectrofotometria de absorción atómica (EAA), en el que se trabajó con el método de horno grafito. La metodología y parámetros fueron programados mediante el ordenador del equipo.



**Cuadro 4:** Longitud de onda para cada metal

<b>ELEMENTO</b>	<b>TIPO</b>	<b>LONGITUD DE ONDA (nm)</b>
Plomo (Pb)	Absorbancia	217.001
Cadmio (Cd)	Absorbancia	228.802

Análisis estadístico Se calculó la media, desviación estándar y el rango de los resultados obtenidos de la concentración de metales. Se aplicó además un análisis multivariado con los resultados obtenidos, calculándose la matriz de correlación entre los metales

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del Contenido de plomo y cadmio en la especie lo detalla en la evaluación en la Cuadro N° 4 y Cuadro N° 5, verificándose que el orden de magnitud de los resultados de concentración de plomo y cadmio por parte anatómica de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) del río de Chalhuanca fue el siguiente: concentración de plomo que describe los resultados fueron, Escama 2,37 µg/g, medula 0,06 µg/g, hígado, debajo del límite detección (DLD), musculo DLD. Asimismo, el orden de magnitud que describe los resultados de concentración de cadmio fue el siguiente hígado 1,52 µg/g, escama DLD, musculo DLD, medula DLD.

#### 1.3. CONTENIDO PLOMO EN LA ESCAMA, MUSCULO, TEJIDO ÓSEO Y EL HÍGADO DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) EN LA CUENCA DEL RÍO CHALHUANCA.

El contenido de plomo en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la trucha (*oncorhynchus mykiss*) en la cuenca del río chalhuanca, analizada en el espectrofotómetro de absorción atómica se especifica en la siguiente tabla.

**Cuadro 5.** Resultado de la concentración de plomo en las diferentes partes anatómicas de la trucha.

Nombre	Concentración µg/g	Desviación estándar	Límite Máximo permisibles 0.3 µg/g
Hígado	DLD	-	-
Escama	2,36	0,22	SLP
Músculo	DLD	-	-
Medula	0,06	0,84	DLP

DLD: debajo del límite detección

SLP: supera el límite permisible

DLP: debajo del límite permisible

La concentración en  $\mu\text{g/g}$  de plomo que describe los resultados fue, Escama 2.37, medula 0.06, hígado DLD, musculo DLD.

En el trabajo de investigación realizado por Figueroa A, (2010). En relación a los niveles de metales pesados encontrados en Hígado de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo del río de Chile - Valdivia, encontraron los siguientes rangos: El plomo (Pb) no fue detectado en hígado, ya que, los valores obtenidos fueron por debajo del límite de detección. Músculo de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo, encontramos los siguientes rangos: El Cu, Pb y Mn obtuvieron valores por debajo del límite de detección del equipo, por tanto no fueron detectados, sin embargo en el trabajo de (García, 2002), En relación al plomo, el contenido en hígado varió de 0,07 a 0,15  $\mu\text{g/g}$ . En el trabajo realizado la acumulación del plomo en la escama es de 2.37  $\mu\text{g/g}$ , seguida de la medula con 0.06  $\mu\text{g/g}$ , siendo no significativa en el hígado y músculo, encontrándose debajo de los límites permisibles del equipo analizador. No se encontraron trabajos sobre acumulación de plomo en escama y medula, razón por cual los resultados encontrados, no son contrastados. De acuerdo a los resultados, se puede inferir que la escama es una barrera protectora de la piel y órganos internos, y por último, el músculo es el tejido de menor acumulación de los metales pesados en los peces, siendo esta insignificante. Con respecto la acumulación de metales pesados en trucha por Anadon et al.( 1984), quienes encuentran una mayor concentración de hierro, seguido de zinc, cobre.

Resultados similares respecto a la ausencia de acumulación del plomo en músculo fueron observados por Griffin et al. (1997), al exponer peces de canal (*Ictalurus punctatus*), Parece ser, que el músculo posee mecanismos homeostáticos que resisten la tendencia a absorber el exceso presente en el ambiente u otros tejidos. En este trabajo, se encontraron niveles muy bajos de plomo en músculo, inferiores al LMP establecido por la Unión Europea que es 0,3  $\mu\text{g/g}$ , para carne de pescado y por la NOM-027-SSAI-1993 mexicana que es 1,0  $\mu\text{g/g}$ , para los productos de la pesca frescos, refrigerados y congelados.

#### **1.4. CONTENIDO CADMIO EN LA ESCAMA, MUSCULO, TEJIDO ÓSEO Y EL HÍGADO DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) EN LA CUENCA DEL RÍO CHALHUANCA**

En contenido de plomo en la escama, musculo, tejido óseo y el hígado de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en la cuenca del río Chalhuanca, analizada en el espectrofotómetro de absorción atómica se especifica en la siguiente tabla.

**Cuadro 6.** Resultado de la concentración de cadmio en las diferentes partes anatómicas de la trucha.

<b>Nombre</b>	<b>Concentración µg/g</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Límite Máximo permisibles 0.05 µg/g</b>
Hígado	1,52	0,28	SLD
Escama	DLD	-	-
Musculo	DLD	-	-
Medula	DLD	-	-

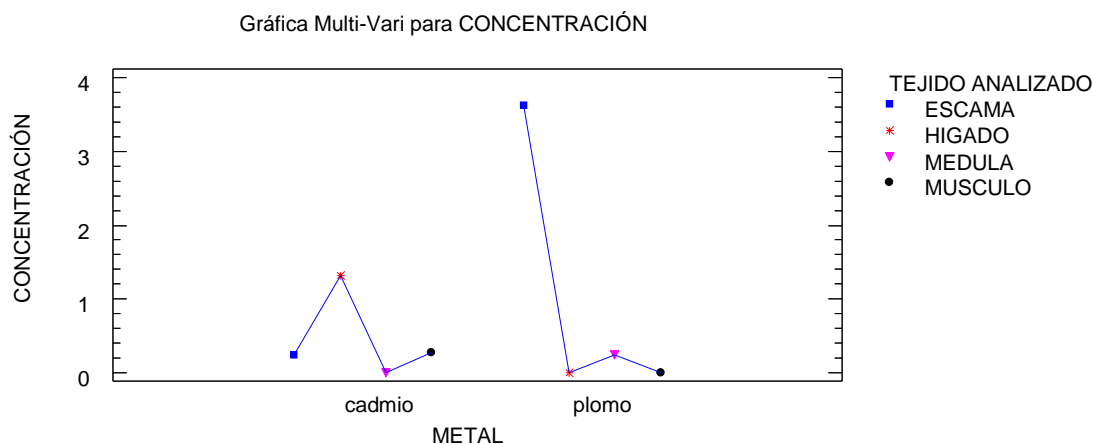
DLD: debajo del límite detección

SLP: supera el límite permisible

Las concentración de cadmio fue el siguiente hígado 1.52 µg /g, escama, musculo, medula los resultados están debajo del límite de detección.

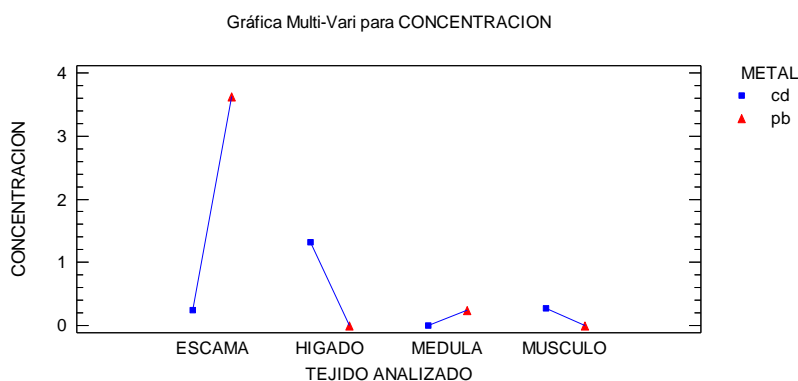
Figuroa A, (2010) En relación a los niveles de metales pesados encontrados en Hígado de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo del rio de chile - valdivia, encontramos los siguientes rangos: Cadmio (0 – 0,17 µg/g) siendo 3,4 veces mayor a lo establecido en el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 modificado el 2017. Hemelraad et al. (1987) encontraron que el Zn ejerce efectos antagónicos sobre la absorción de Cd a través de las branquias en la trucha (*Anodonta cygea*), pero aceleró el transporte de Cd desde las branquias hacia los órganos internos. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por el presente estudio, donde no se detectó Cd en branquias pero sí en hígado. En el trabajo realizado la cantidad de cadmio en el hígado es 30 veces más al contenido máximo de cadmio en la carne de pescado es de 0.050 µg/g Según Unión Europea. Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 modificado el 2017 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. El hígado juega también un rol clave en la detoxificación y la síntesis de compuestos y factores indispensables (Ferguson, 2006).

### Grafica 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANZA



Se observa, el cadmio se acumula más en el hígado a una concentración de  $1.52 \mu\text{g/g}$ , estando en la escama, médula y músculo en concentraciones similares, debajo del límite de detección.; así como, en el plomo se acumula más en la escama en concentración de  $2.37 \mu\text{g/g}$ , medula  $0.06 \mu\text{g/g}$ , mientras el hígado y músculo se encuentran debajo del límite de detección. , con un nivel del 95.0% de confianza.

### Grafica 2. ANALISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANZA



La concentración de plomo en la escama ( $2.37 \mu\text{g/g}$ ) es más alta que el cadmio encontrándose debajo del límite de detección;  $1.52 \mu\text{g/g}$  de cadmio en mayor cantidad que plomo (DLD) en el hígado, así como en medula  $0.06 \mu\text{g/g}$  concentración de plomo siendo superior que cadmio encontrándose debajo del límite de detección DLD en médula, en el músculo según la gráfica cadmio es superior que el plomo siendo ambos por debajo del límite de detección. con un nivel del 95.0% de confianza.

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Multi-varianza Tukey. con un nivel del 95.0% de confianza Por lo que decimos que la absorción de plomo y cadmio en la escama, hígado, médula y músculo son homogéneos.

Los resultados de este estudio son difíciles de comparar con otras investigaciones, debido a que existe una mínima cantidad de estudios respecto al contenido de metales traza en órganos y tejidos de la trucha, adicionando a esto, que la mayoría de las publicaciones corresponden a especies diferentes a la investigada en esta tesis R. Pezo D. H. Paredes A. N. Y . Bedayán A. han estudiado cuatro metales pesados bioacumulables como Mercurio, Cadmio, Plomo y Cobre. Se han muestreado especies de tres ríos diferentes; Nanay, Ucayali y Amazonas. Las concentraciones en su mayoría son menores que los límites establecidos internacionalmente para pescado y productos pesqueros.

De acuerdo a los resultados se observa, el cadmio se acumula más en el hígado a una concentración de 1.52  $\mu\text{g/g}$ , estando en la escama, médula y musculo en concentraciones similares, debajo del límite de detección.; así como, en el plomo se acumula más en la escama en concentración de 2.37  $\mu\text{g/g}$ , medula 0.06  $\mu\text{g/g}$ , mientras el hígado y musculo se encuentran debajo del límite de detección. , con un nivel del 95.0% de confianza. No se puede comparar las cantidades encontradas de la escama y medula debido a la no existencia de trabajos de investigación en referencia. Sin embargo en el trabajo de Figueroa A, (2010) En relación a los niveles de metales pesados encontrados en Hígado de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo del rio de chile - valdivia, encontró en **Hígado** de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo, encontramos los siguientes rangos: El plomo (Pb) no fue detectado en hígado, ya que, los valores obtenidos fueron por debajo del límite de detección. Para Cadmio (0 – 0,17  $\mu\text{g/g}$ )

Así como el estudio realizado por Carmona (2009), en salmones indica que el Pb y el Cd no fueron detectados, lo que es similar en este estudio, ya que, el elemento Pb tampoco fue evidenciado.

En relación a los niveles de metales pesados encontrados en **Músculo** de Trucha Arcoíris en las diferentes zonas de muestreo, encontramos los siguientes rangos: Para Cd (0 – 0,32  $\mu\text{g/g}$ ), El Pb obtuvieron valores por debajo del límite de detección del equipo, por tanto no fueron detectados.

Blanco M., 1986. Se encontró que los metales esenciales (Fe, Cu, Mn, Zn) fueron acumulados en mayor proporción que los metales no esenciales (Cd, Pb y As) en la mayoría de las muestras analizadas. Los rangos de concentración obtenidos para los metales en

estudio fueron los siguientes: Pb (0 – 3,6 µg/g), y Cd ( 0 – 0,32 µg/g). Uno de los factores que influye en la absorción es de tipo biológico: La edad del espécimen influye en la absorción de metales pesados. La bioacumulación es el proceso por el cual los químicos entran a los organismos desde el agua, a través de las branquias o tejido epitelial y son acumulados (Hopkins, 2003). Múltiples factores pueden influir en la no muy alta acumulación de metales en el pez, tanto aspectos bióticos como abióticos, siendo significativos desde la variedad en la alimentación de los peces, hasta cambios en los organismos debido a las condiciones del medio. (Wang, 1989).

El crecimiento de los peces, dependerá en gran medida de la intensidad metabólica dentro de la población, siempre que el complejo corriente de energía (en la cadena trófica), factor físico y las acciones recíprocas con otras poblaciones lo permitan. Las condiciones del medio, constituye una de las razones fundamentales que regulan el crecimiento y cuando este se encuentra alterado y el hábitat destruido, influyen directamente en el crecimiento (Odum, 1986). Además, otros factores que influyen son respecto a la trucha, como sus necesidades ecológicas, dieta, sexo, edad y tamaño corporal que también afectan a la acumulación de estos elementos en sus tejidos (Canli & Atli, 2003). Los diferentes metales pesados tienen órganos más afines a la hora de acumularse, y la mayoría de los autores coinciden en resultados parecidos de patrones de acumulación.

Etapa Juvenil: Esta etapa comprende tallas de cultivo de 10 hasta 18 cm, con pesos promedios de 12,5 a 30,7 g; respectivamente, esta fase tiene una duración de 2 a 3 meses, Etapa de Engorde (Tamaño Comercial): En esta fase las truchas se encuentran hasta alcanzar el tamaño comercial, es decir de 22 a 28cm con pesos aproximados de 200 – 250 g según Produce – 2009, La muestra analizada encuentra truchas entre 50 a 100 g y tallas entre 12 a 25 cm de largo, infiriendo que las condiciones del medio regula la calidad y cantidad de nutrientes y cuando este se encuentra contaminado, afecta tanto directa como indirectamente el crecimiento de las truchas.

Según los datos estadísticos obtenidos con un nivel del 95.0% de confianza, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de CONCENTRACIÓN entre un nivel de METAL y otro, la absorción del cadmio y plomo en la escama, médula hígado y músculo

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- En términos de sanidad de los alimentos, el tejido muscular la parte comestible e importante de la trucha presenta contenido por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Unión Europea para cadmio y plomo, según los datos estadísticos la absorción de cadmio y plomo es homogénea en el escama, hígado, músculo y médula. esto con lleva a un consumo sano y una comercialización segura, así mismo al desarrollo agro industrial en la Provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac.
- Al determinar de cadmio en trucha (*Oncorhynchus mykiss*) específicamente en la escama, músculo, tejido óseo y el hígado, en el río de Chalhuanca Provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac presenta niveles de cadmio por debajo de los límites establecidos por la Unión Europea, teniendo un excedente en el hígado de 1.5 µg/g, sin embargo, en el músculo, médula y escama el resultado es no significativo, estos niveles no ofrecen peligro para la salud, permitiendo su consumo y comercialización.
- El contenido de plomo en la escama, músculo, tejido óseo y el hígado de la especie acuícola (*Oncorhynchus mykiss*) en la cuenca del río Chalhuanca Provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac, encontramos en la Escama 2.36 µg/g, médula 0.056 µg/g, y en el hígado y médula resultados no significativos. estos niveles no ofrecen peligro para la salud, en vista que la escama y el hígado no es comestible.



## 5.2. RECOMENDACIONES

- El consumo de la trucha del río Chalhuanca con lleva a un consumo sano y una comercialización segura, así mismo al desarrollo agro industrial en la Provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac. Sin embargo, es necesario Implementar un plan de gestión que considere el monitoreo del nivel de concentración de los metales pesados del agua y de los tejidos de los peces, y la aplicación de las normas y reglamentos de la legislación ambiental vigente, en coordinación con los sectores involucrados en la política ambiental de la provincia de Aymares.
- Dado los resultados encontrados se recomienda desechar el hígado, escama y medula de la trucha, encontrándose en estos tejidos cantidades de Plomo y Cadmio encima de los límites máximos permisibles según la unión europea.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aguilera-Díaz María M. El Canal del Dique y su subregión: una economía basada en la riqueza hídrica (ISSN 1692 – 3715). Banco de la república (CEER – Cartagena). 2006.
- Aguilera P., Noriega P. 1985, La trucha y su cultivo, Secretaria de Pesca. FONDEPESCA, México, 60 p.p.
- Aguilera P., 1988, ¿Qué es la acuicultura? FONDEPESCA, México, 57 p.p.
- Agusa T., Kunito T., Iwata H., Monirith I., Chamnan C., Tana TS., Subramanian A., Tanabe S. Mercury in hair and blood from residents of Phnom Penh (Cambodia) and possible effect on serum hormone levels. *Chemosphere*. 2007 Jun;68:590-6. Epub 2007 Feb 9.
- Álvarez jaramillo rommel & Amancio murillo fredy Aurelio, Bioacumulación de metales pesados en peces y análisis de agua del río santa y de la laguna chinancochallanganuco periodo 2012 – 2013” tesis para optar el título profesional de ingeniera ambiental autor(es): universidad nacional “santiago antunez de mayolo
- Blanco M., 1994, La Trucha, cría industrial. Ed. Mundi-prensa. Madrid-Barcelona-México. 2ºed. 76 p.p.
- Directiva 86/280/CEE . (1986). Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a los valores límite y los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del Anexo de la Directiva 76/464/CEE. *Diario Oficial* n° L 181 de 04/07/1986 p. 0016-0027 4.
- Figueroa, A 2010, Determinación de elementos traza (pb, cd, cu, mn, zn, fe y as) en trucha arcoiris (*oncorhynchus mykiss*) mediante espectrofotometría de absorción atómica en la x y xiv regiones de chile”
- Johnny agamez gonzalez 2011, Valoración del riesgo de contaminación con mercurio por el consumo de pescado en poblaciones pesqueras de santa ana y la boquilla (costa atlántica colombiana) trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de magíster en química.
- Camargo, J.A. Contribution of Spanish–American silver mines (1570–1820) to the present high mercury concentrations in the global environment. *Chemosphere*. 2002; 48: 51–57

- Camacho E., Moreno M., Rodríguez M., Luna C., Vázquez M., 2000. Guía para el cultivo de la trucha. SEMARNAP. Dirección general de acuicultura. México. 17-25 p.p.; 63-81 p.p.
- Díez S., Montuori P., Pagano A., Sarnacchiaro P., Bayona JM., Triassi M. Hair mercury levels in an urban population from southern Italy: fish consumption as a determinant of exposure. *Environ Int.* 2008 Feb;34:162-7. Epub 2007 Sep 27.
- Downey C., 1978. Systems analysis of fish caracteres. Proc. N. W. Fish-Cult. Vancouver. 133 p.p.
- Idrovo A.J., Manotas L.E., Villamil de García G., Ortiz J.E., Silva E, Romero S.A., Azcarate C.E. Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomedical.* 2001.Vol 21, 134- 141
- Idrovo A.J., Romero W.M., Silva E., Villamil de García G., Ortiz J.E. Determinación de mercurio en muestras biológicas prehispánicas colombianas: primeras experiencias y perspectivas de investigación 2002 Mar; 22: 67-70.
- Hopkins W, Tatara CP, Brant HA, Jagoe CH (2003). Relationships between mercury body concentrations, standard metabolic rate and body mass in eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) from three experimental populations. *Environ. Toxicol. Chem.* 22, 586 - 590.
- Heath AG. (1995). *Water Pollution and fish Physiology*. Lewis Publishers Boca Raton, New York, London, Tokio. Pp. 359
- Klontz W., 1997. Producción de trucha arco iris en granjas familiares. El pedregal silver Cup. Edo. de México. 10-46 p.p
- Komyo Eto, Masumi Marumoto Health and Nursing Facilities for the Aged, Jushindai, Shinwakai, and Motohiro Memorial Symposium: Milestones in Neuropathology from Japan. The pathology of methylmercury poisoning (Minamata disease). Takeya. Pathology Section, Department of Basic Medicine, National Institute for Minamata Disease, and Department of Cell Pathology, Graduate School of Medical Sciences, Kumamoto University, Kumamoto, Japan. 2010
- Downey C., 1978. Systems analysis of fish caracteres. Proc. N. W. Fish-Cult. Vancouver. 133 p.p.
- Mancini, Miguel Alberto. 2002. Cursos Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, FAV UNRC.

- NTP 204.060:2009 (revisada el 2014) trucha entera o entera eviscerada, con o sin cabeza, congelada
- Olivero J., Caballero K., Negrete J. Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolivar, North of Colombia. *Biol Trace Elem Res.* 2011 Apr 8.
- Olivero J., Caballero K., Torres N. Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. . *Int J Environ Health Res.* 2008 Oct; 19: 343-55.
- Olivero J., Duarte D., Echenique M., Guette J., Johnson-Restrepo B., Parsons P.J. Blood lead levels in children aged 5-9 years living in Cartagena, Colombia. *Sci Total Environ.* 2007 Jan 1; 372: 707-16. Epub 2006 Dec 8. Olivero J., Johnson, B., Mendoza, C., Paz, R., and Olivero, R. 2004. Mercury in the aquatic environment of the village of Caimito, North of Colombia. *Water, Air and Soil Pollution.* 159:409-420
- Olivero J., Johnson B. El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Universidad de Cartagena. Editora Alpha. Cartagena, Colombia. 2002.
- Olivero J., Johnson B., Arguello E (2002B). . Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ.* 2002 Apr 22; 289: 41-4
- Olivero J., Johnson B., Baldiris R., Güette-Fernández J., Magallanes-Carreazo E., Vanegas-Ramírez L., Kuniyiko N. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environ Int.* 2008 May; 34: 476-82.
- Olivero J., Mendonza C., Mestre J. [Hair mercury levels in different occupational groups in a gold mining zone in the north of Colombia]. *Rev Saude Publica.* 1995 Oct; 29: 376-9.
- Olivero J., Solano B. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. *Sci Total Environ.* 1998 Jun 30; 217: 83-9.
- Olivero J., Ropero J., Ortiz-Rivera W., Vera-Ospina P., Torres-Fuentes N., Montoya-Rodríguez N. Air mercury levels in a pharmaceutical and chemical sciences school building. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2006 Jun.

- Ortega J. 2000. Manejo y alternativas de desarrollo para el cultivo de la trucha arco iris. SEDAP. México 5-20 p.p..
- PNRQ – Proyecto BANHG. Programa Nacional de Riesgos Químicos. Movimiento Mundial para el Cuidado de la Salud libre de Mercurio. Información sobre el Mercurio. Publicación de Salud sin Daño-2007
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). productos químicos productos químicos. evaluación mundial sobre el mercurio. acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE. Ginebra, Suiza. Diciembre de 2002. Rice, G., Swartout, J., Mahaffey, K., and Schoeny, R. (2000). Derivation of U.S. EPA's oral Reference Dose (RfD) for methylmercury. Drug Chem. Toxicol. 23(1):41-54.
- Rueda C., Aikawa M., Prada L., Franco M., Martínez M., Padilla G. Evaluating the presence of the mer A gene implied in mercury detoxification from native actinomycete strains from La Conejera wetlands. colomb. biotecnol vol.11 no.2 2009
- Sanfeliu C., Sebastià J., Cristòfol R., Rodríguez-Farré E. Neurotoxicity of organomercurial compounds. Neurotox Res. 2003; 5: 283-305.
- Thomas W. Clarkson, Ph.D., Laszlo Magos, M.D., and Gary J. Myers, M.D. The Toxicology of Mercury — Current Exposures and Clinical Manifestations. Departments of Environmental Medicine (T.W.C.) and Neurology and Pediatrics (G.J.M.), University of Rochester School of Medicine, Rochester, N.Y.; and the Medical Research Council Laboratories, Carshalton, United Kingdom (L.M.). October 30, 2003
- Unión Europea. Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 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, 19 de diciembre 2006.
- Velásquez L., Dussán J. Biosorption and bioaccumulation of heavy metals on dead and living biomass of *Bacillus sphaericus*. Centro de Investigaciones microbiológicas (CIMIC), Universidad de los Andes, Cra 1 N. 18 A-10, Colombia Julio 12 de 2009
- Valdivia Figueroa Andrea Loreto Spiess 2010– Chile “determinación de elementos traza (pb, cd, cu, mn, zn, fe y as) en trucha arcoiris (*oncorhynchus mykiss*) mediante espectrofotometría de absorción atómica en la x y xiv regiones de Chile”

- Yorifuji T, Tsuda T, Inoue S, Takao S, Harada M, Kawachi I. Critical appraisal of the 1977 diagnostic criteria for Minamata disease. *Arch Environ Occup Health*. 2013.
- Yorifuji T, Tsuda T, Inoue S, Takao S, Harada M. .Long-term exposure to methylmercury and psychiatric symptoms in residents of Minamata, Japan. Department of Epidemiology, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences. *Environ Int*. Abril 5 2011.
- Wang W (1987). Factors affecting metal toxicity to (and accumulation by) aquatic organism-overview. *Environmental International*. Vol. 13. 437-457.
- Zamora S., Blanco M., 1986. Diagnostico de estado actual de la trucha arco iris de México. México, D.F. 26-35 p.p.

## ANEXOS

### ANEXO 01: ANÁLISIS DE AGUA DEL RÍO DE CHALHUANCA

Se tomó 3 muestras del agua del río de Chalhuanca midiendo parámetros. Según la directiva NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- Muestreo. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación en 25 de marzo de 1980.

Analizadas en el laboratorio de análisis de productos agroindustriales

**Cuadro 1.** Parámetros del agua del río de Chalhuanca

PARAMETROS		Desviación estándar
Conductividad.	<b>153, 5</b>	<b>0.01</b>
Ph	<b>7.9</b>	<b>0.02</b>
Acidez	<b>5</b>	<b>0.001</b>
Temperatura	<b>15 °c</b>	

### PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN PATRON MULTIELEMENTAL

Se preparó 50 ml de una solución de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd), a una concentración de 10 ppm y pH 6.3, diluidos a partir de una solución estándar comercial, cuya concentración original es de 1000 mg/L, para ello se utilizó agua ultrapura calidad tipo I debido no contiene ningún tipo de sólidos, u materia orgánica, y se usó la fórmula siguiente:  $v1 \times c1 = v2 \times c2$

Donde:

V<sub>1</sub>: Volumen inicial

C<sub>1</sub>: Concentración inicial

V<sub>2</sub>: Volumen final

C<sub>2</sub>: Concentración final

$$v1 \times c1 = v2 \times c2$$

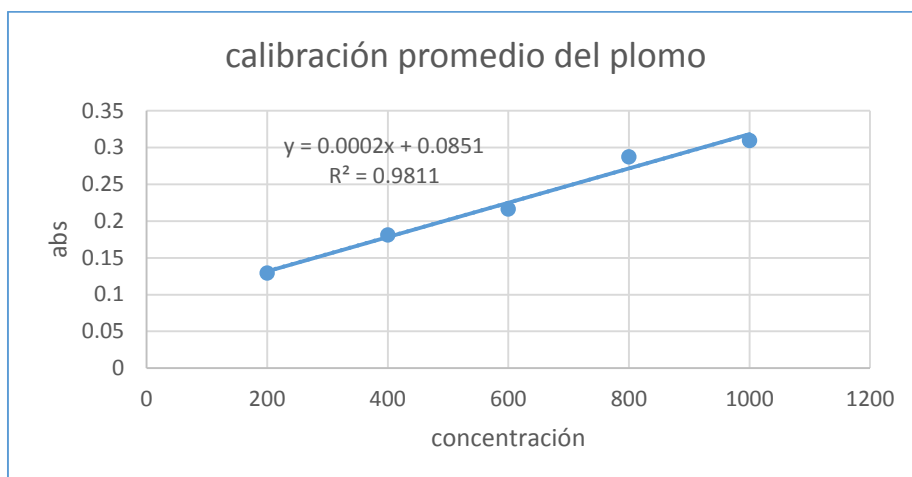
$$1000 \times v1 = 1 \times 50$$

$$v1 = 50ml$$

$$v1 \times c1 = v2 \times c2$$

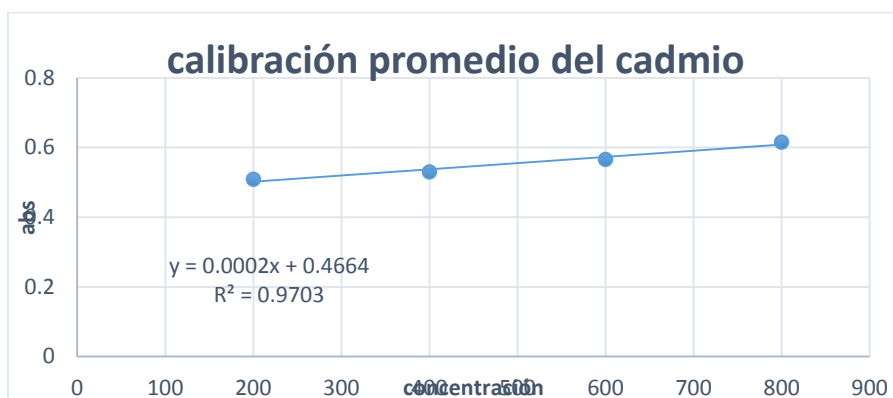
$$1000 \times v1 = 0.2 \times 50$$

$$v1 = 10ml$$



**Grafica 1.** Curva de calibración promedio para el plomo

Dado el patrón diluido a concentraciones de 200, 400, 600, 800, 1000 ppm para el plomo con un  $r = 0.98$  deducimos las absorbancias. Siendo estas la ecuación base para las concentraciones teniendo las absorbancias.

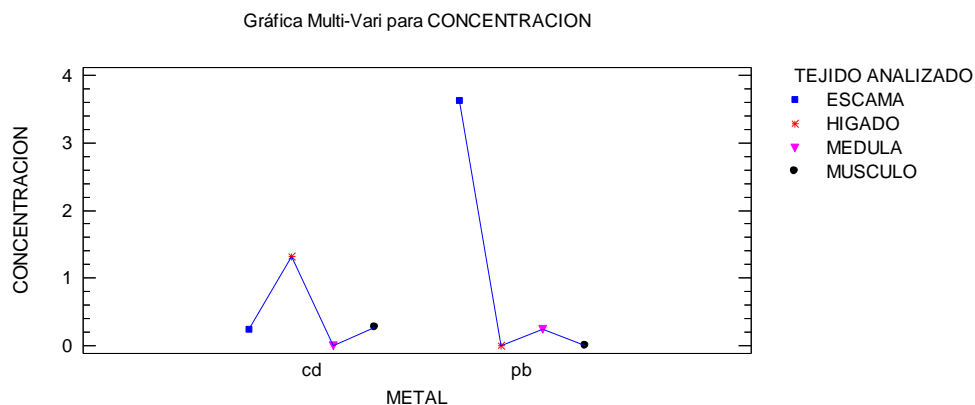


**Grafica 2.** Curva de calibración promedio para el cadmio

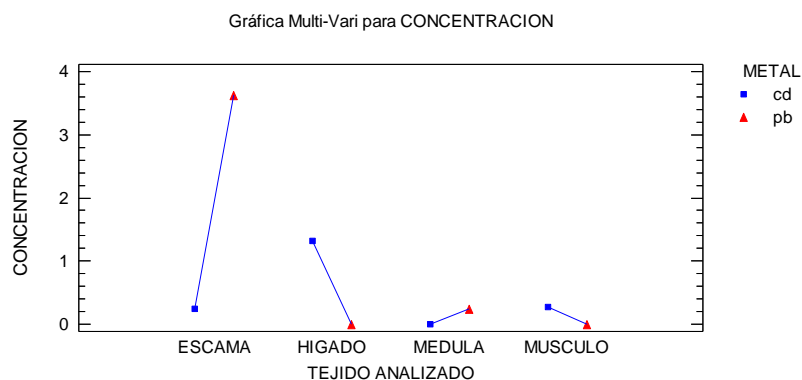
Dado el patrón diluido a concentraciones de 200, 400, 600, 800, 1000 ppm para el Cadmio con un  $r = 0.97$  deducimos las absorbancias. Siendo estas la ecuación base para las concentraciones teniendo las absorbancias.



## ANEXO 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA



Gráfica de análisis multivarianza se deduce que Cadmio hay en mayor concentración en el hígado, siendo en los tejidos analizado el más encontrado, así mismo, la concentración de Plomo se encuentra más en la escama y medula.



Fuente. Elaboración Propia.

De la misma manera se hace un análisis multivarianza de metal para cada tejido, encontrándose en la escama más concentración de Plomo, en el hígado el Cadmio supera al Plomo, en la medula se encuentra más concentración de Plomo, así en el musculo más de Cadmio.

### ANOVA Multifactorial - CONCENTRACION

Variable dependiente: CONCENTRACION

Factores:

METAL

TEJIDO ANALIZADO

Número de casos completos: 16

#### Análisis de Varianza para CONCENTRACION - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:METAL	1.04551	1	1.04551	0.91	0.3617
B:TEJIDO ANALIZADO	8.69242	3	2.89747	2.51	0.1128
RESIDUOS	12.6999	11	1.15454		
TOTAL (CORREGIDO)	22.4378	15			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de CONCENTRACION en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que ningún valor-P es menor que 0.05, ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre CONCENTRACION con un 95.0% de nivel de confianza.

#### ANÁLISIS

ANOVA Simple - CONCENTRACION por METAL con un valor-P 0.370795, el análisis se hace con el método de Kruskal-Wallis solo para partes anatómicas con valor-p 0.51067 y ratifica el resultado anterior no influyen.

Por lo tanto concluimos que los tres métodos coinciden con Los resultados estadísticos del ANOVA Multifactorial – CONCENTRACIÓN, resultando de esta un Valor-P mayor a 0.05, siendo los resultados no significativos, así que el musculo hígado escama y medula no influyen en la cantidad de metal que hay, estos valores no difieren.

#### Pruebas de Múltiple Rangos para CONCENTRACION por TEJIDO ANALIZADO

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>TEJIDO ANALIZADO</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MEDULA	4	0.12	0.537247	X
MUSCULO	4	0.1375	0.537247	X
HIGADO	4	0.6575	0.537247	X
ESCAMA	4	1.9325	0.537247	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
ESCAMA - HIGADO		1.275	2.29206

ESCAMA - MEDULA		1.8125	2.29206
ESCAMA - MUSCULO		1.795	2.29206
HIGADO - MEDULA		0.5375	2.29206
HIGADO - MUSCULO		0.52	2.29206
MEDULA - MUSCULO		-0.0175	2.29206

\* indica una diferencia significativa.

### El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

### Análisis

ANOVA Simple - CONCENTRACION por METAL con un valor-P 0.370795, el análisis se hace con el método de Kruskal-Wallis solo para partes anatómicas con valor-p 0.51067 y ratifica el resultado anterior no influyen.

Por lo tanto concluimos que los tres métodos coinciden con Los resultados estadísticos del ANOVA Multifactorial – CONCENTRACIÓN, resultando de esta un Valor-P mayor a 0.05, siendo los resultados no significativos, así que el musculo hígado escama y medula no influyen en la cantidad de metal que hay, estos valores no difieren.

## ANEXO 3. CONTENIDO MÁXIMOS DE METALES PESADOS EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS SEGÚN LA UNION EUROPEA

### METALES PESADOS

Revisión Marzo 2017

#### UNION EUROPEA. CONTENIDOS MAXIMOS EN METALES PESADOS EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS

##### PLOMO (Pb)

PRODUCTO	Contenido máximo (mg / Kg peso fresco)
1.1 Leche cruda (2), leche tratada térmicamente y leche para la fabricación de productos lácteos	0,020
1.2 Preparados para lactantes y preparados de continuación	
Comercializados en polvo	0,050
Comercializados líquidos	0,010
1.3 Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad (4) distintos de los indicados en 1.5	0,050
1.4 Alimentos para usos médicos especiales destinados específicamente para lactantes y niños de corta edad (15)	
Comercializados en polvo	0,050
Comercializados líquidos	0,010
1.5 Bebidas para lactantes y niños de corta edad vendidas como tales distintas de las mencionadas en 1.2 y 1.4	
Comercializadas líquidas o para ser reconstituidas siguiendo las instrucciones del fabricante, incluidos los zumos de frutas	0,030
Para ser preparadas mediante infusión o decocción	1,50
1.6 Carne (excluidos los despojos) de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral (2)	0,10
1.7 Despojos de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral (2)	0,50
1.8 Carne de pescado (5) (6)	0,30
1.9 Cefalópodos (22)	0,30
1.10 Crustáceos (17)	0,50
1.11 Moluscos bivalvos	1,50
1.12 Cereales y legumbres secas	0,20
1.13 Hortalizas, excluidas las de hoja del género Brassica, salsifíes, hortalizas de hoja excluidas las hierbas frescas, setas y algas marinas y hortalizas de fruto (8) (23)	0,10
1.14 Hortalizas de hoja del género Brassica, hortalizas de hoja excluidas las hierbas frescas y las siguientes setas: Agaricus bisporus (champiñón), Pleurotus ostreatus (seta de ostra) y Lentinula edodes (seta shiitake) (8)	0,30
1.15 Hortalizas de fruto	
Maíz dulce (8)	0,10
Distintas del maíz dulce (8)	0,05
1.16 Frutas, excluidos los arándanos, las grosellas, las bayas de saúco y los madroños (8)	0,10
1.17 Arándanos, grosellas, bayas de saúco y madroños (8)	0,20

PRODUCTO	Contenido máximo (mg / Kg peso fresco)
1.18 Grasas y aceites, incluida la grasa láctea	0,10
1.19 Zumos de frutas, zumos de frutas concentrados reconstituidos y néctares de frutas (9)	
Exclusivamente de bayas y otras frutas pequeñas	0,05
De frutas distintas de las bayas y otras frutas pequeñas	0,03
1.20 Vinos (incluido el vino espumoso y excluido el vino de licor) sidra, perada y vinos de frutas (10)	
Producidos desde la cosecha de frutas de 2011 hasta la cosecha de 2015	0,20
Producidos desde la cosecha de frutas de 2016	0,15
1.21 Vino aromatizado, bebidas aromatizadas a base de vino y cócteles aromatizados de productos vitivinícolas (12)	
Producidos desde la cosecha de frutas de 2011 hasta la cosecha de 2015	0,20
Producidos desde la cosecha de frutas de 2016	0,15
1.22 Complementos alimenticios (16)	3,0
1.23 Miel	0,10

El método de toma de muestras y criterios de realización de los métodos de análisis se basan en la en el Reglamento 333/ 2007

#### CADMIO (Cd)

PRODUCTO (1)	Contenido máximo(mg / Kg peso fresco)
1. Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de raíz y tubérculo, las hortalizas de hoja, las hierbas frescas, las hortalizas de hoja del género Brassica, los tallos jóvenes, las setas y las algas marinas (1)	0,050
2. Hortalizas de raíz y tubérculo ( excluidos los apionabos, chirivias, salsifíes y rábanos rústicanos ), tallos jóvenes ( excluido el apio). En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas (1)	0,10
3. Hortalizas de hoja, hierbas frescas, hortalizas de hoja del género Brassica, apio, apionabos, chirivias, salsifíes, rábanos rústicanos y las siguientes setas: Agaricus bisporus ( champiñón), Pleurotus ostreatus ( seta de ostra) y Lentinula edodes ( seta shiitake) (1)	0,20
4. Setas, excluidas las enumeradas en el apartado anterior (1)	1,0
5. Cereales, excluidos el trigo y el arroz	0,10
6. – Granos de trigo, granos de arroz	
- Salvado de trigo y germen de trigo para el consumo directo	0,20
- Habas de soja	
7. Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación: (19)	
- chocolate con leche con un contenido en materia seca total de cacao < 30%	0,10 a partir 01-01-2019

PRODUCTO (1)	Contenido máximo(mg / Kg peso fresco)
-chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido en materia seca total de cacao $\geq$ 30%	0,30 a partir 01-01-2019
- chocolate con un contenido de materia seca total de cacao $\geq$ 50%	0,80 a partir 01-01-2019
- cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final ( chocolate para beber)	0,60 a partir 01-01-2019
8. Carne ( excluidos los despojos) de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral (2)	0,050
9. Carne de caballos, excluidos los despojos (2)	0,20
10. Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (2)	0,50
11. Riñones de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (2)	1,0
12. Carne de pescado (5) (6), excluidas las especies enumeradas en puntos 13, 14 y 15	0,050
13. Carne de los siguientes pescados (5) (6):  Caballa ( <i>Scomber species</i> ), atún ( <i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i> y bichique ( <i>Sicyopterus lagocephalus</i> )	0,10
14. Carne de los siguientes pescados (5) (6):  Melva ( <i>Auxis species</i> )	0,15
15. Carne de los siguientes pescados (5) (6):  Anchoa ( <i>Engraulis species</i> ), pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> ) y sardina ( <i>Sardina pilchardus</i> )	0,25
16. Crustáceos (7); carne de los apéndices y del abdomen (17). En el caso de los cangrejos y crustáceos similares ( <i>Brachyura</i> y <i>Anomura</i> ) la carne de los apéndices	0,50
17. Moluscos bivalvos (7)	1,0
18. Cefalópodos (7) ( sin vísceras)	1,0
19. Preparados para lactantes y preparados de continuación (3) (4):	
- Preparados en polvo para lactantes elaborados a partir de las proteínas obtenidas de la leche de vaca o de hidrolizados de proteínas	0,010 a partir 01-01-15
- Preparados líquidos para lactantes elaborados a partir de las proteínas obtenidas de la leche de vaca o de hidrolizados de proteínas	0,005 a partir 01-01-15
- Preparados en polvo para lactantes elaborados a partir de aislados de proteínas de soja solos o mezclados con las proteínas de la leche de vaca	0,020 a partir 01-01-15
- Preparados líquidos para lactantes elaborados a partir de aislados de proteínas de soja solos o mezclados con las proteínas de la leche de vaca	0,010 a partir 01-01-15
20. Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad (13) (14)	0,040 a partir 01-01-15
21. Complementos alimenticios (16) excluidos los complementos alimenticios enumerados en el punto 22	1,0
22. Complementos alimenticios compuestos (16) exclusiva o principalmente de algas marinas desecadas, de productos a base de algas marinas o de moluscos bivalvos desecados	3,0



## ANEXO 04: FOTOGRAFIAS

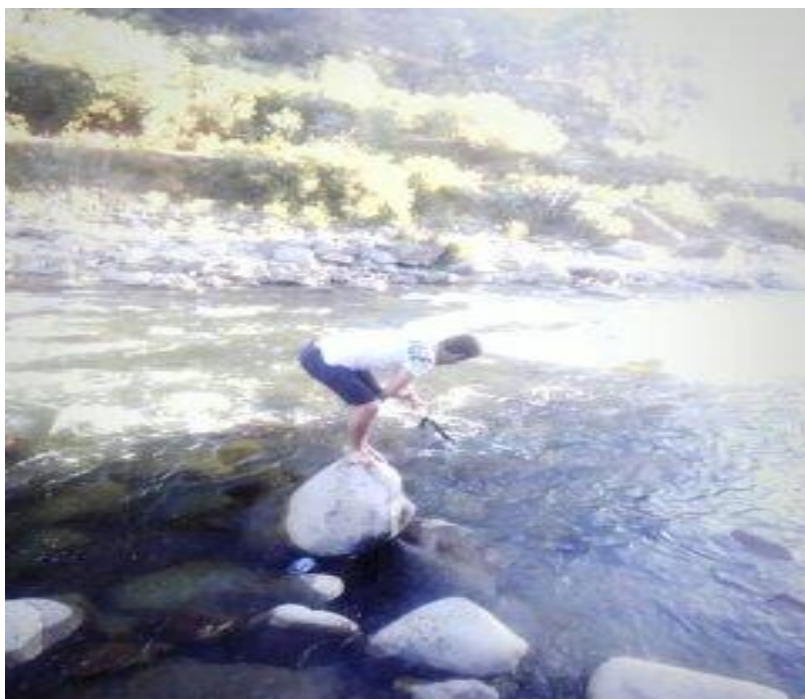
**FOTO 1: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**



**FOTO 2: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**



**FOTO 3: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**



**FOTO 4: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**





**FOTO 5: PREPARACIÓN DEL MATERIAL A TRABAJAR**



**FOTO 6: PESADO, MEDIDO LA MUESTRA**



**FOTO 7: SEPARACIÓN DE LA ESCAMA**



**FOTO 8: SEPARACIÓN DE ESCAMA**



**FOTO 9: SEPARACIÓN DEL HÍGADO**



**FOTO 10: SEPARACIÓN DE PIEL**





**FOTO 11: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA**



**FOTO 12: SEPARACION DE LA MÉDULA**



**FOTO 13: SECADO DE LAS MUESTRAS**





FOTO 14: MUESTRA SECA Y TRITURADA

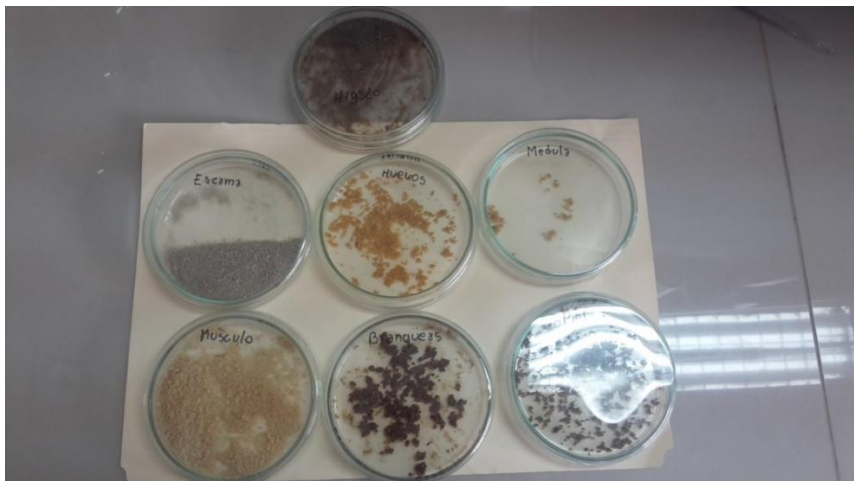


FOTO 15: ACONDICIONADO Y ALIMENTACIÓN DE LA MUESTRA AL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



FOTO 16: ESPECTROSCOPIO DE ABSORCION ATOMICA Y LECTURA DE RESULTADOS.

