

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DE LA  
ESPECIE *Salmo trutta* (TRUCHA) PROCEDENTES DE 3 RIOS DE LA PROVINCIA  
DE ESPINAR, CUSCO-2020**

**Tesis**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**LUIS ENRIQUE CARDENAS HUAMAN**

**2021**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**DIRECCION DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**  
**Aprobado por acuerdo N°167-2016-FRNR-UNAS**  
**EVALUACION DE LA TESIS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

FECHA: 13/05/2021 HORA: 5 p.m.

Los miembros del jurado de tesis se deben reunir con el tesista y asesor, para realizar la respectiva evaluación, primero del documento y posteriormente de la sustentación oral

| <b>DATOS DEL JURADO CALIFICADOR</b> |                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>ORDEN</b>                        | <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>                |
| PRESIDENTE                          | Mblgo M. Sc Luis Alberto Sánchez Romero   |
| MIEMBRO                             | Ing. M. Sc. Víctor Manuel Beteta Alvarado |
| MIEMBRO                             | Ing. M. Sc. Sandra Zavala Guerrero        |
| SUPLENTE                            | Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar     |
| ASESOR                              | Ing. M. Sc. Ivett Falcón Ramírez          |

| <b>DATOS DEL AUTOR Y TESIS</b> |                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APELLIDOS Y NOMBRES            | CÁRDENAS HUAMÁN , Luis Enrique                                                                                                                                       |
| TITULO                         | "BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DE ESPECÍMENES DE <i>Salmo trutta</i> (TRUCHA) PROCEDENTES DE 3 RIOS DE LA PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO-2020" |

**PROPÓSITO:**

El propósito de la evaluación de la tesis es verificar que haya solucionado un problema específico o satisfecho una necesidad particular en su campo disciplinar, a partir de la propuesta aprobada, realizando en el proceso un aporte original, significativo y relevante en el dominio de investigación correspondiente

**PARTE A – EVALUACIÓN DEL DOCUMENTO**

**ESCALA DE VALORACIÓN:**

| <b>Excelente</b> | <b>Muy Buena</b> | <b>Buena</b> | <b>Regular</b> | <b>Mala</b> |
|------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|
| 20-18            | 17-16            | 15-13        | 12-11          | 10-0        |

**PROBLEMA:**

¿Existe bioacumulación por plomo y cadmio en *Salmo trutta* "trucha" procedente de los ríos Salado, Cañipia y Pichigua del distrito de Yauri, Espinar, Cusco?

**PARTE A– REVISIÓN DEL BORRADOR DE TESIS**

| ASPECTOS DE EVALUACION DE LA TESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Puntaje |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. <b>VALIDEZ DE LA HIPÓTESIS YO SOLUCION DEL PROBLEMA:</b> Se evidencia que se logró la solución del problema o satisfacción de la necesidad seleccionados a través de la alternativa de solución planteada en el proyecto aprobado (secciones de la propuesta: formulación/declaración del problema, metodología). Se declara apropiadamente la alternativa de solución utilizada justificándola teórica y conceptualmente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 18      |
| 2. <b>METODOLOGÍA.</b> Se evidencia que se siguió la metodología y el plan de trabajo propuestos de forma exitosa. Cualquier cambio o ajuste en la metodología y plan de trabajo está debidamente justificado. La metodología fue apropiada considerando los objetivos planteados. Todas las decisiones tomadas durante la investigación son acordes con el ámbito de utilización de la solución propuesta y los recursos disponibles, además de demostrar en empleo correcto de los conocimientos y habilidades disciplinares. Presenta de forma detallada las consideraciones teóricas (e.g. suposiciones, simplificaciones, etc.), los diseños, las variables, las muestras, los equipos, los procedimientos de recolección de datos y las técnicas de análisis de datos utilizados. Se especifican claramente cada uno de los pasos desarrollados en la investigación. Los procedimientos son replicables | 17      |
| 3. <b>RESULTADOS:</b> Se entregaron todos los resultados y productos establecidos en el proyecto y estos tienen las características especificadas en el alcance aprobado de manera que se verifica el cumplimiento de todos los objetivos de la tesis. Existe coherencia entre los resultados y el marco teórico desarrollado en la tesis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 17      |
| 4. <b>APORTE Y ORIGINALIDAD:</b> Especifica detalladamente lo nuevo del trabajo presentado con respecto a lo que constituye el estado del arte vigente en el momento de la sustentación de la tesis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 18      |
| 5. <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:</b> Se realizó un análisis de resultados claro y bien estructurado; el autor demuestra idoneidad y entendimiento de lo ocurrido en el proceso de solucionar el problema o satisfacer la necesidad seleccionada; buen uso de gráficos, tablas y otros medios de presentación e interpretación de los resultados. Se relacionan los resultados obtenidos con los de trabajos previos, explicando su importancia y sentido físico o práctico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18      |
| 6. <b>CONCLUSIONES:</b> El autor declara conclusiones apropiadas y justificadas a partir del análisis de los resultados obtenidos; identifica la contribución e implicaciones del trabajo; reconoce limitaciones e identifica futuras áreas de desarrollo en el tema (en el problema o necesidad abordados). No confunde los resultados con las conclusiones. No plantea opiniones como conclusiones ni incluyen perogrulladas (hechos auto-evidentes u obvios) como conclusiones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 17      |
| 7. <b>APORTE EN SU FORMACION COMO PROFESIONAL:</b> Se evalúa el aporte en su formación como profesional, en el ámbito de la carrera profesional, a nivel nacional e internacional. Así mismo la idea tiene que ser original y no copia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 19      |
| 8. <b>ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO:</b> Los capítulos de la tesis están bien estructurados y han sido enlazados adecuadamente; utiliza apropiadamente apéndices o anexos para incluir información relevante (e.g., demostraciones matemáticas, encuestas, resultados de laboratorio, etc.) o de otros autores,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 17      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| imprescindible para valorar la tesis de manera completa. Utiliza las normas del OIUNAS                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| 9. <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:</b> La revisión bibliográfica y el acopio y análisis de información son adecuados para sustentar la solución planteada al problema seleccionado. Cita adecuadamente y reconoce las contribuciones e información de otros trabajos utilizada en el documento. Las referencias son recientes y vigentes (normas OIUNAS)  | 17 |
| 10. <b>PRESENTACIÓN GENERAL:</b> Redacción clara y concisa con una adecuada organización de las ideas. Buena ortografía y gramática. Uso adecuado y correcta citación y referenciación de tablas y figuras. Estilo coherente a lo largo del documento. Los gráficos y tablas son legibles. Presentación agradable del documento con un formato adecuado. | 17 |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 18 |

El promedio tiene que ser mayor o igual a 14 para autorizar la sustentación pública oral de la tesis. Si no, el autor debe replantear el trabajo considerando las observaciones realizadas y solicitar nuevamente autorización para la sustentación. La autorización de la sustentación no implica la aprobación de la tesis. La decisión definitiva al respecto la toma el jurado calificador en deliberación privada una vez finalizada la respectiva sustentación considerando la originalidad y significancia de la contribución realizada por la tesis al conocimiento disciplinar

SE VERIFICO LA EJECUCION EXPERIMENTAL DE LA TESIS



#### OBSERVACIONES:

Fueron levantadas las observaciones al informe de tesis que habían hecho los miembros del jurado y se autorizó para la sustentación de la misma

**PARTE B – SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE LA INVESTIGACION**

| ASPECTOS EVALUADOS EN LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Puntos |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. <b>VALIDEZ DE LA HIPÓTESIS:</b> Se explica y sustenta claramente la solución del problema o satisfacción de la necesidad seleccionada a través de la alternativa planteada en el proyecto aprobado, demostrando la utilización correcta del método científico y los conocimientos y habilidades disciplinares                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 17     |
| 2. <b>IDONEIDAD DE LA SUSTENTACIÓN:</b> El autor se muestra abierto a la crítica y los comentarios relevantes del jurado y la audiencia. Responde adecuadamente todos los interrogantes teóricos y metodológicos planteados con respecto a su tesis. Presenta cómo el proceso de construcción de la solución al problema, constituye un aporte original, significativo y relevante al conocimiento disciplinar. Explica claramente cómo se superan las limitaciones o desventajas de los enfoques previos para tratar con el problema. Especifica detalladamente lo nuevo del trabajo presentado con respecto a lo que constituye el estado del arte vigente en el momento de la sustentación de la tesis. Explica si se desarrolló nuevo conocimiento, si se abrió una nueva área de investigación, si se reafirmó o contradijo conocimientos previos, si se contestó una interrogante antigua, si se validó experimentalmente una teoría, si se desarrolló un marco unificador, etc | 17     |
| 3. <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES:</b> Se presenta un análisis de resultados claro y bien estructurado; en la sustentación el autor demuestra idoneidad y entendimiento de lo ocurrido en el proceso de solucionar el problema. Se relacionan los resultados obtenidos con los de trabajos previos, explicando su importancia y sentido físico o práctico. El autor presenta conclusiones apropiadas y justificadas a partir del análisis de los resultados obtenidos; generaliza y extrapola a otros contextos los resultados determinando las implicaciones del trabajo; reconoce limitaciones e identifica futuras áreas de desarrollo en el tema. No plantea opiniones como conclusiones ni incluye perogrulladas (hechos auto-evidentes u obvios) como conclusiones.                                                                                                                                                                                               | 17     |
| 4. <b>ORGANIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN Y RECURSOS AUDIOVISUALES:</b> Define y enuncia claramente los objetivos de la presentación. Presenta el contenido (mapa de organización) de la presentación. La introducción captura la atención de la audiencia. Presenta todos los temas en una secuencia lógica y con un ritmo adecuado considerado el tiempo disponible. Responde adecuadamente a cualquier inconveniente durante la presentación. Organiza efectivamente los recursos utilizados para cumplir con los propósitos de la sustentación. Las diapositivas son útiles para soportar la presentación y resaltar las ideas principales. Las diapositivas no están sobrecargadas, son claras y bien organizadas, de manera que se pueden leer fácilmente. Le da el crédito apropiado a las contribuciones o material de otros.                                                                                                                                                     | 17     |
| 5. <b>HABILIDADES DE COMUNICACIÓN E INTERACCIÓN CON LA AUDIENCIA:</b> Explica las ideas importantes de forma simple y clara. Incluye ejemplos para realizar aclaraciones. Utiliza el humor apropiadamente para mantener el interés de la audiencia. Utilización limitada de muletillas y pausas verbalizadas (ehh, ahh, etc.). Utiliza métodos que animen la participación o fomenten el interés de la audiencia en el desarrollo de la presentación (preguntas, discusión). Aclara términos no familiares. Responde a las señales de aburrimiento, confusión o curiosidad de la audiencia. Demuestra dominio del tema, confianza y entusiasmo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 16     |

|              |    |
|--------------|----|
| <b>TOTAL</b> | 17 |
|--------------|----|

**CALIFICACION DE LA SUSTENTACIÓN**

**EVALUACION DE LA INVESTIGACION:** La ponderación de 0.5 para cada Item

|                                                                                                                   |                    |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|
| La investigación constituye un aporte original, significativo y relevante al cuerpo del conocimiento disciplinar. |                    | SI <input checked="" type="checkbox"/> |
|                                                                                                                   |                    | NO <input type="checkbox"/>            |
| <b>ITEM</b>                                                                                                       | <b>PONDERACION</b> | <b>CALIFICACION</b>                    |
| DOCUMENTO                                                                                                         | 0.5                | 18                                     |
| SUSTENTACION                                                                                                      | 0.5                | 17                                     |
| CALIFICACION TOTAL                                                                                                | 1                  | 18                                     |

OBSERVACIONES:

LA SUSTENTACION TUVO UN CALIFICATIVO DE: EXCELENTE donde los miembros del jurado calificador, damos conformidad del respectivo calificativo con las respectivas firmas



Mblgo M. Sc Luis Alberto Sánchez Romero

PRESIDENTE DEL JURADO



Ing. M. Sc. Víctor Manuel Beteta Alvarado

MIEMBRO DEL JURADO



Ing. M. Sc. Sandra Zavala Guerrero

MIEMBRO DEL JURADO



Ing. M. Sc. Ivet Falcón Ramírez

ASESOR DE LA TESIS

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



## **“BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DE ESPECIMENES DE *Salmo trutta* (TRUCHA) PROCEDENTES DE 3 RIOS DE LA PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO-2020”.**

Autor : CARDENAS HUAMAN LUIS ENRIQUE

Asesor : M.Sc. Ing. FALCON RAMIREZ IVET VICTORIA

Programa de investigación : Xenobióticos

Línea de investigación : Ciencias y Tecnologías Ambientales

Eje temático de investigación : Bioacumulación de elementos en la fauna acuática

Lugar de Ejecución : Distrito de Yauri de la provincia de Espinar.

Duración : Fecha de inicio : 04 de Junio del 2020  
Fecha de término : 05 de Febrero del 2021

Financiamiento : S/. 4,106.80

FDU : No

Propio : Si

Otros : No

**2021**

**DEDICATORIA**

*A Dios, por ser torre fuerte y  
sendero en el transcurso de mi vida para  
poder llegar a este momento tan  
imprescindible de la carrera profesional,  
ayudándome a obtener mis logros y  
metas.*

*A mis padres, Adela Huamán  
Rengifo y Luis Enrique Cárdenas Silva por  
su constante apoyo moral, amor  
incondicional y valores inculcados en el  
desarrollo de mi vida.*

*A mi hija, el mayor tesoro que  
Dios me ha dado, Esperanza Cathaleya  
Cárdenas Torres por su cariño  
incalculable y su sonrisa sin igual.*

*A todas las personas  
especiales que formaron parte en esta  
etapa, haciendo que el trabajo se culmine  
con éxito gracias al aporte de sus  
conocimientos y motivación constante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la prestigiosa Universidad Nacional Agraria de la Selva, en particular a la Facultad de Recursos Naturales Renovables, escuela profesional de Ingeniería Ambiental y su distinguida plana docente, por contribuir en mi formación profesional.

A mi asesora, Ing. MSc. Ivet Victoria Falcon Ramírez, docente de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, por su apoyo desinteresado, paciencia y orientación profesional que fueron pilares para el desarrollo de la presente investigación.

A los miembros integrantes del jurado calificador, Mcdlgo. Luis Sánchez Romero, Ing. MSc. Víctor Manuel Beteta Alvarado por las sugerencias brindadas y la continuidad ofrecida en la investigación.

A mi familia, abuelos, tíos, hermanos, primos, en especial a mi madre por la comprensión y apoyo incondicional que de una u otra manera fueron parte en el desarrollo de la presente investigación.

A mis colegas, amigos y compañeros de pregrado por su apoyo académico y moral en toda la vida universitaria.

## INDICE GENERAL

|                                                                        | Pagina |
|------------------------------------------------------------------------|--------|
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                   | 1      |
| 1.1. Objetivo General.....                                             | 3      |
| 1.2. Objetivos Específicos .....                                       | 3      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                       | 4      |
| 2.1. Antecedentes .....                                                | 4      |
| 2.2. Marco Teórico .....                                               | 7      |
| 2.2.1. Estado actual de la acuicultura en el Perú.....                 | 7      |
| 2.2.2. Aspectos generales en la acuicultura de la trucha común.....    | 8      |
| 2.2.3. Consideraciones generales de <i>Salmo Trutta</i> “Trucha” ..... | 9      |
| 2.2.4. Química del Agua .....                                          | 11     |
| 2.2.5. Fuentes de polución del agua.....                               | 11     |
| 2.2.6. Relaves mineros.....                                            | 12     |
| 2.2.7. Contaminación de aguas por metales pesados.....                 | 12     |
| 2.2.8. Metales pesados .....                                           | 15     |
| 2.2.9. Exposición a metales pesados (Plomo y Cadmio).....              | 18     |
| 2.2.10. Bioacumulación .....                                           | 19     |
| 2.2.11. Límites máximos permisibles de concentración de metales .....  | 20     |
| 2.2.12. Unidad Hidrográfica.....                                       | 21     |
| 2.2.13. Método de detección de metales pesados .....                   | 24     |
| III. MATERIALES Y METODOS .....                                        | 28     |
| 3.1. Descripción del lugar de ejecución .....                          | 28     |
| 3.1.1. Ubicación política .....                                        | 28     |
| 3.1.2. Ubicación geográfica .....                                      | 29     |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.3. Características ambientales .....                                   | 29 |
| 3.2. Equipos y materiales .....                                            | 30 |
| 3.2.1. Material biológico.....                                             | 30 |
| 3.2.2. Materiales de laboratorio .....                                     | 30 |
| 3.2.4. Materiales de campo .....                                           | 31 |
| 3.2.5. Equipos de laboratorio.....                                         | 31 |
| 3.3. Metodología .....                                                     | 31 |
| 3.3.1. Etapa de pre campo .....                                            | 32 |
| 3.3.2. Etapa de campo .....                                                | 32 |
| 3.3.3. Etapa de gabinete.....                                              | 37 |
| IV. RESULTADOS.....                                                        | 42 |
| 4.1. Concentración de plomo y cadmio en <i>Salmo Trutta</i> (trucha) ..... | 42 |
| 4.1.1. Concentración de plomo en el tejido muscular de la trucha .....     | 42 |
| 4.1.2. Concentración de cadmio en el tejido muscular de la trucha.....     | 47 |
| 4.2. Plomo y cadmio bioacumulado en la <i>Salmo Trutta</i> (trucha).....   | 51 |
| 4.2.1. Plomo bioacumulado en el Rio Cañipia .....                          | 51 |
| 4.2.2. Plomo bioacumulado en el Rio Salado .....                           | 53 |
| 4.2.3. Plomo bioacumulado en el rio Pichigua.....                          | 55 |
| 4.2.4. Cadmio bioacumulado en el rio Cañipia. ....                         | 57 |
| 4.2.5. Cadmio bioacumulado en el rio Salado .....                          | 59 |
| 4.2.6. Cadmio bioacumulado en el rio Pichigua.....                         | 61 |
| 4.3. Concentraciones de plomo y cadmio comparados con los LMP.....         | 62 |
| V. DISCUSION .....                                                         | 64 |
| 5.1. Especie <i>Salmo Trutta</i> .....                                     | 64 |
| 5.2. Habitación.....                                                       | 65 |
| 5.3. Metodología de muestreo .....                                         | 65 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 5.4. Para el Plomo .....                                        | 65 |
| 5.5. Bioacumulación por plomo .....                             | 66 |
| 5.6. Para el cadmio .....                                       | 67 |
| 5.7. Bioacumulación por cadmio .....                            | 67 |
| 5.8. De la verificación de los resultados .....                 | 67 |
| 5.9. De los estudios realizados antes de la investigación ..... | 68 |
| VI. CONCLUSIONES.....                                           | 70 |
| VII. RECOMENDACIONES .....                                      | 71 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                          | 72 |
| ANEXOS .....                                                    | 80 |
| ANEXO A. Análisis estadísticos.....                             | 80 |
| ANEXO B. Mapa de ubicación.....                                 | 82 |
| ANEXO C. Mapa de ubicación de colecta de muestras.....          | 83 |
| ANEXO D. Metodología de determinación de metales pesados.....   | 85 |
| ANEXO E. Resultados de laboratorio .....                        | 87 |
| ANEXO F. Galería fotográfica.....                               | 93 |

## INDICE DE CUADRO

|                                                                                     | Pagina |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Cuadro 1. Valores de metales pesados en ppm (partes por millón).....                | 21     |
| Cuadro 2. Principales ríos de la cuenca del Salado y sus parámetros.....            | 24     |
| Cuadro 3. Ubicación de las zonas de muestreo .....                                  | 33     |
| Cuadro 4. Programación de muestras.....                                             | 34     |
| Cuadro 5. Condiciones instrumentales para la determinación del plomo.....           | 36     |
| Cuadro 6. Condiciones instrumentales para la determinación de cadmio.....           | 36     |
| Cuadro 7. Promedio aritmético de los pesos (gr) de truchas adultas y pequeñas. .... | 38     |
| Cuadro 8. Promedio ponderado de la concentración del contaminante.....              | 38     |
| Cuadro 9. Concentraciones de plomo contrastados con LMP. ....                       | 39     |
| Cuadro 10. Concentraciones de cadmio contrastados con LMP.....                      | 39     |
| Cuadro 11. Operacionalización de variables.....                                     | 41     |
| Cuadro 12. ANOVA para la concentración de plomo en especímenes adultos .....        | 45     |
| Cuadro 13. Comparación de medias en las concentraciones de plomo. ....              | 46     |
| Cuadro 14. ANOVA para la concentración de plomo en especímenes pequeñas ....        | 46     |
| Cuadro 15. ANOVA para la concentración de cadmio en especímenes adultas.....        | 50     |
| Cuadro 16. ANOVA para la concentración de cadmio en especímenes pequeñas. ..        | 50     |
| Cuadro 17. ANOVA para la concentración de plomo en el río Cañipia. ....             | 52     |
| Cuadro 18. ANOVA para la concentración de plomo en el río Salado. ....              | 54     |
| Cuadro 19. ANOVA para la concentración de plomo en el río Pichigua.....             | 56     |
| Cuadro 20. ANOVA para la concentración de cadmio en el río Cañipia.....             | 58     |
| Cuadro 21. ANOVA para la concentración de cadmio en el río Salado. ....             | 60     |
| Cuadro 22. ANOVA para la concentración de cadmio en el río Pichigua.....            | 62     |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 23. Verificación de la concentración de plomo con los LMP..... | 63 |
| Cuadro 24.Verificación de la concentración de cadmio con los LMP..... | 63 |
| Cuadro 25. Análisis de varianza (ANOVA).....                          | 81 |
| Cuadro 26. Comparación de medias de Tukey .....                       | 81 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                  | Pagina |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. “(TRUCHA)” <i>Salmo trutta</i> (Agassiz, 1829) .....                   | 9      |
| Figura 2. Metodología para la determinación de concentraciones en muestras ..... | 27     |
| Figura 3. Ubicación política de la provincia de Espinar. ....                    | 28     |
| Figura 4. Concentración de plomo (mg/Kg) en el 1er muestreo. ....                | 42     |
| Figura 5. Concentración de plomo (mg/Kg) en el 2do muestreo .....                | 43     |
| Figura 6. Concentración de plomo (mg/Kg) en el 3er muestreo .....                | 43     |
| Figura 7. Concentración de plomo (mg/Kg) en el 4to muestreo. ....                | 44     |
| Figura 8. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el 1er muestreo .....               | 47     |
| Figura 9. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el 2do muestreo .....               | 48     |
| Figura 10. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el 3er muestreo. ....              | 48     |
| Figura 11. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el 4to muestreo .....              | 49     |
| Figura 12. Concentración de plomo (mg/Kg) en el rio Cañipia. ....                | 51     |
| Figura 13. Concentración de plomo (mg/Kg) en el rio Salado. ....                 | 53     |
| Figura 14. Concentración de plomo (mg/Kg) en el rio Pichigua .....               | 55     |
| Figura 15. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el rio Cañipia .....               | 57     |
| Figura 16. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el rio Salado .....                | 59     |
| Figura 17. Concentración de cadmio (mg/Kg) en el rio Pichigua. ....              | 61     |
| Figura 18. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo .....                      | 82     |
| Figura 19. Mapa de ubicación de colecta de muestras. ....                        | 83     |
| Figura 20. Mapa de concesiones mineras en el distrito de Pichigua. ....          | 84     |
| Figura 21. Flujograma de detección de metales pesados .....                      | 86     |
| Figura 22. Resultados de laboratorio del 1er muestreo. ....                      | 87     |
| Figura 23. Resultados de laboratorio del 2do muestreo .....                      | 88     |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 24. Resultados de laboratorio del 3er muestreo.....                           | 89 |
| Figura 25. Resultados de laboratorio del 4to muestreo .....                          | 90 |
| Figura 26. Curva patrón para el plomo.....                                           | 91 |
| Figura 27. Curva patrón para el cadmio .....                                         | 92 |
| Figura 28. Peso de las muestras retiradas del rio Salado, Pichigua y Cañipia .....   | 93 |
| Figura 29. Muestras de trucha colocadas en laboratorio.....                          | 93 |
| Figura 30. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del rio Cañipia ..... | 94 |
| Figura 31. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del rio Salado .....  | 94 |
| Figura 32. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del rio Pichigua....  | 94 |
| Figura 33. Preparación de muestras .....                                             | 95 |
| Figura 34. Cocción de las muestras semisecas a 350°C .....                           | 95 |
| Figura 35. Dilución de las muestras en ácido clorhídrico HCl al 68% .....            | 96 |

## RESUMEN

La presente investigación sostiene como objetivo evaluar la bioacumulación por plomo y cadmio en el tejido muscular de la *Salmo Trutta* “trucha”, haciendo un muestreo estratificado desde el mes de junio a setiembre del 2020, en especímenes de trucha adulta y pequeña en los ríos; Cañipia, Salado y Pichigua, de la provincia de Espinar, región Cusco. Encontrándose que la concentración promedio de plomo es de 0.0579 ppm (Rio Cañipia); 0.0635 ppm (Rio Salado) y 0.1133 ppm (Rio Pichigua), análogamente, la concentración promedio de cadmio fue de 0.0176 ppm (Rio Cañipia); 0.018 ppm (Rio Salado) y 0.0146 ppm (Rio Pichigua). La bioacumulación por plomo es evidente en el rio Pichigua donde la concentración es mayor en individuos adultos con relación a los pequeños, en el caso de los ríos Salado y Cañipia se determinó estadísticamente que no existe bioacumulación a un nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ); por otro lado, de la contrastación de resultados obtenidos con los límites máximos permisibles para consumo humano según SANIPES (2016) y la OMS (2009), se concluye que para las muestras tomadas del tejido muscular, la concentración de plomo no excede los límites máximos permisibles, sin embargo, respecto a la concentración de cadmio, esta supera el límite establecido por la OMS (0.01 ppm) en los ríos Cañipia, Salado y Pichigua; cuyos resultados fueron 0.0176 ppm, 0.018 ppm y 0.0146 ppm respectivamente.

**Palabras clave:** Concentración, bioacumulación, plomo, cadmio, trucha.

## ABSTRAC

The objective of this research is to evaluate the bioaccumulation by lead and cadmium in the muscle tissue of the *Salmo Trutta* "trucha", making a stratified sampling from June to September 2020, in specimens of adult and small trout in the rivers; Cañipia, Salado and Pichigua, from the Espinar province, Cusco region. Finding that the average concentration of lead is 0.0579 ppm (Rio Cañipia); 0.0635 ppm (Rio Salado) and 0.1133 ppm (Rio Pichigua), similarly, the average concentration of cadmium was 0.0176 ppm (Rio Cañipia); 0.018 ppm (Rio Salado) and 0.0146 ppm (Rio Pichigua). Bioaccumulation by lead is evident in the Pichigua river where the concentration is higher in adult individuals compared to small ones, in the case of the Salado and Cañipia rivers it was statistically determined that there is no bioaccumulation at a level of significance ( $\alpha = 0.05$ ) ; On the other hand, from the contrasting of results obtained with the maximum permissible limits for human consumption according to SANIPES (2016) and WHO (2009), it is concluded that for the samples taken from muscle tissue, the concentration of lead does not exceed the maximum limits. However, regarding the cadmium concentration, this exceeds the limit established by the WHO (0.01 ppm) in the Cañipia, Salado and Pichigua rivers; whose results were 0.0176 ppm, 0.018 ppm and 0.0146 ppm respectively.

**Keywords:** Concentration, bioaccumulation, lead, cadmium, trout

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el recurso hídrico ha sido contaminado visiblemente como resultado de las actividades realizadas por el hombre, llegando grandes cantidades de sustancias químicas afectando al medio acuático, parte de ellas son procedentes de productos y residuos industriales, agrícolas y/o domésticos (ANADON *et.al*, 2009). Dentro de la extensa y variable lista de contaminantes, la existencia de metales tóxicos en los cuerpos de agua repercute de manera negativa debido a su eminente permanencia en el medio ambiente, su progresivo almacenamiento y baja tasa de excreción en los organismos vivos, motivo por el cual son denominados bioacumulables; ejemplo de ellos son el cadmio (Cd) y plomo (Pb). (WANG *et.al*, 2007).

Cabe señalar que especies como la trucha han permitido el desarrollo económico a partir de la pesca en varias regiones de la sierra del país. No obstante, algunas comunidades pesqueras suelen enfrentar una serie de problemas graves, entre los que figura el agotamiento de los recursos ictiológicos por la contaminación, la degradación ambiental, entre otros.

En la provincia de Espinar, los pobladores indican que las poblaciones de trucha han disminuido en los últimos años debido a la alteración

de sus hábitats como consecuencia de las actividades mineras adyacentes, debido a ello se llevó a cabo diversos análisis para la detección de metales pesados. Es así que, en el año 2012, el gobierno local de Espinar desempeño un trabajo exhaustivo referente a metales pesados en pobladores que habitan adyacente a las operaciones mineras de Tintaya (hoy Antapaccay); cuyos resultados reflejan la presencia de zinc, cobre, cadmio, plomo, cromo y mercurio. (CENSOPAS, 2013). Por otro lado, entre los años 2016 y 2018 se estudió la exposición puntual a cuatro metales altamente tóxicos; dos de ellos el plomo y cadmio en la población de los distritos de Espinar, el mismo estudio fue realizado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), detectando la presencia de metales pesados que superan los niveles permitidos en 45 muestras de agua cuyo recurso es destinado al consumo de la población de Espinar. (VIDAL *et al*, 2018).

En relación a ello, el presente proyecto de tesis busca definir la existencia de bioacumulación del plomo y cadmio en tres ríos de la provincia de Espinar, así como contrastar, si sus concentraciones superan o no los límites máximos permisibles destinadas al consumo humano. Los resultados aportarán información científica que podrá ser de soporte en la toma de decisiones a nivel social, económico y ambiental como línea de base ambiental para futuros proyectos.

### **1.1. Objetivo General**

- Evaluar la bioacumulación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en *Salmo Trutta* “trucha”, procedente de los ríos; Salado, Cañipia y Pichigua de la provincia de Espinar, Cusco, 2020.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Cuantificar la concentración de plomo y cadmio en especímenes de trucha en los ríos; Salado, Cañipia y Pichigua.
- Determinar la bioacumulación por plomo y cadmio en especímenes de trucha en los ríos; Salado, Cañipia y Pichigua.
- Contrastar los resultados con los límites máximos permisibles destinados para el consumo humano.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Según LÓPEZ Y BARRAGÁN (2014), los estudios realizados sobre el “Efectos de la contaminación acuática utilizando bioindicadores de organismos dulceacuícolas en el afluente del río Magdalena, Colombia”, de la Universidad Nacional de Colombia, en dicho estudio se llegó a concluir que, a mayor cantidad de sedimentos, mayor concentración de mercurio en el tejido muscular de *Prochidolus Magdalenae*. Asimismo, se llegó a determinar que las mayores concentraciones de mercurio se hallaron en peces capturados en tramos del río “Ité” donde es común los vertimientos de aguas de minería aurífera y quebrada “Las Mercedes”, en estos tramos, la mayor parte de las muestras arrojaron valores que excedieron la norma de 0,5 ppm de mercurio. De lo anterior se deduce que, la polución química por metales pesados, constituye una de las más nocivas para los recursos hídricos superficiales y las especies que habitan en dichos ecosistemas. Por consiguiente, los peces poseen la facultad de acumular mayores concentraciones de este compuesto en su organismo comparados con la presente en el medio, por tanto, es un indicador importante de polución, asimismo esto determina que su consumo podría convertirse en un problema de salud para las poblaciones que utilizan estos recursos como alimento.

Según SOLDATOVIC Y SVETISLAV (2010), estudios realizados en el Golfo de México referido a "Biomagnificación y bioacumulación de cadmio y selenio en especies marítimas de la costa occidental de baja California Sur, México", se observó una mayor bioacumulación de mercurio en la especie *Makaira nigricans* ( $3.42 \pm 1.12$  ppm; n=6) y en tiburones costeros generalmente en *Carcharhinus limbatus* ( $2.86 \pm 1.22$  ppm; n=10), seguido por los tiburones oceánicos, *Alopias pelagicus* ( $1.52 \pm 0.68$  ppm; n=8), *Prionace glauca* ( $1.57 \pm 0.34$  ppm; n=40) e *Isurus oxyrinchus* ( $1.05 \pm 0.24$  ppm; n=30), deduciendo que las concentraciones de cadmio acumulados en los depredadores analizados permitieron diferenciar entre los grupos de depredadores, posicionando al grupo tiburones como los depredadores con las mayores bioacumulaciones de mercurio con respecto a las especies menores.

Según RAMIREZ (2002), en su investigación referida a la toxicidad, "Respuesta histopatológica a diferentes niveles de concentración de cadmio con indicadores biológicos en el Lago Titicaca y sus afluentes en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos", la misma que tuvo como objetivo determinar los límites máximos permisibles e indicadores biológicos de exposición al cadmio, llegando a concluir que existen concentraciones de hasta 0,63mg/g de plomo y otros metales en los tejidos de los peces, siendo el límite para consumo humano 0,3mg/g para EEUU y 0,5mg/g para otros países. Por las razones expuestas, es imperante considerar este hecho como un problema de urgente solución ya que el origen de la contaminación por metales pesados proviene del drenaje de las aguas con metales por la extracción del oro en los centros mineros de los alrededores, convirtiéndose en una amenaza para la salud pública.

En la provincia de Espinar, debido a las operaciones mineras y denuncias de las comunidades aledañas, se llevaron a cabo diversos estudios para determinar la presencia de metales pesados. En el año 2010, el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del medio Ambiente para la salud, en adelante CENSOPAS, analizó la exposición a cuatro metales altamente tóxicos, dentro de ellos el cadmio y plomo; donde el 98% de la población evaluada presentaban concentraciones que excedían los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Del mismo modo, dos años después del estudio del CENSOPAS, en el 2012, la municipalidad provincial de Espinar llevo a cabo un análisis químico de metales pesados en animales del área de influencia de la mina Tintaya (hoy Antapaccay); donde los resultados demostraron presencia de cobre, zinc, cadmio, plomo, cromo y arsénico en los cuerpos de animales utilizados en la acuicultura. (VIDAL *et.al*, 2018).

Según CARDENAS y VIDAL (2018), recalca que un reciente análisis de la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), revela la presencia de hierro, arsénico y otros metales que superan los límites máximos permitidos en la provincia de Espinar, dicho estudio estuvo dirigido por la Dirección Regional de Salud de Cusco, llegando a concluir la presencia de metales por encima de los niveles permitidos en varias muestras del agua destinada al consumo de la población de Espinar. Esta provincia, ubicada a poco más de 230 kilómetros de la ciudad del Cusco, se encuentra próxima a las compañías mineras Antapaccay y Hudbay Perú, que pertenecen a las multinacionales Glencore y Hudbay Canadá, respectivamente. El análisis

detectó la presencia de 23 metales y minerales, de los cuales el arsénico, hierro, manganeso y aluminio arrojaron concentraciones superiores a la establecida por el Reglamento de la Calidad del agua para consumo humano según Digesa y el Estándar de Calidad Ambiental para agua (ECA).

Según CENSOPAS (2010), adscrito al MINSA, analizo muestras de orina y sangre de un grupo de habitantes de las comunidades Alto Huancané y Huisa, ubicados entre los afluentes del Salado y Pichigua, adyacentes a las operaciones mineras Xstrata Tintaya, del 100% de las personas que fueron sometidos al examen, 492 estuvieron expuestos al plomo, mientras que 254 estuvieron expuestas al cadmio, muestras que excedieron los estándares fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En enero del 2014, CENSOPAS hizo el segundo análisis recomendado por la comisión de ecología y medio ambiente de la provincia de Espinar en donde se recolectaron 180 muestras de orina, determinándose concentraciones de plomo por encima de los niveles permitidos de los 17 metales analizados por los laboratorios del CDC (Centro de diagnóstico, control y prevención) de los EEUU a donde CENSOPAS remitió las muestras luego de recolectarlas, encontrando por lo menos 51 casos; se observaron concentraciones que excedieron los estándares de la OMS. Los minerales más frecuentes fueron el plomo y el cadmio.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Estado actual de la acuicultura en el Perú.**

El Ministerio de la Producción de Perú ha estimado que el sector acuícola crecerá un 6,9 % el año 2019, entre otros elementos que llevarían a este incremento de la producción acuícola, se encuentran, el impacto positivo de la demanda, acompañado de una mayor producción de langostinos, trucha y tilapia. La producción de estos dos últimos productos aumentaría 4.8% en promedio, lo que permitiría seguir impulsando este sector. (PRODUCE, 2012).

La producción de acuicultura de Perú en 2018 fue de 103500 toneladas; lo que supuso un incremento de 3.2% respecto al año anterior con una mayor producción de trucha y langostino, y a la pesca progresiva de concha de abanico". En términos monetarios, el valor de la cosecha acuícola ascendió a S/1.090,5 millones, que implica un ligero incremento (1%) en comparación con el año 2017.

### **2.2.2. Aspectos generales en la acuicultura de la trucha común (*Salmo Trutta*)**

La trucha introducida en el Perú, presenta un comportamiento de hábito alimenticio de omnívoro bien definido. Durante su ciclo de desarrollo natural se alimenta indistintamente y alternativamente de vegetales (fitófago) y zooplancton (zooplantófago) y todo tipo de alimento que pueda encontrar en el ambiente acuático; es decir, de acuerdo a las posibilidades de alimento que presente el recurso hídrico (PRODUCE, 2010b). El cultivo de la trucha se lleva a cabo tanto en ambientes convencionales (estanques de concreto, mampostería de piedra o estanques de tierra) como en lagunas donde se emplean jaulas flotantes de malla sintética o metálica con dimensiones de acuerdo a la producción proyectada por el piscicultor (PRODUCE, 2010b). El ciclo de producción de la trucha abarca un periodo de 7-14 meses, comprendiendo

desde la etapa de ova embrionada (óvulo fecundado) hasta la etapa de adulto comercial, que en el mercado nacional peruano es cuando el pez alcanza un peso promedio de entre 200 a 300 g (PRODUCE, 2004).

### 2.2.3. Consideraciones generales de Salmo Trutta “Trucha”

#### A. División Taxonómica.

Reino: Animal

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Salmoniformes

Familia: Salmonidae

Género: *Salmo*

Especie: *Salmo trutta* (Linnaeus, 1829)



Figura 1. “(TRUCHA)” *Salmo trutta* (Agassiz, 1829).

#### B. Características biológicas

La trucha común es una especie eurifágica, por su amplio rango alimentario y su gran facilidad de adaptación frente a las modificaciones en la disponibilidad del alimento. Así, las truchas prefieren generalmente invertebrados acuáticos que viven en el fondo de grandes masas de agua, están en contacto con el sedimento y se los considera bioindicadores de

contaminación acuática, sin embargo, es común encontrar otros tipos de presa como invertebrados acuáticos y terrestres. Además de ello, es habitual que las truchas se muestren selectivas a la hora de alimentarse por algún tipo de presa. (CIARDULLO *et al.*, 2008).

Un aspecto importante a destacar en su carácter carnívoro, pues se alimentan de una amplia gama de especies acuáticas, incluido las anguilas, bichos e invertebrados voladores, entre los que se menciona camarones, almejas, efímeras, frigáneas, plecópteros, dípteros, quironómidos, gorgojos del gusano de la harina y libélulas. (ROMERO, 2004)

Por otro lado, la alimentación depende de la zona donde habita y hasta de su extensión, es así que aquellas que existen en las aguas lenticas consumen gran cantidad de zooplankton, y las especies adultas que alcanzan los 35cm de largo, se alimentan selectivamente de peces. En efecto, las truchas de mayor edad pueden comer ranas, lagartijas, caracoles, reptiles y algunos mamíferos muy diminutos. (YELIR *et.al*, 2008).

En la trucha, como en distintas especies de peces, se produce una modificación en la dieta durante la vida del pez. Así, los juveniles, cuya talla varia de 14 a 22cm, consumen mayoritariamente presas adheridas al lecho del río y, a medida que se van desarrollando, llegando alcanzar los 55cm, el consumo está compuesta por un mayor porcentaje de presas de origen terrestre y peces; es la especie más destacada de la pesquería comercial en las zonas alto andinas del Perú, llegando a obtener niveles elevados de producción en el mercado nacional. (ALCÁNTARA, 1986).

**Longitud y peso comercial:** 22 a 50 cm, 350 g a 3 Kg.

**Temperatura de cultivo:** 8 - 18°C

**Valor comercial:** Es la especie íctica más cultivada en el país, debido a la demanda que tiene en el mercado nacional e internacional.

**Regiones de cultivo:** Departamentos que cuentan con zonas alto andinas.

**Hábitat:** Aguas del tipo lénticos y loticos.

**Tasa de crecimiento:** 6.25 cm/año

**Técnicas de cultivo:** La modalidad de cultivo se limita a aguas lenticas como lagunas y estanques de agua, y cuando se trate de poblaciones más numerosas es común utilizar jaulas flotantes. (CIARDULLO *et al.*, 2008).

#### 2.2.4. Química del Agua

La característica polar del agua le atribuye la facultad de establecer enlaces de hidrógeno con otras moléculas, por esta razón puede diluir una gran cantidad de sustancias por lo que es denominada el “disolvente universal”. Esta característica hace que los contaminantes, en especial los químicos que llegan a este recurso, por arrastre o vertido, modifiquen sustancialmente su calidad. No obstante, la polución debida al transporte de hojarasca, partículas, o por la absorción de gases atmosféricos depositados por la lluvia es mínima comparados con la polución que se genera por las actividades antrópicas. (FERNANDEZ, 1997).

#### 2.2.5. Fuentes de polución del agua

Las diferentes fuentes de polución se clasifican en puntuales como las descargas industriales y municipales; y no puntuales o difusas en las que no

hay un punto exacto de descarga de contaminantes, por ejemplo, los vertimientos procedentes de escorrentía de la industria agrícola y la filtración de compuestos organoclorados usados en la agricultura. [EN LINEA: [agua.org.mx](http://agua.org.mx)]

#### **2.2.6. Relaves mineros**

Los relaves constituyen extensas áreas de depósito de desechos de roca triturada y agua como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación y concentración. (IZQUIERDA DIARIO, 2015).

Sin embargo, el relave de minería en su forma natural no es un residuo tóxico, sino generalmente roca triturada y agua, por lo que no es considerado un material tóxico. La toxicidad tiene su efecto en estados posteriores, cuando ciertos relaves reaccionan con agua y solubilizan tóxicos que pueden ser acarreados gracias a la capacidad de dilución del agua. (GUEVARA, 2011).

#### **2.2.7. Contaminación de aguas por metales pesados**

DIAZ (2008), alude el concepto de metal pesado a aquellos elementos metálicos de la tabla periódica cuya densidad es mayor a 5000 Kg/m<sup>3</sup> y su número atómico mayor a 20. Los metales pesados se agrupan en 65 elementos con características físicas, químicas y biológicas heterogéneas.

SAN MARTIN (2015), refiere que la polución es uno de los problemas ambientales más relevantes que afectan a nuestro mundo y tiene lugar cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, a raíz de las diferentes actividades económicas del hombre (fuentes antropogénicas) y actividades de la vida diaria,

desencadenando efectos adversos en el hombre, animales y vegetales; problemática a la que el Perú no es ajeno.

GALÁN Y ROMERO (2016), en la investigación referida a la contaminación del agua por metales tóxicos y sus efectos en la salud, medio ambiente y seguridad alimentaria, menciona que los metales pesados tienen efecto tóxico cuando su disposición en el ambiente se modifica producto de actividades antropogénicas. De la referida investigación se concluyó que, en el territorio nacional, los factores principales de la contaminación del agua son originadas principalmente por la industria, la minería y la agricultura. Los recursos hídricos son los más vulnerados, con la pérdida de especies flora y fauna. Asimismo, la liberación de vertidos industriales, emisiones atmosféricas, actividades agrícolas, actividades mineras y el refinamiento de minerales que dicho sea de estos últimos son los factores determinantes de contaminación del agua por metales pesados en los ecosistemas terrestres, acuáticos y atmosféricos (JING *et al.*, 2007). Debido a que su concentración no disminuye con el tiempo se le atribuye un carácter acumulativo, sin embargo, dichos metales son necesarios y beneficiosos siempre en cuando no superen los límites de concentración, pues en esa condición son altamente tóxicos para los seres vivos (DUFFUS, 2004)

#### **A. Actividades principales que contribuyen a la contaminación**

SAN MARTIN (2015). Menciona que existen dos factores principales que contribuyen a la contaminación ambiental por plomo y otros metales pesados; los naturales y antropogénicos

- Industria minera.
- Infraestructura urbana y rural
- Traslado de sustancias peligrosas.
- Manejo inadecuado de residuos sólidos.

- Fuentes dinámicas (gases de monóxido de carbono)
- Pasivos ambientales.
- Ciclos biogeoquímicos:

## **B. Vías de absorción en los cuerpos hídricos superficiales**

Los metales pesados tienen tres vías principales de absorción en los sistemas acuáticos:

- Por medio atmosférico, cuando la deposición de partículas emitidas a la atmosfera por procesos naturales o antrópicos ingresan al agua, generalmente la combustión fósil y procesos de fundición de metales (YAÑEZ y MOLINA, 2008).
- ZAFRA (2008), citado por PATERNA (2011), menciona que el medio terrestre es el resultado de filtraciones de vertidos, del escurrimiento superficial de áreas contaminados (minas, lixiviados de residuos en descomposición, precipitación pluvial, etc.) y otros factores naturales.
- FINCK (1988), citado por PATERNA (2011), menciona que la vía directa de contaminación con metales pesados es el vertimiento de aguas residuales provenientes de actividades industriales y urbanas.

## **C. Rutas de exposición de metales pesados en los organismos acuáticos.**

Las rutas de exposición de los metales pesados son las siguientes:

- Ingestión de alimento contaminado. (DALLINGER y KAUTZKY, 1985).
- Contacto entre la superficie respiratoria y la piel con el agua. (OLAIFA *et.al*; 2004).
- Sedimentos contaminados. (RUSELL *et.al*; 2008)

#### **2.2.8. Metales pesados**

Se hallan de manera natural en el ambiente en un rango de concentraciones tal que no son perjudiciales para las diversas formas de vida. Por el contrario, dichos metales pesados son difícilmente degradados o destruidos, antes bien son diluidos por agentes físicos y químicos que conllevan a la lixiviación. Una parte de ellos forman complejos solubles y son desplazados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), principalmente aquellos procedentes de zonas contaminadas. (WAISBERG *et al.*, 2013).

Los metales pesados se hallan libres y de forma natural en algunos ecosistemas de concentración variable. Se los denomina elementos traza ya que se encuentran en baja concentración (ppm) en sustratos determinados como el suelo, plantas, tejidos, agua y sedimento (Galán y Romero, 2008). Existen diversos metales pesados denominados micro y macronutrientes esenciales por mantener un buen estado de salud en el hombre y otros organismos; en efecto, son esenciales en el medio acuático en pequeñas cantidades para la función normal de los sistemas biológicos. (MASON, 2002)

### **A. Contaminación por cadmio en los cuerpos hídricos superficiales**

El cadmio ingresa al agua generalmente de vertidos de actividades antropogénicas. La contaminación está en función de la proximidad de superficies acuáticas a zonas urbanas, ya que es diferente la cantidad de cadmio que puede llegar a un afluente cercano a una zona industrial, que en alta montaña. Sin embargo, parte del cadmio atmosférico acaba siendo depositado en la superficie acuática, y representa el 25% del cadmio contaminante, es decir, es la vía principal de ingreso de este metal en el agua (KLAASSEN, 2008)

El cadmio de origen natural procede generalmente de:

- La erosión de rocas y suelos en pequeñas cantidades casi siempre asociado con el zinc, plomo, cromo y las minas de cobre.
- Formación de sales marinas; siendo reportados los niveles más altos cerca de las zonas costeras y marinas.
- Incendios de tipo forestal

La actividad volcánica representa la mayor fuente natural de emisión de cadmio a la atmósfera, sin embargo, al no presentar un olor o sabor característico se le considera imperceptible. No obstante, a lo señalado, se debe tener en cuenta que la mayor parte del cadmio tiene su origen en las actividades antropogénicas. (KLAASSEN, 2008).

En el agua, sólo elementos trazan de cadmio llegan provenientes de vertidos o fugas en sitios de desechos peligrosos, aguas residuales industriales y domésticas, con riesgo de contaminar a su vez a peces, mariscos

y crustáceos. Asimismo, puede encontrarse en el agua cuando fluye a través de tuberías fabricadas con material que contiene cadmio. (BURGER y GOCHFELD, 2005).

### **B. Contaminación por plomo en los cuerpos hídricos superficiales**

Dentro de un rango de pH que oscila entre 7 y 9, el plomo presenta su forma de ion libre divalente y carbonato disuelto. Si reacciona con sulfatos se forma la sal soluble  $\text{PbSO}_4$ . Es así que estas sales y sus derivados compuestos orgánicos son perjudiciales desde un panorama toxicológico. Lo mismo ocurre con otros compuestos como  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  y  $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2$ . Los compuestos químicos que contienen plomo en su estructura son generalmente solubles en agua blanda y ligeramente ácida (BRYAN y LANGSTON, 1992).

Los minerales tales como los silicatos, feldespatos y magnetitas son evidentes sumideros de plomo en los sedimentos. El plomo es un metal de bajo desplazamiento por consiguiente tiende a adsorberse en zonas no saturadas de los ríos, asimismo, ante la presencia de material arcilloso, materia orgánica y con el incremento del pH puede precipitar como  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ . Las concentraciones de plomo halladas en sedimentos no contaminados van aproximadamente de 10 ppm a 50 ppm. (ADRIANO, 1986).

Pese a que el plomo tiene baja capacidad de circulación y desplazamiento en el medio ambiente, a menudo está fuertemente unido a las partículas en suspensión y a los sedimentos, pues hay estudios que confirman la presencia de plomo en los sedimentos que sirven de alimento para las

especies acuáticas. En suelos y sedimentos, el plomo se ve afectado por procesos similares que llevan a la formación de complejos metálicos orgánicos relativamente estables. Gran parte del plomo queda inmóvil y muy poco probable de transportarse a los cuerpos hídricos superficiales o subterráneos. Sin embargo, es posible que ingrese nuevamente a las aguas superficiales producto de la erosión de partículas de suelo con contenido de plomo o mediante la transformación en sulfato de plomo, esta forma es relativamente soluble en superficies de suelo y/o sedimento. De igual modo, los procesos de lixiviación del suelo tienen la capacidad de desplazar el plomo a los cuerpos de aguas subterráneas. (BRYAN y LANGSTON, 1992).

#### **2.2.9. Exposición a metales pesados (Cd y Pb) y su alteración en el medio acuático.**

Los diversos fenómenos naturales y las actividades antropogénicas producen un incremento de los metales pesados por encima de su concentración inicial en los ambientes acuáticos y sedimentos que forman parte del ecosistema. Los metales pesados, para poder acomplejarse con el medio, dependen de las condiciones físico-químicas y biológicas del mismo (HIGUERAS, 2001).

El ambiente acuático se clasifica en tres componentes principales: agua, sedimentos y organismos vivos. Los metales pesados considerados elementos químicos no biodegradables, sólo tienen la capacidad de desplazarse en el entorno a través de procesos de dilución y dispersión. La entrada de los metales hacia los organismos y cuerpos de agua, favorece a su disipación por los procesos de transporte que los exportan a zonas acuáticas lejanas. (SOLER RODRÍGUEZ *et al.*, 2002).

La inhalación y la ingesta de alimentos, son dos factores más significativos de polución. Los efectos tóxicos están en función del tipo de metal, su concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos como la carne y leche, han concluido que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos considerados como parámetros de importancia a ser periódicamente evaluados y monitoreados por su impacto en la salud y en el medio ambiente. (ELLENTHORN, 2009).

#### **2.2.10. Bioacumulación**

La bioacumulación se define como la facultad de una sustancia de ser concentrada en los organismos a niveles más elevados que los niveles medioambientales normales en función del tiempo, longitud y masa corporal (VIANA, 2001). En efecto, en los peces un metal será considerado bioacumulador si los mayores niveles son encontrados en los individuos más adultos, y por consiguiente de mayor talla. La literatura indica que diversos metales se bioacumulan en función a la talla y edad de los peces, es decir a mayor edad y talla del pez existirá mayor bioacumulación de metales pesados (WACASA, 2003; VIANA, 2005; BURGER y GOCHFELD, 2006; MACEDA et al., 2013).

Los procesos de bioacumulación son importantes debido a que diversos peces son explotados para el consumo humano y normalmente requeridos los de mayores tallas y por ende los que potencialmente pueden presentar concentraciones más elevadas de contaminantes y mayores riesgos a la salud (CORRALES, 2013).

### **2.2.11. Límites máximos permisibles de concentración de metales en especies de pescado.**

La polución química específicamente por metales pesados es considerada la más perjudicial para los ecosistemas acuáticos, las especies que habitan en ellos y los consumidores. Con referencia a normas vigentes se han establecido las concentraciones de metales pesados en agua y en tejidos de peces, las mismas que al exceder el límite superior de estos valores acarrea un daño a la salud del consumidor. La misma establece normas higiénico-sanitarias de calidad y seguridad que deben cumplir los productos que se elaboren, conserven, transporten, expendan y distribuyan. (FAO, 2017).

La institución sanitaria encargada de elaborar y llevar a cabo las políticas nacionales y el cumplimiento de las leyes es el servicio nacional de sanidad agraria del Perú (SENASA), quien a su vez planifica, organiza y ejecuta programas y planes específicos que reglamentan la producción y la promueve hacia la obtención de alimentos inocuos para el consumo humano y animal. (EDITORIAL STELLA; 1996).

A continuación, en el cuadro adjunto se detallan los límites máximos permisibles de metales pesados en peces, los valores por encima de éstos son perjudiciales para el consumo humano (REYES, 2007; OMS, 2000; MENDEZ, 2007; GRANADA y ESCOBAR, 2012; ESPINOZA y FALERO, 2015; SANIPES-PRODUCE, 2016).

Cuadro 1. Valores de metales pesados en ppm (partes por millón) que indican el límite máximo permitido por kilogramo de pescado.

| Metales pesados | Límites máximos en peces (ppm) |         |
|-----------------|--------------------------------|---------|
|                 | OMS                            | SANIPES |
| Plomo           | 0,2                            | 0,3     |
| Cadmio          | 0,01                           | 0,05    |

Fuente: (REYES, 2007; OMS, 2000; MENDEZ, 2007; GRANADA, 2012; ESPINOZA y FALERO, 2015; SANIPES PRODUCE, 2016).

### 2.2.12. Unidad Hidrográfica

Representa el área natural de territorio, definida por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), que recepciona la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado afluente principal. (VÁSQUEZ, 2000).

Consecuentemente, los ríos Cañipia, Salado y Pichigua, los ríos más importantes de la provincia de Espinar se encuentran en la cuenca del Salado. (PEDC, 2017).

#### A. Río Cañipia

La cuenca del río Cañipía nace a los 5,025 msnm en la línea divisoria con la cuenca del río Maqueruyo. Tiene un área de drenaje de 400.47 km<sup>2</sup>. El curso principal de la cuenca del río Cañipia tiene una longitud de 52.68 Km. y una pendiente media de 2.3 %. Los ríos Allahualla y Choco son afluentes principales al río Cañipía y este, a su vez, es un tributario principal del río Salado. Es un río de cuarto orden y tiene un caudal medio anual de 4.2 m<sup>3</sup>/s. El inicio de su recorrido se conoce como Putespunco que al juntarse con el río

Choco y este último, con los ríos Centimayo, Challchamayo y Huilcarani dan lugar al río Cañipia. (PEDC, 2017).

En esta microcuenca se encuentra el proyecto minero Antapacay y un depósito de relaves a cargo de la minera Xstrata Tintaya S.A.

a. Depósito de relaves Huinipampa.

En esta zona se encuentra el depósito de relaves denominado Huinipampa, cuyos relaves provienen de la planta de procesamiento de minerales ubicado en la microcuenca del río Tintaya. (MSAP, 2017)

b. Operaciones de Antapaccay.

En esta zona existe un antiguo depósito de relaves y la bocamina Atalaya, donde además se desarrolla el nuevo proyecto minero Antapaccay. (MSAP, 2017)

## **B. Río Salado**

La cuenca del afluente Salado tiene su origen a 5,100 msnm de un conjunto de lagunas en la pampa Quinilla, la misma que se ubica entre las quebradas Alccaychupata y Colpaccoto. Dentro de los parámetros importantes destaca el área de drenaje de 1,879.32 km<sup>2</sup>, el curso principal tiene una longitud de 107.49 km y una pendiente de 1.2 %. Los principales afluentes del río Salado son los ríos Occoruro, Ccamacmayo, Tintaya, Lluncani, Tosrapalla, Colpamayo, Cañipía, Tucsamayo, Cabandera, Pararane, que ingresan por el margen izquierdo, y los ríos Jaruma, Pallpatamayo, Alpacomaña, Huichuma, Calzada, Lorocachi, Tambomayo y Quescamayo, que ingresan por el margen derecho. Las aguas de estas lagunas se suman al río Jaruma, que al juntarse con las aguas del río Suruma, dan lugar al río Salado. (PEDC, 2017).

En el río Salado se desarrollan las siguientes operaciones mineras:

1. Depósito de relaves Ccamacmayo.

En esta zona se encuentra el depósito de relaves Ccamacmayo, cuyos relaves provienen de la planta de procesamiento de minerales ubicado en la microcuenca del río Tintaya. (MSAP, 2017)

2. Operaciones Tintaya.

Gran parte de la Unidad Minera Tintaya se localiza en la margen izquierda del río Salado. Incluye el tajo, planta de procesamiento de minerales y depósito de relaves. (MSAP, 2017)

3. Prospecto Ccorocohuayco

Es un prospecto cuprífero que se encuentra ubicado en la microcuenca del río Ccaccamayo, margen izquierda del río Salado. (MSAP, 2017)

### **C. Río Pichigua**

Tiene sus orígenes entre los cerros Viscachani y Huamancororo, área donde se ubica la laguna Caracoto (4470 msnm.), de la cual drenan sus aguas por las quebradas Escuela y Huasi. En sus inicios el río es denominado Casile-Mayo y al sumarse con los ríos Quesaco, Chanchani y Chacamayo dan lugar al río Pichigua. (PEDC, 2017).

Asimismo, cabe mencionar que casi el 40% del distrito de Alto Pichigua, por donde atraviesa el mencionado río, está concesionado por la compañía minera Antapaccay S.A. (VER ANEXO B.)

En general el plan estratégico de desarrollo concertado detalla los siguientes parámetros como área de drenaje, longitud de cauce y caudal medio anual.

Cuadro 2. Principales ríos de la cuenca del Salado y sus parámetros.

| Nombre del río<br>(subcuenca) | Longitud del cauce<br>principal (Km) | Área de drenaje<br>(Km <sup>2</sup> ) | Caudal medio<br>anual (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Cañipia                       | 52.68                                | 400.47                                | 4.2                                       |
| Salado                        | 107.49                               | 1879.32                               | 5.2                                       |
| Pichigua                      | 40.8                                 | 229.2                                 | 3.3                                       |

Fuente: Plan físico de Ordenamiento territorial de la región Cusco, 2019.

Por otro lado, derechos humanos sin fronteras (DHSF) a través de un informe de Análisis de monitoreo llegó a concluir que, la unidad hidrográfica del río Salado tiene georeferenciado puntos de monitoreo adyacentes a Antapaccay y la relavera de Huinipampa en donde se halló manganeso, sodio, mercurio, fosfato, sulfato, plomo y cadmio que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA's). Además de ello, en la misma cuenca del río Salado, los puntos adyacentes a la unidad minera Tintaya y la relavera Ccamacmayo se halló arsénico, manganeso, sulfato, selenio, sodio, hierro, aluminio, boro, cadmio y plomo. (PEISA, 2003; INEI, 1999).

### **2.2.13. Método de detección de metales pesados**

#### **A. Espectroscopia de absorción atómica**

La espectroscopia tiene sus inicios con el estudio de la interacción fisicoquímica entre la radiación y la materia como una función de la longitud de onda ( $\lambda$ ). Años más tarde el concepto se extendió grandemente

para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de la frecuencia. En efecto, la espectroscopia puede aludirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta producto de un campo alternante o frecuencia variante ( $\nu$ ). Una extensión adicional del alcance de la definición añadió la energía ( $E$ ) como variable, al establecerse la ecuación “ $E=h\nu$ ” para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro (SKOOG et al., 2005). Una de las aplicaciones de espectroscópica es la espectrometría que tiene la finalidad de evaluar la concentración o la cantidad de elementos traza en especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza las mediciones es un espectrómetro o espectrógrafo. La espectrometría frecuentemente se usa en física y química analítica para la determinación de sustancias mediante el espectro emitido o absorbido por las mismas (SKOOG et al., 2005).

La espectroscopia como tal, es una técnica que facilita la identificación y detección de elementos químicos, específicamente de elementos metálicos. Los átomos de los compuestos antes de ser analizados tienen que romper sus átomos a estructuras más simples con el propósito de estudiar sus partes. Para lograr esto se utiliza el método de la pulverización en llama a altas temperaturas. Un rayo luminoso de una cierta longitud de onda, producido por un tipo específico de lámpara, se desplaza a lo largo del eje longitudinal de una llama plana y hacia un espectrofotómetro. Paralelamente, la solución de la muestra es conducida hacia el interior de la llama. Antes de incorporarse en ésta, la solución es dispersada formando una niebla de gotitas muy finas que se evaporan en la llama dando lugar a la sal seca y luego el

vapor de la sal es disociado en diminutas partes, dichas partes constituyen átomos del elemento que se desea analizar. (GRANADA y ESCOBAR, 2012).

### **B. Espectrometría de llama**

Las muestras de solución líquidas son absorbidas en un quemador a través de un nebulizador incorporado en las paredes del equipo, desolvatadas, atomizadas, y a veces excitadas a un estado electrónico de energía más alta. El uso de una llama durante el análisis requiere combustible y oxidante, generalmente en forma de gases. Los gases combustibles frecuentes que se usan son el acetileno (etino) y el hidrógeno. Los gases de oxidante suelen ser el oxígeno, el aire y el óxido nitroso. Son valiosos detectores de luz gracias a su poder de análisis de la información que procede de la llama (SKOOG et al., 2005).

La espectroscopia de absorción atómica de llama es el método más recomendado de la espectroscopia atómica. En la práctica, la técnica se basa en una fuente de átomos elementales o iones que están electrónicamente excitados por la luz monocromática y la absorción que se produce es cuantificado por el instrumento (GRANADA y ESCOBAR, 2012).

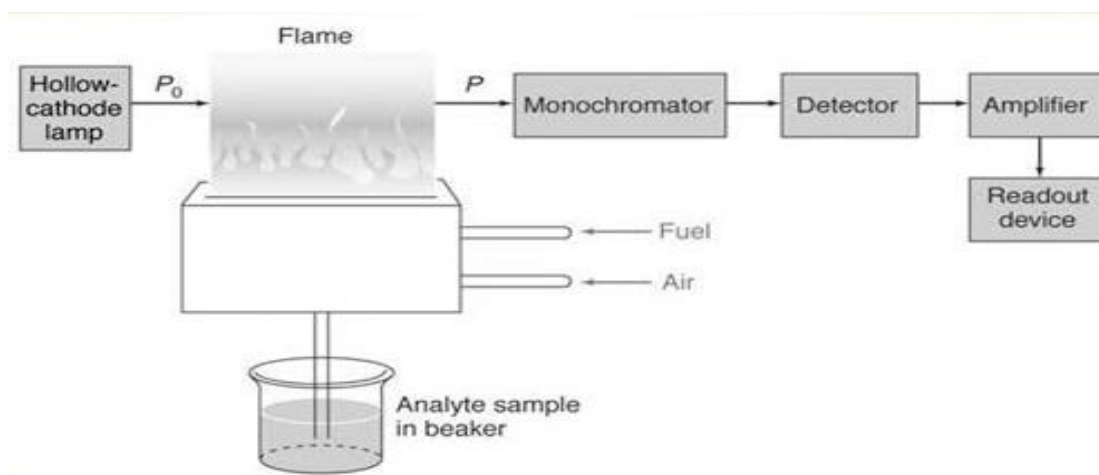


Figura 2. Metodología para la determinación de concentraciones en muestras de solución líquida.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

El presente proyecto de tesis se realizó en la provincia de Espinar ubicado al Sur de la región del Cusco, departamento de Cusco.

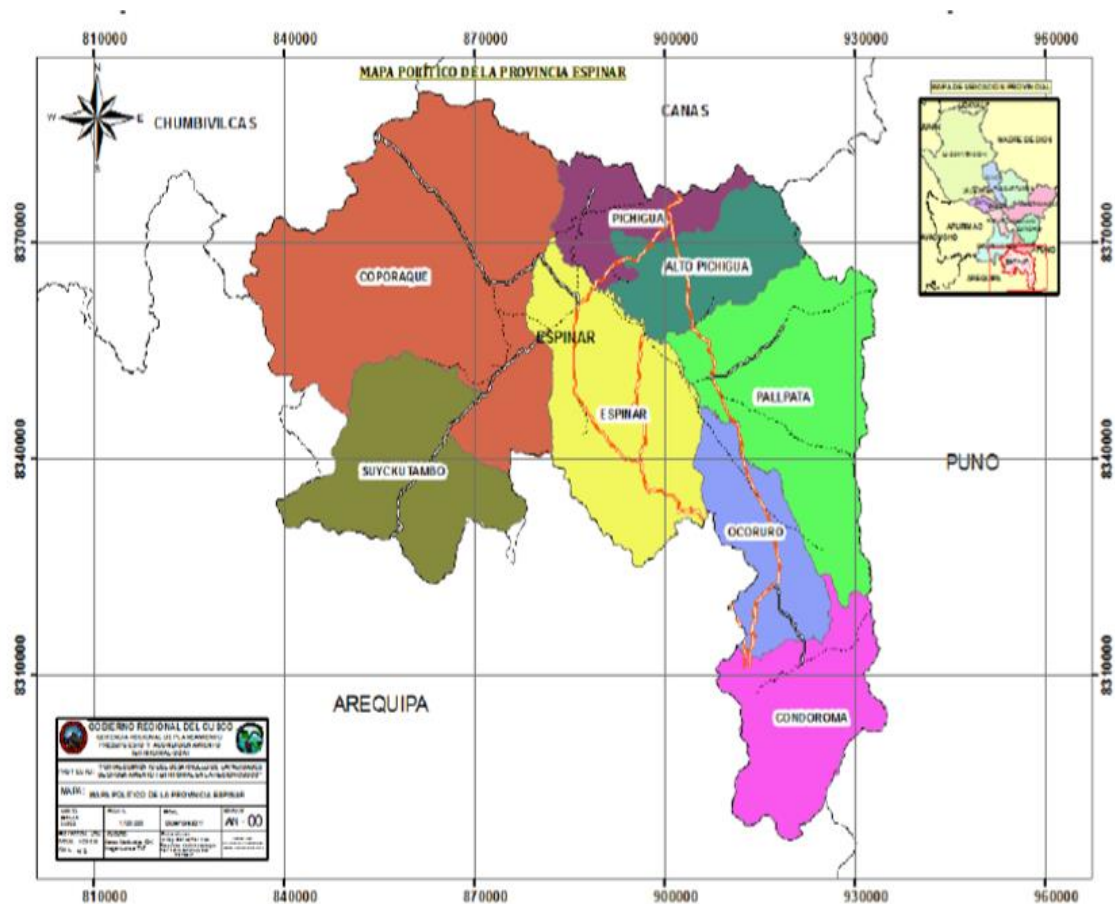


Figura 3. Ubicación política de la provincia de Espinar.

### **3.1.2. Ubicación geográfica**

Geográficamente la delimitación territorial de la provincia, está conformada por ocho distritos, de los cuales, la presente investigación realice en 3 ríos del distrito de Yauri: Salado, Pichigua y Espinar, en la hoja 19-k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico del Perú, correspondiente a la región Sierra a la cual se accede por vía terrestre del corredor turístico Manco Cápac (Cusco-Espinar). (VER ANEXO B.)

### **3.1.3. Características ambientales**

Conforme a la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático según (HOLDRIDGE, 1982), Espinar se encuentra en la formación vegetal bosque Seco-templado, hidrológicamente pertenece a la cuenca del río Salado; el comportamiento climático es variable debido a su proximidad a la cordillera de los Andes, donde se registran altas precipitaciones de origen orográfico originados por las bajas temperaturas que dan lugar a heladas y granizadas entre junio y agosto, con una precipitación anual promedio de 775 mm, las mayores precipitaciones se producen en los meses de noviembre a marzo, alcanzando un máximo en el mes de enero.

Los siguientes datos fueron obtenidos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Cusco-2020).

Temperatura máxima : 19.6 °C

Temperatura mínima : -0.6 °C

Temperatura promedio Anual : 10.7 °C

Precipitación promedio Anual : 1.7 mm/Hr

Humedad relativa : 11%

### **3.2. Equipos y materiales**

#### **3.2.1. Material biológico**

60 ejemplares de *Salmo trutta* “trucha”; 24 pequeños (18 a 25cm, 240 a 900 g) y 36 adultos; (26 a 56cm, 900 a 3000g).

#### **3.2.2. Materiales de laboratorio**

- Rotuladores
- Ictiometro
- Cuchillo
- Desecador
- Guantes de látex
- Matraz Erlenmeyer 250ml
- Recipiente de vidrio
- Piseta
- Crisol
- Pinzas
- Recipiente de vidrio
- Hielo
- Cinta adhesiva
- Mascarillas desechables

- Embudo de vidrio

### **3.2.4. Materiales de campo**

- GPS 12XL, GARMIN.
- Contenedor de 30 x 25 cm.
- Bolsas ziploc
- Libreta de apuntes

### **3.2.5. Equipos de laboratorio**

- Balanza digital (Ohaus 0 / 5Kg)
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (ANACHEM SCIENTIFIC H100)
- Estufa (Thermo Scientific)
- Termómetro ambiental (Thermo Scientific)
- Laptop
- Cámara digital

## **3.3. Metodología**

El estudio transversal descriptivo se realizó en dos etapas, en campo se recogió muestras en el río Cañipia distrito de Suyckutambo, Río Salado Alto del distrito de Espinar y río Pichigua del distrito de Pichigua, provincia de Espinar. En gabinete consta de preparación y análisis de muestras en el laboratorio de análisis de calidad de agua y Microbiología en la ciudad del Cusco, a 4h 10min de la ciudad de Espinar.

### **3.3.1. Etapa de pre campo**

Se realizaron visitas in situ con la finalidad de identificar zonas específicas para la adquisición de truchas. Esto fue necesario para identificar todos los hábitats posibles. En efecto, antes de la salida de campo, fue necesario la georreferenciación de los puntos de muestreo utilizando el Arcmap (10.5), ubicando previamente los polígonos que representan los puntos, ríos (Salado, Cañipia y Pichigua), relaveras y concesiones mineras existentes. (VER ANEXO B.)

### **3.3.2. Etapa de campo**

Para la realización del presente proyecto de tesis, se consideró el diseño de muestreo estratificado con el propósito de obtener una mejor representatividad en las muestras.

#### **A. Diseño de muestras para evaluación**

METODO DE MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO (1996), citado por CIARDULLO (2008).

Se recogió muestras cada 30 días, durante 3 meses con 5 repeticiones por muestra (R1, R2, R3, R4 y R5), haciendo un total de 60 individuos de la especie *Salmo Trutta* “trucha” de genero indefinido, pesando entre 240g y 3000g, talla de 18cm a 56 cm. Dicho muestreo probabilístico fue aleatorio estratificado dividiendo la muestra en 2 estratos, haciendo un total de 5 individuos por muestra.

-Estrato 1: 2 individuos pequeños (18 a 25cm – 240 a 900g)

-Estrato 2: 3 individuos grandes (26 a 56cm – 900 a 3000g)

Cuadro 3. Ubicación de las zonas de muestras en 3 tramos de cada río especificado

| Zona | Ubicación |               |        |        |         |              |
|------|-----------|---------------|--------|--------|---------|--------------|
|      | Rio       | Distrito      | Puntos | E      | N       | Z (m.s.n.m.) |
| Z1   | Cañipia   | Huancané      | P01    | 249583 | 8342187 | 3995         |
|      |           |               | P02    | 244398 | 8346526 | 3990         |
|      |           |               | P03    | 241328 | 8350230 | 3973         |
|      |           |               | P04    | 240693 | 8354040 | 3946         |
|      |           |               | P05    | 240799 | 8358591 | 3925         |
|      |           |               | P06    | 240588 | 8366105 | 3874         |
| Z2   | Salado    | Yauri-Espinar | P01    | 264400 | 8342399 | 3940         |
|      |           |               | P02    | 261860 | 8345468 | 3923         |
|      |           |               | P03    | 260590 | 8348325 | 3914         |
|      |           |               | P04    | 252123 | 8358803 | 3906         |
|      |           |               | P05    | 249795 | 8360920 | 3879         |
|      |           |               | P06    | 246938 | 8363460 | 3872         |
|      |           |               | P07    | 237836 | 8370762 | 3861         |
| Z3   | Pichigua  | Pichigua      | P01    | 251171 | 8377853 | 3905         |
|      |           |               | P02    | 246832 | 8377112 | 3892         |
|      |           |               | P03    | 243763 | 8375736 | 3886         |
|      |           |               | P04    | 240588 | 8375313 | 3881         |
|      |           |               | P05    | 237942 | 8375101 | 3872         |

Fuente: Elaboración propia

Para verificar la ubicación de los puntos de muestreo, se sugiere revisar el ANEXO B y C.

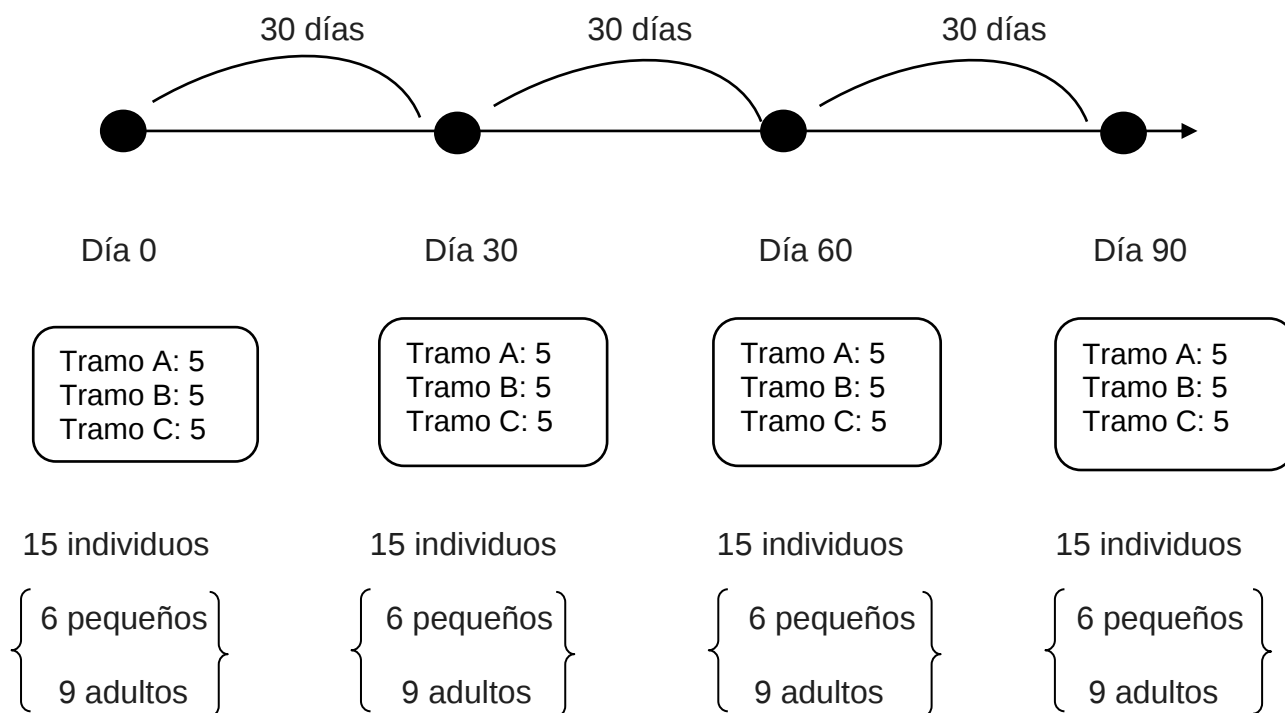
METODO BERTALANFFY (1934), citado por SANTISTEBAN (2016).

Se tuvo en cuenta la distribución y la tasa de crecimiento de la especie *Salmo trutta* “trucha” a muestrear, ya que ha demostrado ser ajustable al crecimiento en la mayoría de peces observados ( $r^2=0.995$ ), Bertalanffy considera la variable de longitud del cuerpo como función de la edad, demostrando que tiende a crecer 6.25 cm/año, entonces según el ciclo de vida de la misma se recomienda un próximo muestreo cada 0.5 cm de crecimiento, por lo tanto:

6.25 cm  $\longrightarrow$  365 días

0.5 cm  $\longrightarrow$  X días

$$X = (365 \cdot 0.5) / 6.25 = 29.2 \sim 30 \text{ días}$$



Donde:

Tramo A: Cañipia

Tramo B: Salado

Tramo C: Pichigua

## B. Muestreo, conservación y traslado

Para las fechas respectivas en cada muestreo, se consideró época de heladas y época de secas, las que se muestran continuación.

Cuadro 4. Programación de muestras

|              |            |
|--------------|------------|
| 1er Muestreo | 15/06/2020 |
| 2do Muestreo | 14/07/2020 |
| 3er Muestreo | 17/08/2020 |
| 4to Muestreo | 16/09/2020 |

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida las muestras, estas fueron conservadas en bolsas ziploc y refrigeradas dentro de un envase hermético (Cooler) a temperatura de refrigeración (4 a 8 °C) para luego ser trasladados por vía terrestre al laboratorio de calidad de aguas y microbiología de la Universidad Nacional San Antonio de Abbad del Cusco dentro de las primeras 24 horas de obtenidos. (ARIZPE, 2015).

### **C. Atemperado y preparación de las muestras del tejido muscular**

#### **Higiene**

Antes de manipular y posteriormente analizar las muestras, se asearon las áreas de trabajo y áreas circundantes con desinfectantes comerciales empleados en el laboratorio. (HERNANDEZ, 2016).

#### **Atemperado**

Las piezas fueron aclimatadas sobre la mesa, a temperatura ambiente (18°C), en el empaque original y en el envase hermético en el que se las recibió en el laboratorio. Una vez atemperadas, se realizó un lavado a presión de agua corriente fría bajo la canilla, con el propósito de retirar las escamas sueltas, restos de hielo, de plástico, de arena y de cualquier otro tipo de elemento que influya en el resultado del estudio, así mismo se colocó la muestra de pescado sobre una tabla de polipropileno blanca en decúbito lateral derecho. (MORAÑA, 2015).

#### **Preparación**

Las muestras adquiridas en campo, fueron retiradas del contenedor utilizando guantes de látex descartable evitando así la contaminación cruzada, con un cuchillo esterilizado de acero inoxidable

se extrajo el musculo dorsal (lomo y del abdomen) de cada muestra de pez, según el protocolo para la extracción de muestras. (HERNANDEZ, 2016).

#### **D. Procesamiento y obtención de resultados.**

Una vez obtenidas las muestras secas descrita en el ítem D, estas fueron analizadas en un espectrofotómetro de Absorción Atómica siguiendo la metodología para metales por llama del laboratorio de química analítica de la ciudad del Cusco. (VER ANEXO D).

Los parámetros instrumentales para la cuantificación de cadmio y plomo son las siguientes:

Cuadro 5. Parámetros instrumentales para la cuantificación del plomo.

| <b>Parámetro</b>        | <b>Unidad</b>                      |
|-------------------------|------------------------------------|
| Frecuencia de onda      | $1.2 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ |
| Espesor de ranura       | 0.5 nm                             |
| Corriente de lampara    | 4mA                                |
| Rango óptimo de trabajo | 0.02-3 ug/ml                       |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Parámetros instrumentales para la cuantificación de cadmio.

| <b>Parámetro</b>        | <b>Unidad</b>                      |
|-------------------------|------------------------------------|
| Frecuencia de onda      | $1.2 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ |
| Espesor de ranura       | 0.5 nm                             |
| Corriente de lampara    | 4mA                                |
| Rango óptimo de trabajo | 0.02-3 ug/ml                       |

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.3. Etapa de gabinete**

#### **A. Determinación de la concentración de plomo y cadmio en especies de trucha**

Para determinar la concentración de plomo y cadmio por el método COLORIMETRIC DETERMINATION OF TRACES OF METALS, se pesó 10 a 20g de muestra seca, que luego fueron calcinados a 450°C, dicha ceniza producida de la calcinación fue diluida con ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a una concentración 1:1, a continuación, se le agrego agua caliente para ser filtrado, obteniéndose como producto las soluciones  $\text{Cd}^{++}$ ,  $\text{Pb}^{++}$ . Posteriormente, se regulo en pH con  $\text{HNO}_3$  a 8.5 que luego fueron extraídos con ditizonas + cloroformo, obteniéndose  $\text{DzPb}$ ,  $\text{DzCd}$ . Finalmente, la solución separada fue llevado al equipo de espectrometría de absorción atómica. Los resultados fueron procesados en una hoja Excel para su respectivo análisis. (VER ANEXO D).

#### **B. Determinación de la bioacumulación por plomo y cadmio en especies de trucha**

Para la bioacumulación por plomo y cadmio en peces de diferentes edades de los ríos; Cañipia, Salado Alto y Pichigua, se observó una diferencia significativa en las concentraciones obtenidas de los individuos grandes respecto a los individuos pequeños, es decir, comparando el p-valor con el nivel de significancia ( $\alpha$ ), corroborándose así la bioacumulación a lo largo del tiempo de vida de cada individuo. (VER ANEXO A.)

### C. Contrastación de los niveles de plomo y cadmio en la trucha con los límites máximos permisibles

Una vez obtenida las concentraciones de plomo y cadmio del tejido muscular de la trucha, se procedió a obtener la media aritmética de las muestras en cada lugar de procedencia comparándolas con los límites máximos permisibles para consumo humano.

Cuadro 7. Promedio aritmético de los pesos (gr) de truchas adultas y pequeñas.

| A (individuos adultos) |            |              | B (individuos pequeños) |            |              |
|------------------------|------------|--------------|-------------------------|------------|--------------|
| Rio Cañipia            | Rio Salado | Rio Pichigua | Rio Cañipia             | Rio Salado | Rio Pichigua |
|                        |            |              |                         |            |              |
|                        |            |              |                         |            |              |
| Promedios              |            |              |                         |            |              |
| PA1                    | PA2        | PA3          | PB1                     | PB2        | PB3          |

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se calculó el promedio ponderado con los datos de concentración y peso promedio de la siguiente manera.

Cuadro 8. Promedio ponderado de la concentración del contaminante con el peso de cada individuo de trucha.

| Parámetros                             | A                                                                       |            |              | B           |            |              |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
|                                        | Rio Cañipia                                                             | Rio Salado | Rio Pichigua | Rio Cañipia | Rio Salado | Rio Pichigua |
| Concentración de Plomo (mg/Kg)         | CA11                                                                    | CA12       | CA13         | CB11        | CB12       | CB13         |
| Promedio de los pesos (gr)             | PA21                                                                    | PA22       | PA23         | PB21        | PB22       | PB23         |
| Promedio ponderado de la concentración | $(CA_{ij} \cdot PA_{ij} + CB_{ij} \cdot PB_{ij}) / (PA_{ij} + PB_{ij})$ |            |              |             |            |              |

Fuente: Elaboración propia.

Dicho procedimiento fue repetido para cada muestreo hasta llegar a comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles para consumo humano según SANIPES y la OMS.

Cuadro 9. Concentraciones de plomo en peces del río Salado, Cañipia y Pichigua, contrastados con LMP: OMS, U. Europea, FAO y SANIPES.

| Muestras  | Concentración (mg/Kg) |             |              | Límites máximos para consumo humano |         |
|-----------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------|
|           | Rio Salado            | Rio Cañipia | Rio Pichigua | OMS                                 | SANIPES |
| Muestra 1 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 2 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 3 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 4 |                       |             |              |                                     |         |

Fuente: Elaboración propia

Análogamente a lo expuesto, se obtuvo la media aritmética de las 3 muestras en cada lugar de procedencia para luego comparar con los límites máximos permisibles para consumo humano.

Cuadro 10. Concentraciones de cadmio en peces del río Salado, Cañipia y Pichigua, contrastados con LMP: OMS, U. Europea, FAO y SANIPES.

| Muestras  | Concentración (mg/Kg) |             |              | Límites máximos para consumo humano |         |
|-----------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------|
|           | Rio Salado            | Rio Cañipia | Rio Pichigua | OMS                                 | SANIPES |
| Muestra 1 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 2 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 3 |                       |             |              |                                     |         |
| Muestra 4 |                       |             |              |                                     |         |

Fuente: Elaboración propia

#### **D. Diseño de investigación**

Diseño no experimental de tipo comparativo, ya que se observó el comportamiento de 2 variables en diferentes lugares. Asimismo, tiene como sustento la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

#### **E. Variables independientes**

Las variables independientes para la presente investigación son las siguientes:

- Concentración de plomo (ppm) en especies de trucha
- Concentración de cadmio (ppm) en especies de trucha

#### **F. Variable dependiente**

- Bioacumulación por plomo y cadmio en especies de trucha

#### **G. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de la cuantificación de las especies fueron realizados con las Pruebas Estadísticas de Tukey.

Asimismo, se empleó la Diferencia honestamente Significativa de Tukey (HSD Tukey) a fin de determinar entre que grupos existe diferencias significativas para un  $\alpha=5\%$  usando el software Excel 2016. (VER ANEXO A).

## H. Operacionalización de variables

Cuadro 11. Operacionalización de variables

| VARIABLE                                                                                                                    | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                      | DIMENSIONES                    | INDICADORES                                                                                  | ESCALA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Independiente<br>Concentración del Plomo y Cadmio presente en el tejido muscular de la especie <i>Salmo trutta</i> "trucha" | Se tomaron 3 muestras por zona con 3 repeticiones por cada muestra con el fin de cuantificar concentraciones de plomo y cadmio a cada uno de los tratamientos                                                               | Concentración de Plomo         | $\frac{\text{Cantidad de plomo (mg)}}{\text{Peso de la trucha (Kg)}}$                        | ppm    |
|                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                             | Concentración de Cadmio        | $\frac{\text{Cantidad de cadmio (mg)}}{\text{Peso de la trucha (Kg)}}$                       | ppm    |
| Dependiente<br>Bioacumulación del plomo (pb) y cadmio (Cd) en el tejido muscular de la especie <i>Salmo trutta</i> "trucha" | Se operacionalizo la variable independiente para evaluar la bioacumulación del plomo y cadmio en el tejido muscular, considerando los siguientes parámetros e indicadores, peso (Kg), concentración de plomo y cadmio (ppm) | Bioacumulación del plomo (Pb)  | Concentración de plomo (individuos pequeños) / Concentración de plomo (individuos adultos)   | 0-1    |
|                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                             | Bioacumulación del cadmio (Cd) | Concentración de cadmio (individuos pequeños) / Concentración de cadmio (individuos adultos) | 0-1    |

Fuente: Elaboración propia.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Concentración de plomo y cadmio en *Salmo Trutta* (trucha)

#### 4.1.1. Concentración de plomo en el tejido muscular de la trucha, procedente de los ríos; Salado, Cañipia y Pichigua

Teniendo en cuenta el muestreo estratificado, se obtuvo las muestras en 3 ríos diferentes de la provincia de Espinar, dividiendo las especies de *Salmo Trutta* “trucha” en individuos adultos y pequeños, a los que se denominó A y B respectivamente.

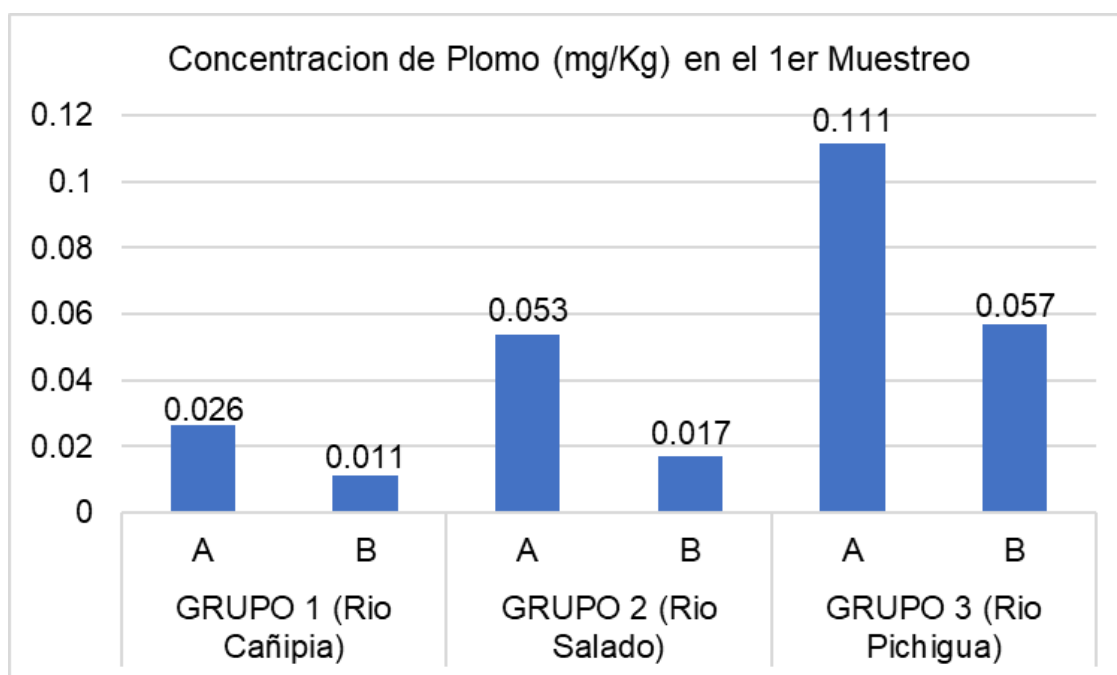


Figura 4. Concentración de plomo (mg/Kg) correspondiente al primer muestreo.

De la Figura 4, se observa una diferencia en las concentraciones de plomo de los individuos adultos respecto a los pequeños, asimismo, en el

Rio Pichigua la concentración es relativamente alta para los individuos adultos y pequeños respectivamente, en comparación a los Ríos Cañipia y Salado.

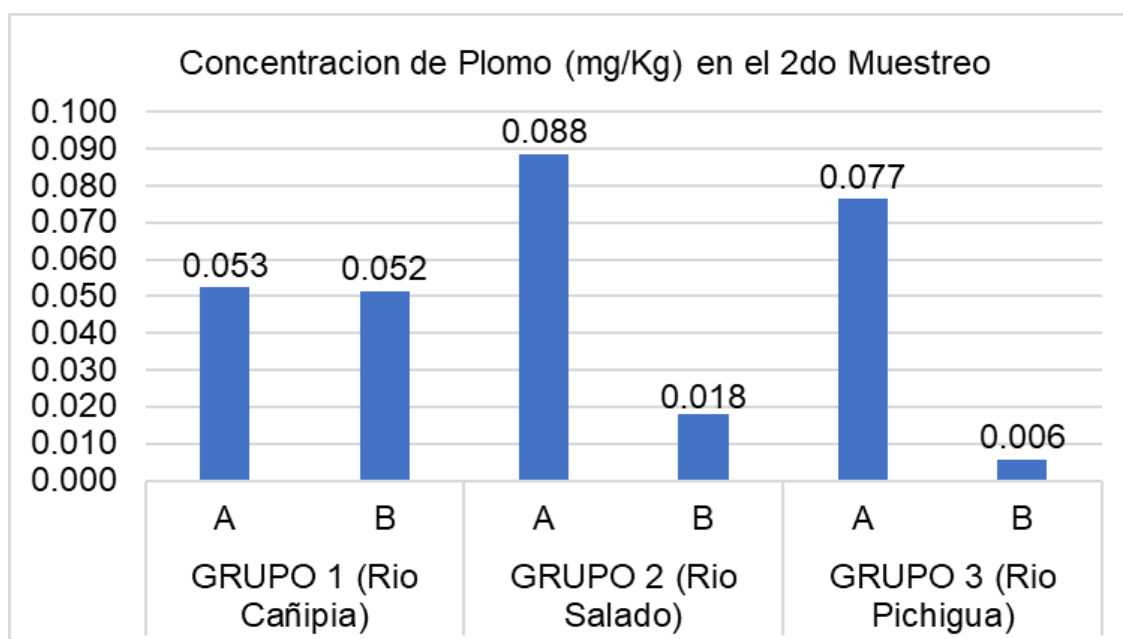


Figura 5. Concentraci3n de plomo (mg/Kg) correspondiente al segundo muestreo

A diferencia de la figura 4, en la presente figura se observa una baja diferencia en la concentraci3n de plomo en los individuos adultos con respecto a los pequeños en el Rio Cañipia, no obstante, en el rio Pichigua, la diferencia es relativamente alta.

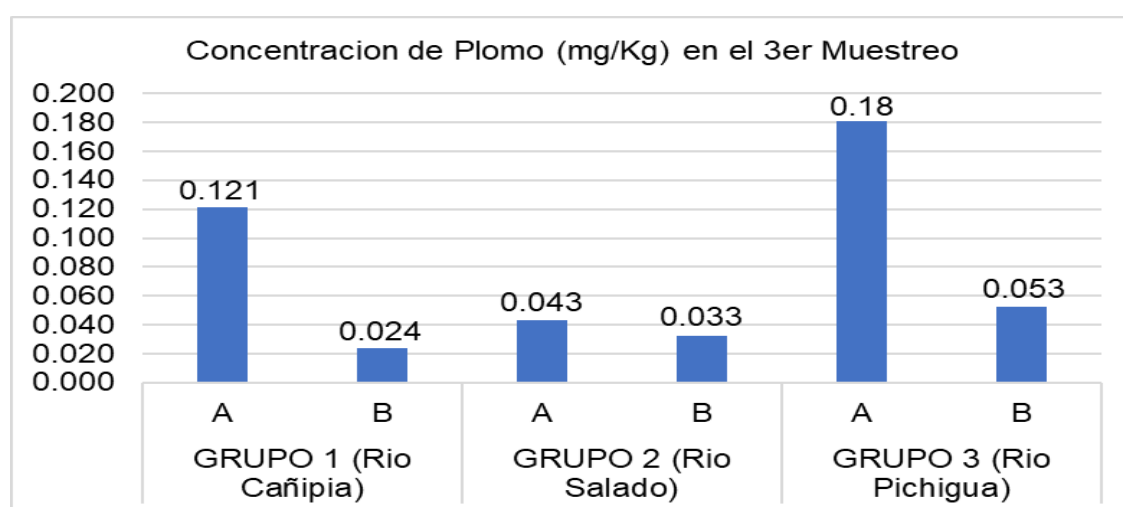


Figura 6. Concentraci3n de plomo (mg/Kg) en el tercer muestreo

De la figura 6, se observa una clara evidencia de que existe una relación directa entre la edad de la especie y la concentración de plomo, comprobándose que, a mayor peso y longitud, mayor concentración de contaminante.

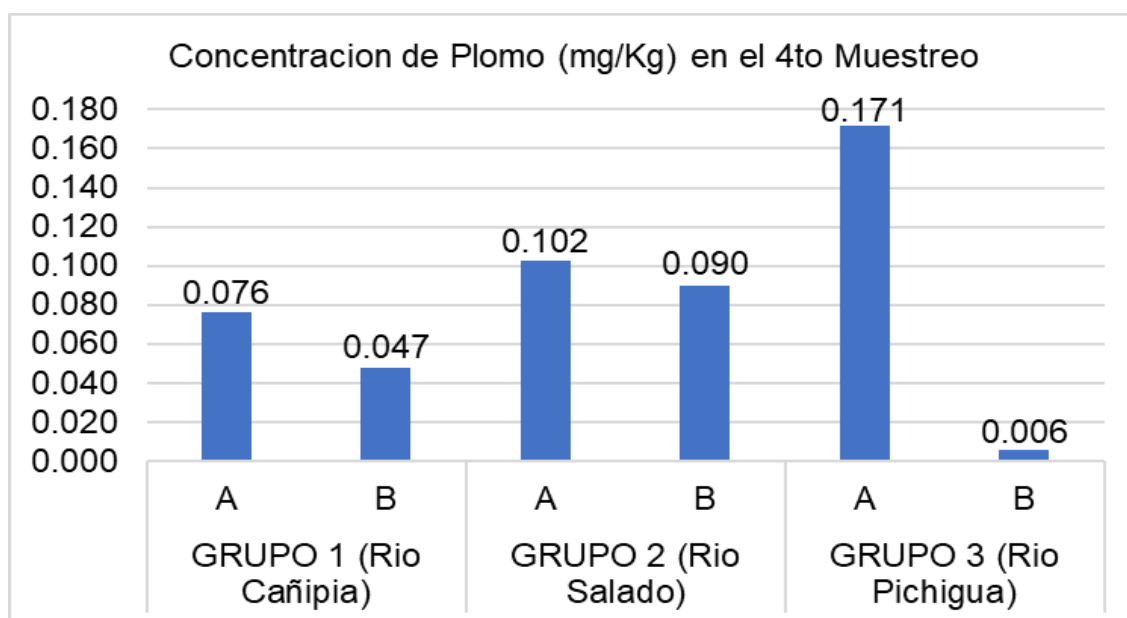


Figura 7. Concentración de plomo en el cuarto muestreo.

En la figura 7 se observa un máximo valor obtenido en la concentración de plomo (0.171mg/Kg) en individuos adultos del rio Pichigua, por otro lado, en el mismo rio, se puede apreciar un valor relativamente bajo de concentración de plomo (0.006mg/Kg) en individuos pequeños.

Una vez presentado los resultados, se procedió a realizar un análisis estadístico para saber si existe una diferencia estadísticamente significativa en la concentración de Plomo en especies de trucha adulta, procedentes de los ríos Cañipia, Salado y Pichigua.

## A. Análisis estadístico para la concentración de plomo en especies de trucha adulta

### Planteamiento de Hipótesis

H<sub>0</sub>: El promedio de concentración de Plomo en especies de truchas adultas son iguales

H<sub>A</sub>: En al menos un grupo, la concentración de plomo en truchas adultas es distinta

### Resultados

Cuadro 12. Resultados del ANOVA para la concentración de plomo en especímenes de trucha adulta.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico de F</i> |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Entre grupos               | 0.033284389              | 2                         | 0.01664                      | 5.61494  | 0.00796             | 3.28492                   |
| Dentro de los grupos       | 0.097809167              | 33                        | 0.00296                      |          |                     |                           |
| Total                      | 0.131093556              | 35                        |                              |          |                     |                           |

Fuente: Excel 2016

Del cuadro 12, se observa que el valor de P de la prueba F es 0.00796, cuyo resultado es menor comparado con el nivel de significancia ( $\alpha=5\%$ ), en consecuencia, se acepta la hipótesis alterna, es decir, a un nivel de confiabilidad del 95%, en al menos un grupo la concentración de plomo en truchas adultas es distinta.

Por consiguiente, se realizó la prueba de medias de Tukey con el propósito de determinar en cuales de los ríos se observa una diferencia estadísticamente significativa en el promedio de concentración de plomo.

Prueba de Tukey para la concentración de Plomo en individuos adultos

-Diferencia honestamente significativa (HSD) = 0.0453

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| -Multiplicador de Tukey ( $q\alpha$ ) | = 2.881 |
| -Cuadrado medio del error (CMee)      | = 0.003 |
| -Tamaño de la muestra (n)             | = 12    |

### Comparación de medias

Cuadro 13. Comparación de medias en las concentraciones de plomo entre los 3 grupos de ríos.

|                   | G1 (Rio Cañipia) | G2 (Rio Salado) | G3 (Rio Pichigua) |
|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| G1 (Rio Cañipia)  | *                | -0.00275        | -0.0658           |
| G2 (Rio Salado)   |                  | *               | -0.0631           |
| G3 (Rio Pichigua) |                  |                 | *                 |

Fuente: Excel 2016

Del cuadro 13, observamos las diferencias de medias que superan el valor de la diferencia honestamente significativa. (VER ANEXO A.) Análogamente se realizó el análisis estadístico para la concentración de plomo en especies de trucha pequeña en los 3 ríos en estudio (Cañipia, Salado y Pichigua).

Cuadro 14. Resultados del ANOVA para la concentración de plomo en especímenes de trucha pequeña.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor critico de F</i> |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Entre grupos               | 0.00034408               | 2                         | 0.00017                      | 0.15338  | 0.85876             | 3.46680                   |
| Dentro de los grupos       | 0.02355525               | 21                        | 0.00112                      |          |                     |                           |
| Total                      | 0.02389933               | 23                        |                              |          |                     |                           |

Fuente: Excel 2016

Del cuadro 14, se observa que el valor de P de la prueba F es 0.8587, cuyo resultado es mayor comparado con el nivel de significancia ( $\alpha=5\%$ ), por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un nivel de confiabilidad del

95%, el promedio de concentración de plomo en especímenes de truchas pequeñas es iguales en los 3 ríos de la provincia de Espinar.

### Conclusión estadística

Para especies adultas

-Existe diferencia estadísticamente significativa en la concentración de plomo en truchas adultas provenientes de los ríos Cañipia y Pichigua.

-Existe diferencia estadísticamente significativa en la concentración de plomo en truchas adultas provenientes de los ríos Salado y Pichigua.

Para especies pequeñas

-No se evidencia estadísticamente una diferencia significativa en la concentración de plomo para especímenes de trucha pequeña en los ríos Salado, Cañipia y Pichigua

#### 4.1.2. Concentración de Cadmio en el tejido muscular de la trucha, procedentes de los ríos; Salado, Cañipia y Pichigua.

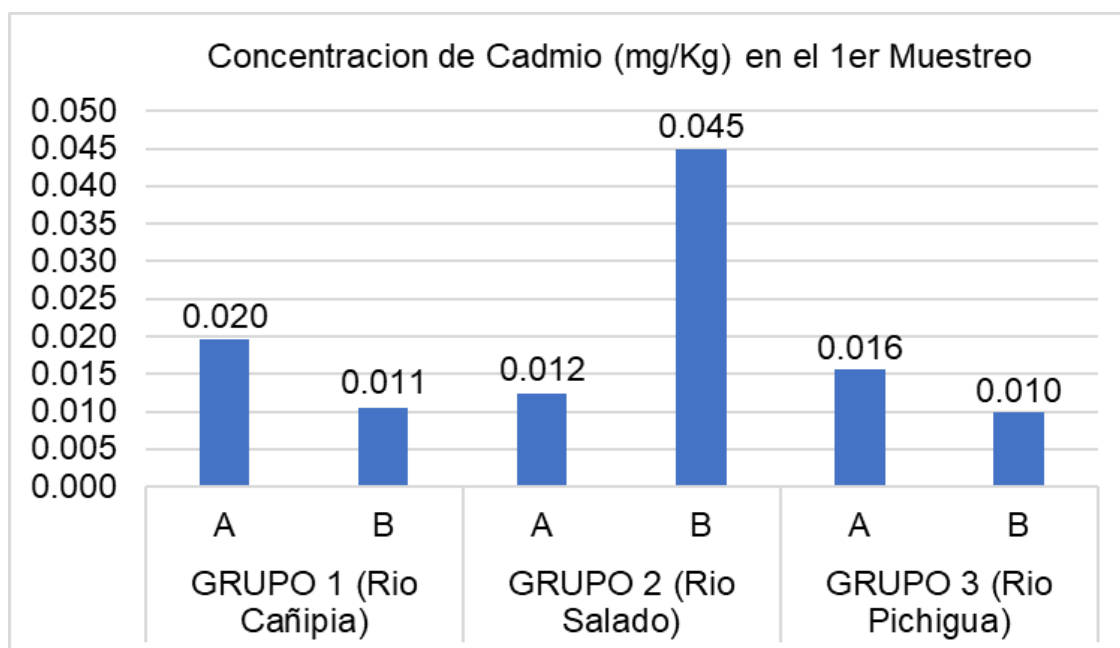


Figura 8. Concentración de Cadmio (mg/Kg) en el primer muestreo

De la figura 8 se observa una elevada concentración de cadmio en el Rio Salado, a diferencia de los ríos Cañipia y Pichigua, cuya diferencia de concentración está relacionada con la edad de los individuos de trucha.

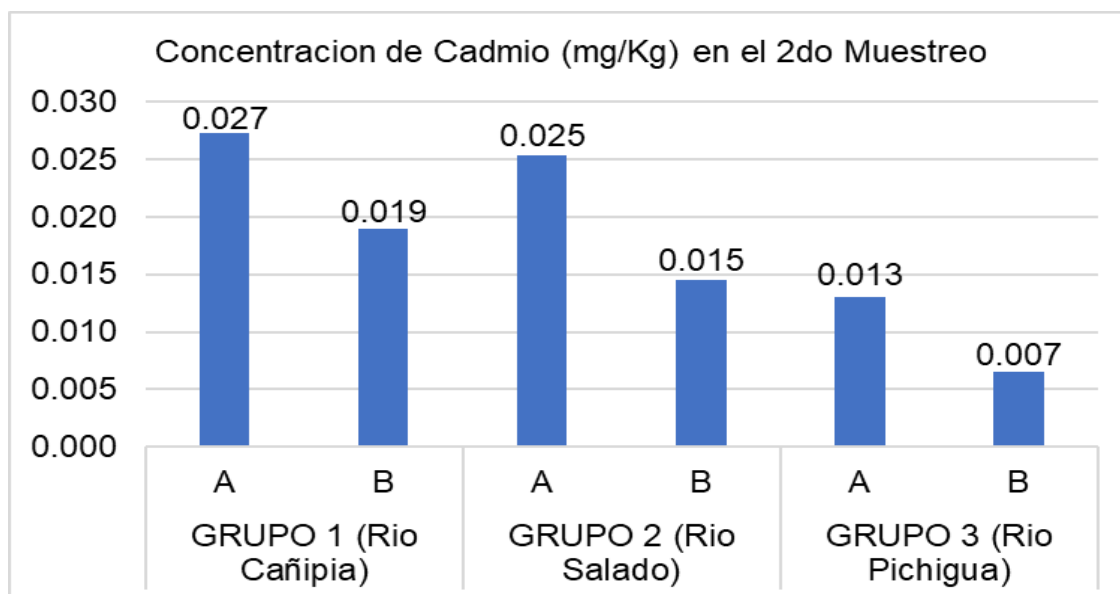


Figura 9. Concentración de Cadmio (mg/Kg) en el segundo muestreo

De la figura 9 se observa una asociación directa entre la concentración y la edad de los individuos, no obstante, también se observa una elevada concentración en el rio Cañipia respecto a los ríos Salado y Pichigua.

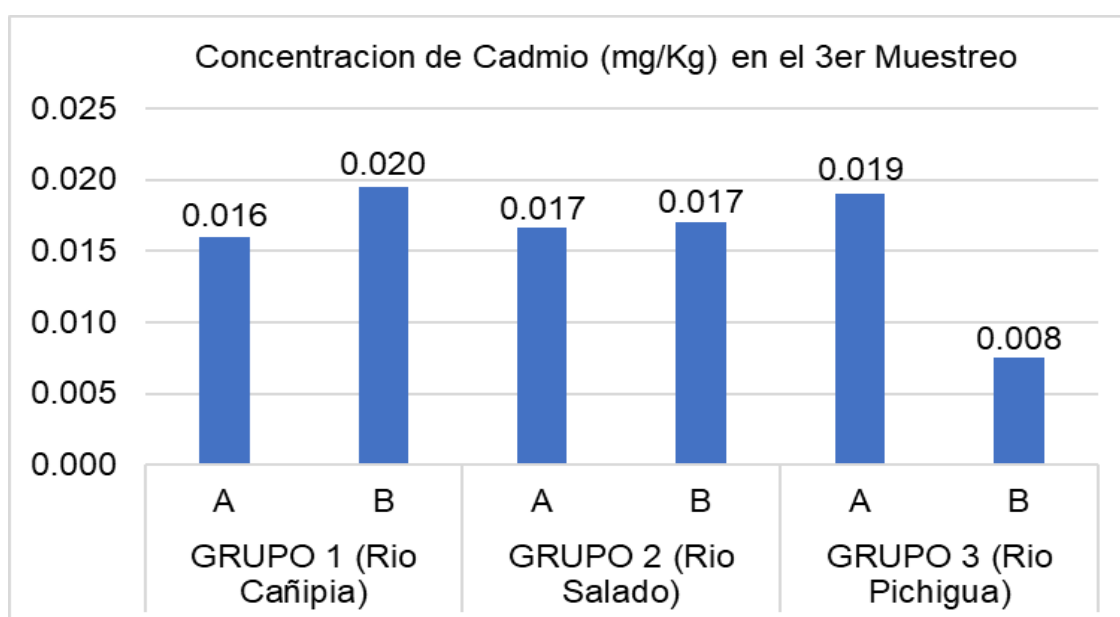


Figura 10. Concentración de Cadmio (mg/Kg) en el tercer muestreo.

De la figura 10, se observa una elevada concentración de cadmio en individuos pequeños respecto a los adultos en los ríos Cañipia y Salado respectivamente, por otro lado, la concentración de cadmio en el Río Pichigua sigue el mismo patrón anteriormente expuesto.

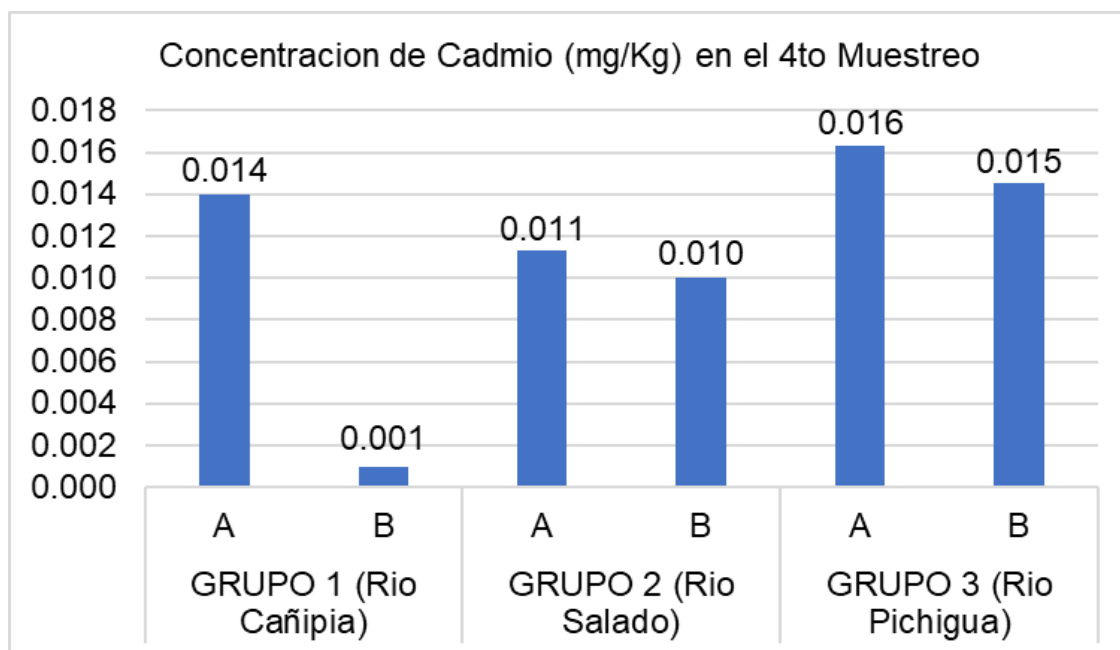


Figura 11. Concentración de Cadmio (mg/Kg) en el cuarto muestreo

De la figura 11 se observa una elevada diferencia en la concentración de cadmio de individuos adultos respecto a los pequeños en el río Cañipia, ocurre lo contrario en el río Pichigua, presentando una concentración promedio casi igual en individuos adultos y pequeños.

### **B. Análisis estadístico para la concentración de cadmio en especímenes de trucha adulta**

#### **Planteamiento de Hipótesis**

$H_0$ : El promedio de concentración de cadmio en truchas adultas son iguales

$H_A$ : En al menos un grupo, la concentración de cadmio en truchas adultas es distinta

## Resultados

Cuadro 15. Resultados del ANOVA para la concentración de cadmio en especímenes de trucha adulta.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico de F</i> |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Entre grupos               | 7.50556E-05              | 2                         | 3.75278E-05                  | 0.8941   | 0.4187              | 3.2849                    |
| Dentro de los grupos       | 0.001385167              | 33                        | 4.19747E-05                  |          |                     |                           |
| Total                      | 0.001460222              | 35                        |                              |          |                     |                           |

Fuente: Excel 2016

Del cuadro 15, se observa que el valor de P de la prueba F es 0.4187, cuyo resultado es mayor comparado con el nivel de significancia ( $\alpha=5\%$ ), por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un nivel de confiabilidad del 95%, el promedio de concentración de cadmio en especímenes de trucha adulta es iguales en los 3 ríos de la provincia de Espinar.

Análogamente se realizó el análisis estadístico para la concentración de cadmio en especímenes de trucha pequeña en los 3 ríos en estudio (Cañipia, Salado y Pichigua).

Cuadro 16. Resultados del ANOVA para la concentración de Cadmio en especímenes de trucha pequeña.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico de F</i> |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Entre grupos               | 0.000628                 | 2                         | 0.000314042                  | 1.3757   | 0.2745              | 3.4668                    |
| Dentro de los grupos       | 0.004794                 | 21                        | 0.000228274                  |          |                     |                           |
| Total                      | 0.005422                 | 23                        |                              |          |                     |                           |

Fuente: Excel 2016

Del cuadro 16, se observa que el valor de P de la prueba F es 0.2745, cuyo resultado es mayor comparado con el nivel de significancia ( $\alpha=5\%$ ), por lo tanto, se acepta la  $H_0$ .

### Decisión estadística

El promedio de concentración de cadmio en especímenes de trucha adulta y pequeña es igual en los 3 ríos de la provincia de Espinar.

## 4.2. Plomo y cadmio bioacumulado en la *Salmo Trutta* “trucha”

### 4.2.1. Plomo bioacumulado en el Río Cañipia

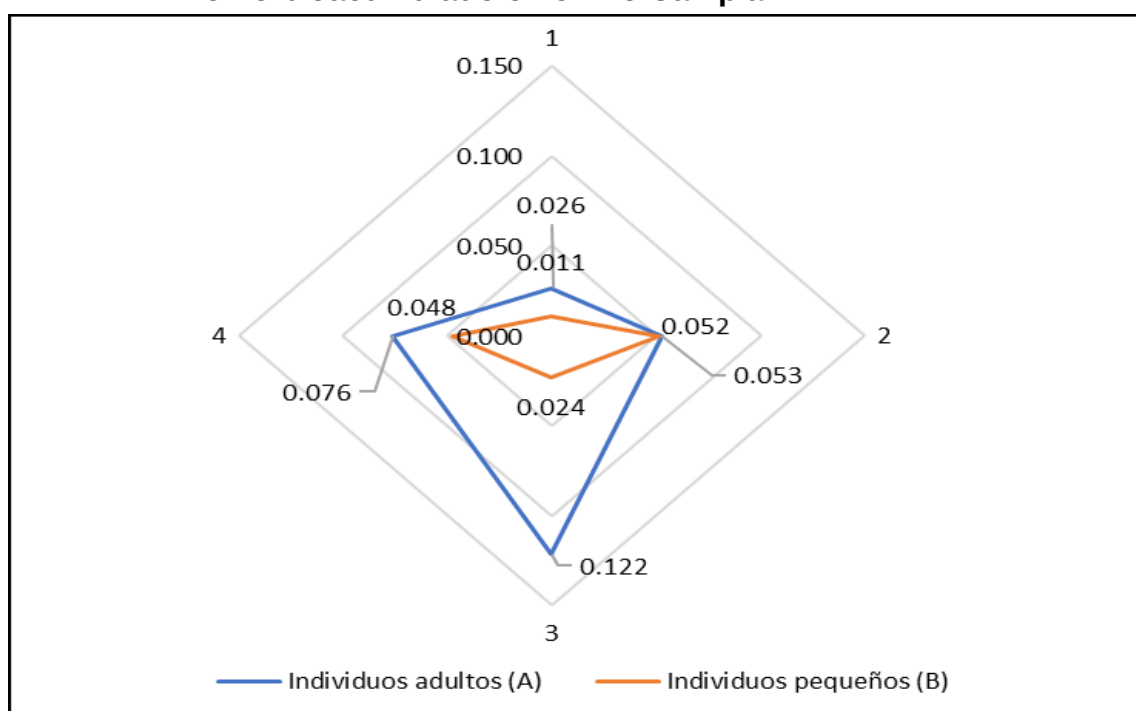


Figura 12. Concentración de plomo (mg/Kg) en individuos adultos & pequeños en el río Cañipia.

De la figura 12, se observa que la concentración promedio de plomo en individuos adultos (A), es mayor que en individuos pequeños (B), sin embargo, para asegurar que existe bioacumulación, se realizó la siguiente prueba estadística.

Para determinar la bioacumulacion por plomo, se realizo la prueba de t-student con el proposito de establecer una diferencia estadisticamente significativa entre 2 muestras (individuos adultos & pequeños) y para cada rio de la provincia de Espinar (Grupo 1, 2 y 3).

### C. Analisis estadistico para la bioacumulacion por plomo en el rio Cañipia.

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

#### Planteamiento de Hipotesis

$H_0$ = El promedio de concentracion de plomo en especímenes de trucha del rio Cañipia, es igual en individuos grandes y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de plomo en especímenes de trucha del rio Cañipia, es mayor en individuos grandes con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ )

#### Resultados

Cuadro 17. Resultados del ANOVA para la concentración de plomo en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el rio Cañipia.

| <i>Parámetros estadísticos</i>     | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                              | 0.06925         | 0.033375    |
| Varianza                           | 0.004469        | 0.000790268 |
| Tamaño de muestra                  | 12              | 8           |
| Diferencia hipotética entre medias | 0               |             |
| Grados de libertad                 | 16              |             |
| Estadístico t                      | 1.652745        |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>        | <b>0.117867</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)     | 2.119905        |             |

Fuente: Excel 2016

### c.3. Decision estadística

El valor de  $P$  (0.117867)  $> 0.05$  ; por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un  $\alpha=5\%$ , se puede afirmar que la media de concentración de plomo en especies de trucha del río Cañipia, es igual en individuos grandes y pequeños.

#### 4.2.2. Plomo bioacumulado en el Río Salado

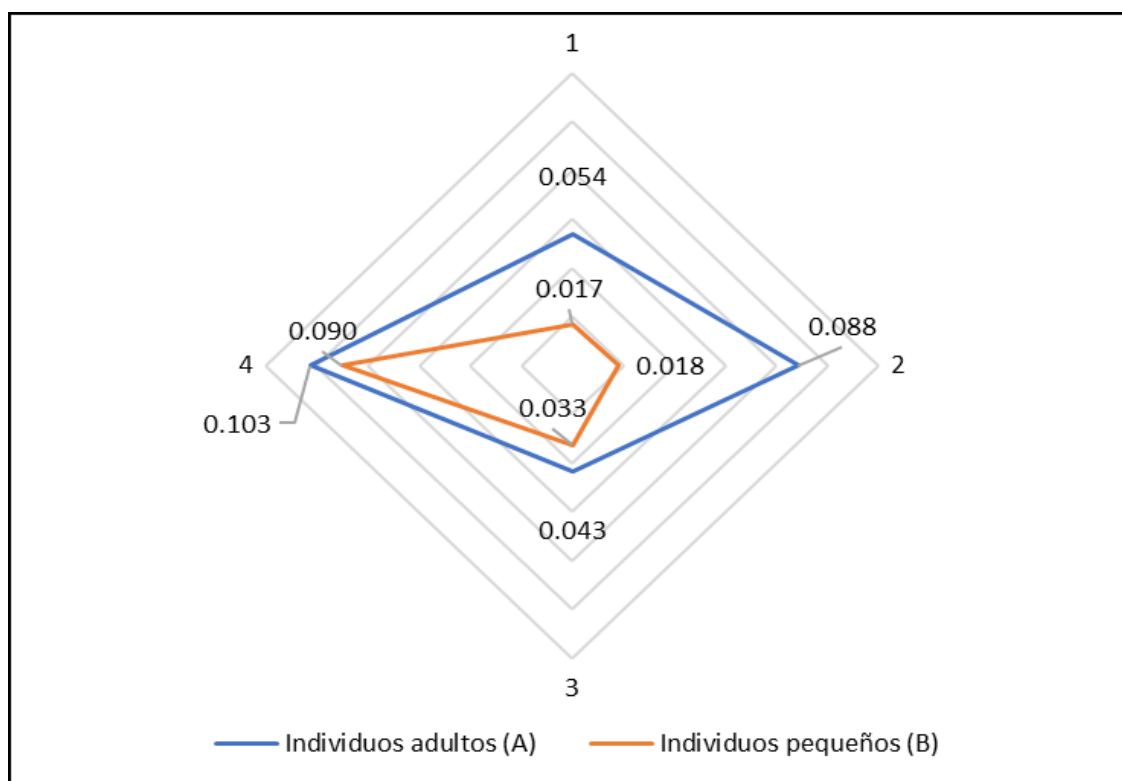


Figura 13. Concentración de plomo (mg/Kg) en individuos adultos (A) & pequeños (B) en el río Salado.

De la figura 13 se observa una concentración mayor en individuos adultos (A) respecto a los pequeños (B), correspondiente al cuarto y segundo muestreo respectivamente. Sin embargo, para asegurar que existe bioacumulación, se realizó la siguiente prueba estadística.

Para determinar la bioacumulación por plomo, se realizó la prueba de t-student con el propósito de establecer una diferencia estadísticamente

significativa entre 2 muestras (individuos adultos & pequeños) y para cada río de la provincia de Espinar (Grupo 1, 2 y 3).

#### **D. Analisis estadistico para la bioacumulacion por plomo en el rio Salado.**

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

##### **Planteamiento de Hipotesis:**

$H_0$ = El promedio de concentracion de plomo en especímenes de trucha del río Salado, es igual en individuos adultos y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de plomo en especímenes de trucha del río Salado, es mayor en individuos grandes con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ )

##### **Resultados**

Cuadro 18. Resultados del ANOVA para la concentración de plomo en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el río Salado.

| <i>Parámetros estadísticos</i>      | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                               | 0.072           | 0.039375    |
| Varianza                            | 0.001491        | 0.001071125 |
| Tamaño de muestra                   | 12              | 8           |
| Varianza agrupada                   | 0.001328        |             |
| Diferencia hipotética de las medias | 0               |             |
| Grados de libertad                  | 18              |             |
| Estadístico t                       | 1.961678        |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>         | <b>0.065454</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)      | 2.100922        |             |

Fuente: Excel 2016

### Decision estadística

El valor de  $P$  (0.065454)  $> 0.05$  ; por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un  $\alpha=5\%$ , se puede afirmar que la media en la concentración de plomo en especímenes de trucha del río Salado, es igual en individuos grandes y pequeños.

#### 4.2.3. Plomo bioacumulado en el río Pichigua

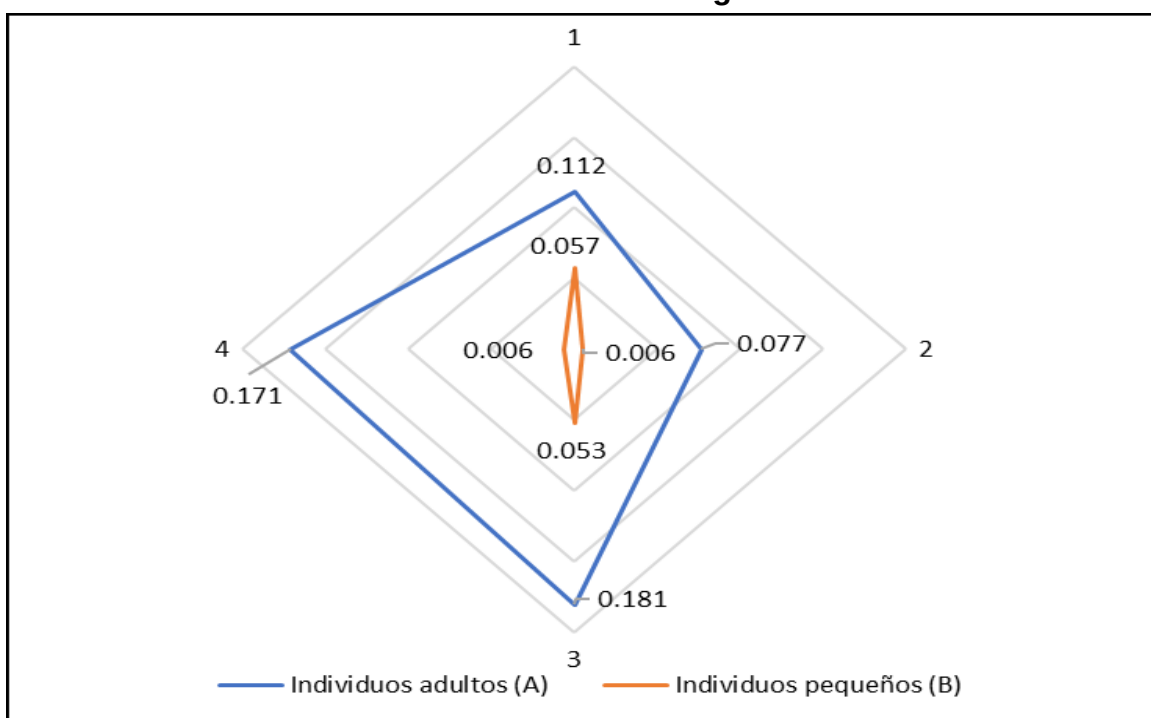


Figura 14. Concentración de plomo (mg/Kg) en individuos adultos (A) & individuos pequeños (B) en el río Pichigua.

### E. Analisis estadistico para la bioacumulacion por plomo en el río Pichigua.

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

#### Planteamiento de Hipotesis

$H_0$ = El promedio de concentración de plomo en especímenes de trucha del río Pichigua, es igual en individuos grandes y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de plomo en especímenes de trucha del rio Pichigua, es mayor en individuos grandes con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ )

## Resultados

Cuadro 19. Resultados del ANOVA para la concentración de plomo en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el rio Pichigua.

| <i>Parámetros estadísticos</i>      | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                               | 0.135083        | 0.03025     |
| Varianza                            | 0.002932        | 0.001503643 |
| Observaciones                       | 12              | 8           |
| Varianza agrupada                   | 0.002377        |             |
| Diferencia hipotética de las medias | 0               |             |
| Grados de libertad                  | 18              |             |
| Estadístico t                       | 4.711224        |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>         | <b>0.000174</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)      | 2.100922        |             |

Fuente: Excel 2016

### e.3. Decision estadistica

El valor de P (0.000174) < 0.05 ; en consecuencia, a un  $\alpha=5\%$ , se puede afirmar que la media en la concentracion de plomo en especímenes de trucha del rio Pichigua, es mayor en individuos adultos con relacion a los pequeños.

#### 4.2.4. Cadmio bioacumulado en el río Cañipia.

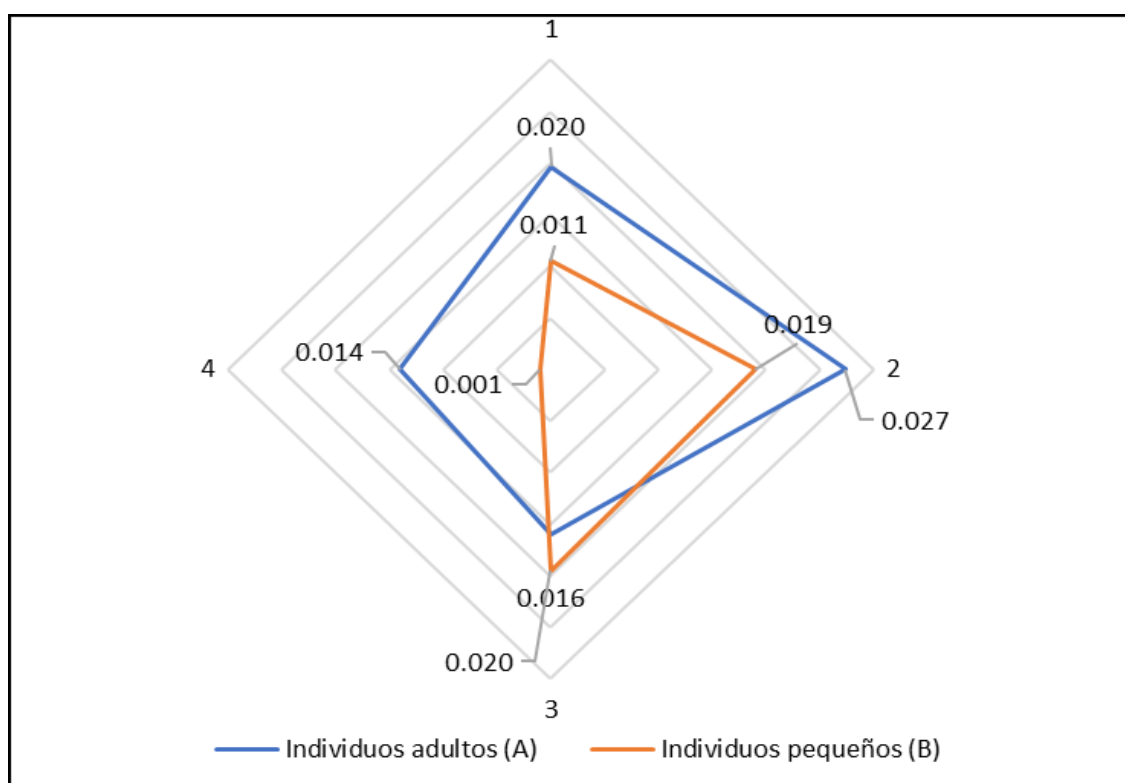


Figura 15. Concentración de Cadmio (mg/Kg) en individuos adultos (A) & pequeños (B) en el río Cañipia.

#### F. Analisis estadistico para la bioacumulacion por cadmio en el río Cañipia

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

##### Planteamiento de Hipotesis:

$H_0$ = El promedio de concentracion de cadmio en especímenes de trucha del río Cañipia, es igual en individuos grandes y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de cadmio en especímenes de trucha del río Cañipia, es mayor en individuos adultos con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ )

## Resultados

Cuadro 20. Resultados del ANOVA para la concentración de cadmio en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el río Cañipia.

| <i>Parámetros estadísticos</i>      | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                               | 0.01925         | 0.0125      |
| Varianza                            | 4.64E-05        | 7.48571E-05 |
| Tamaño de muestra                   | 12              | 8           |
| Varianza agrupada                   | 5.75E-05        |             |
| Diferencia hipotética de las medias | 0               |             |
| Grados de libertad                  | 18              |             |
| Estadístico t                       | 1.950958        |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>         | <b>0.066805</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)      | 2.100922        |             |

Fuente: Excel 2016

### f.3. Decision estadística

El valor de P (0.066805) > 0.05 ; por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un  $\alpha=5\%$ , se puede afirmar que el promedio de concentración de cadmio en individuos de trucha del río Cañipia, es igual en individuos grandes y pequeños

#### 4.2.5. Cadmio bioacumulado en el río Salado

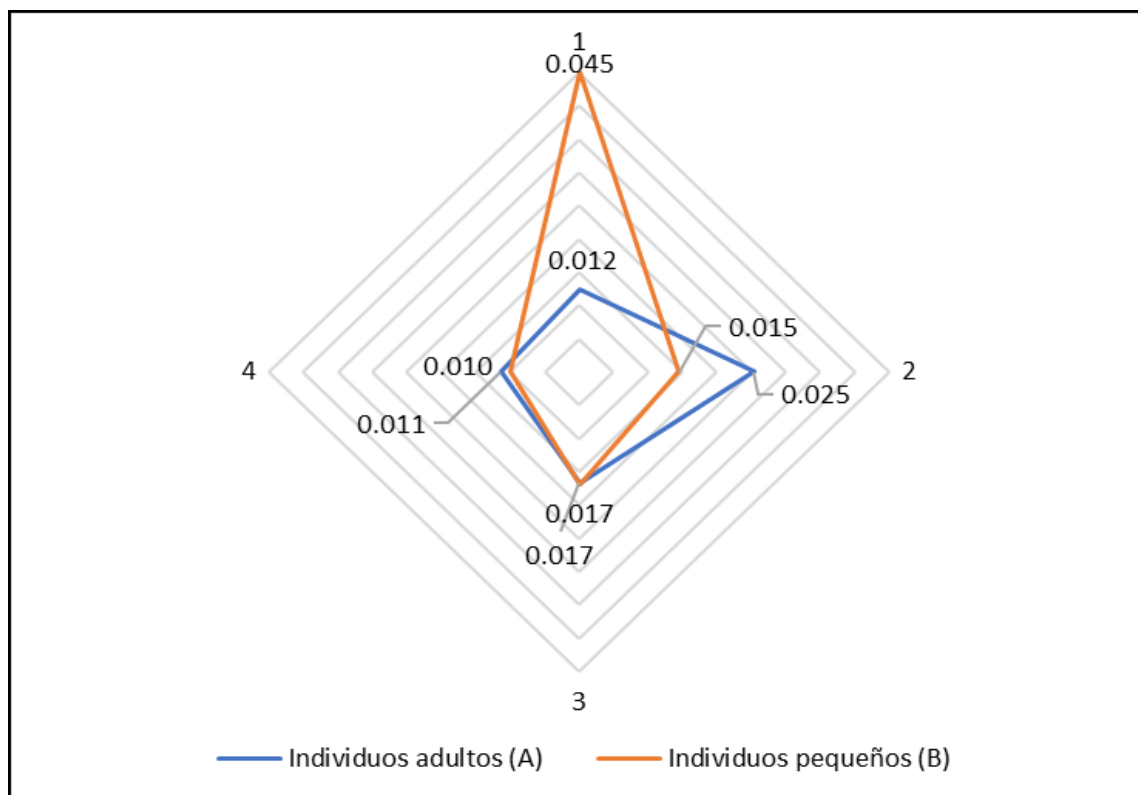


Figura 16. Concentración de cadmio (mg/Kg) en individuos adultos (A) & pequeños (B) en el río Salado.

#### G. Analisis estadistico para la bioacumulacion por cadmio en el río Salado

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

##### Planteamiento de Hipotesis:

$H_0$ = El promedio de concentracion de cadmio en especímenes de trucha del río Salado, es igual en individuos grandes y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de cadmio en especímenes de trucha del río Salado, es mayor en individuos grandes con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ )

## Resultados

Cuadro 21. Resultados del ANOVA para la concentración de cadmio en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el río Salado.

| <i>Parámetros estadísticos</i>      | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                               | 0.016417        | 0.021625    |
| Varianza                            | 5.54E-05        | 0.000587982 |
| Tamaño de muestra                   | 12              | 8           |
| Diferencia hipotética de las medias | 0               |             |
| Grados de libertad                  | 8               |             |
| Estadístico t                       | -0.589309       |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>         | <b>0.571916</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)      | 2.306004        |             |

Fuente: Excel 2016

### g.3. Decision estadística

Valor de P (0.571916) > 0.05 ; por lo tanto, se acepta la  $H_0$ , es decir, a un  $\alpha=5\%$ , se puede afirmar que el promedio de concentración de cadmio en especímenes de trucha del río Salado, es igual en individuos grandes y pequeños

#### 4.2.6. Cadmio bioacumulado en el río Pichigua

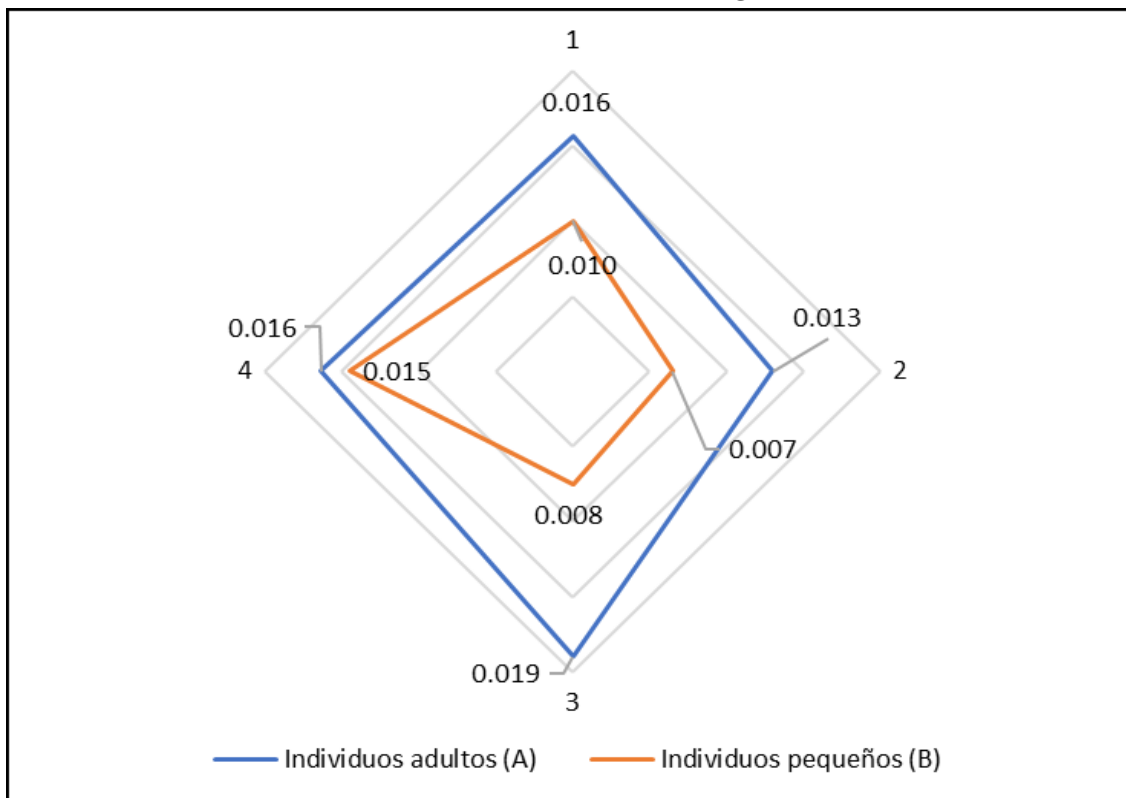


Figura 17. Concentración de cadmio (mg/Kg) en individuos adultos (A) & pequeños (B) en el río Pichigua.

#### H. Analisis estadistico para la bioacumulacion por cadmio en el río Pichigua

Prueba de t-student ( $\alpha=0.05$ )

##### Planteamiento de Hipotesis:

$H_0$ = El promedio de concentracion de cadmio en especies de trucha del río Pichigua, es igual en individuos grandes y pequeños. ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_A$ = El promedio de concentracion de cadmio en especies de trucha del río Pichigua, es mayor en individuos grandes con relacion a los pequeños. ( $\mu_A > \mu_B$ ).

## Resultados

Cuadro 22. Resultados del ANOVA para la concentración de cadmio en individuos de trucha adulta (A) & pequeña (B), en el río Pichigua

| <i>Parámetros estadísticos</i>      | <i>A</i>        | <i>B</i>    |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|
| Media                               | 0.016           | 0.009625    |
| Varianza                            | 2.42E-05        | 2.19821E-05 |
| Tamaño de muestra                   | 12              | 8           |
| Varianza agrupada                   | 2.33E-05        |             |
| Diferencia hipotética de las medias | 0               |             |
| Grados de libertad                  | 18              |             |
| Estadístico t                       | 2.891859        |             |
| <b>P(T&lt;=t) dos colas</b>         | <b>0.009715</b> |             |
| Valor crítico de t (dos colas)      | 2.100922        |             |

Fuente: Excel 2016

### Decision estadística

Valor de P (0.009715) < .05 ; se acepta la  $H_A$ , es decir, a un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que el promedio de concentración de cadmio en individuos de trucha del río Pichigua, es mayor en individuos adultos con relación a los pequeños

### 4.3. Niveles de plomo y cadmio comparados con los límites máximos permisibles destinados para el consumo humano.

Para verificar la concentración de plomo en truchas, se comparó con el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cuadro 23. Verificación de la concentración de plomo con los límites máximos permisibles para consumo humano.

| Muestras  | Concentración (ppm) |            |              | Límites máximos para consumo humano |         |
|-----------|---------------------|------------|--------------|-------------------------------------|---------|
|           | Rio Cañipia         | Rio Salado | Rio Pichigua | OMS                                 | SANIPES |
| Muestra 1 | 0.0229              | 0.0433     | 0.0980       | 0,2                                 | 0,3     |
| Muestra 2 | 0.0523              | 0.0711     | 0.0550       | 0,2                                 | 0,3     |
| Muestra 3 | 0.0877              | 0.0408     | 0.1574       | 0,2                                 | 0,3     |
| Muestra 4 | 0.0688              | 0.0990     | 0.1426       | 0,2                                 | 0,3     |

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 23 se observa que, la concentración de plomo no supera los límites máximos permisibles para consumo humano en ninguno de los 3 ríos mencionados, en relación a SANIPES y la OMS.

Por otro lado, se puede evidenciar un notable incremento en la concentración de las muestras 3 y 4, respecto a las muestras 1 y 2 en el río Pichigua.

Cuadro 24. Verificación de la concentración de cadmio con los límites máximos permisibles para consumo humano.

| Muestras  | Concentración (ppm) |            |              | Límites máximos para consumo humano |         |
|-----------|---------------------|------------|--------------|-------------------------------------|---------|
|           | Rio Cañipia         | Rio Salado | Rio Pichigua | OMS                                 | SANIPES |
| Muestra 1 | 0.0176              | 0.0216     | 0.0142       | 0,01                                | 0,05    |
| Muestra 2 | 0.0251              | 0.0227     | 0.0110       | 0,01                                | 0,05    |
| Muestra 3 | 0.0172              | 0.0167     | 0.0169       | 0,01                                | 0,05    |
| Muestra 4 | 0.0106              | 0.0109     | 0.0160       | 0,01                                | 0,05    |

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 24 se observa que, la concentración de cadmio la especie *Salmo Trutta* “trucha”, es mayor en los ríos Cañipia, Salado y Pichigua para los 3 primeros muestreos.

## V. DISCUSION

### 5.1. Especie *Salmo Trutta*

La diversidad de definiciones de especies en la segunda mitad del siglo XIX hizo que se describieran hasta 50 especies a partir de variedades de trucha común, una especie de amplia distribución geográfica, sometida a aislamiento de poblaciones locales, adaptada a un rango extenso de condiciones ambientales y con una gran diversidad de ecotipos y formas de vida. (PEZO R. 1992). Siendo frecuente ver clasificaciones de la especie que hacen referencia a las tres formas de vida más comunes, dentro de ellas, la *Salmo Trutta* (ORTEGA A. 2000). Es así que, en la presente investigación se escogió muestras de trucha común provenientes de los ríos Cañipia, Salado y Pichigua, teniendo en cuenta su amplio rango de adaptación a climas fríos como el característico de la provincial de Espinar. Según MARQUEZ M., 2005, las dimensiones corporales guardan una proporción en las que la longitud total es aproximadamente 4.5 veces la longitud de la cabeza. La relación longitud- peso puede expresarse según la fórmula  $P[g] = a \cdot LT[cm]^b$ , donde  $a = 0,0097$  y  $b = 3,08$ ; donde P es el peso en vivo y LT es la longitud total. En una muestra de los ríos Coata y Ramis (Vertiente del lago Titicaca, Soria) ( $n = 450$ ), la talla máxima alcanzada es 45 cm y la masa corporal 1152 g (CUETO et al., 1996). En truchas sedentarias difícilmente alcanza los 60 cm y 7 kg de masa corporal (LOZADA J., 2007).

## **5.2.     Habitad**

Según (MALDONADO *et. al*, 2005). La trucha reside generalmente en tramos de aguas limpias, frescas y bien oxigenadas, es así que, en la sierra de Medellín habita en las cabeceras de los ríos; si bien en el hábitat adecuado para la trucha se extiende desde los 3500 m.s.n.m. hasta el nivel del mar. El uso y las preferencias del hábitat experimentan cambios ontogénicos, lo que hace que las poblaciones se estructuren en edades siguiendo el curso de los ríos, así mismo, se llegó a determinar para numerosas especies que, a mayor longitud, menor tasa de crecimiento siempre que el alimento no sea escaso (RADA P., 2006), en efecto, durante la ejecución del presente proyecto, se evidencio una dinámica poblacional en los individuos de trucha por las razones anteriormente expuestas.

## **5.3.     Metodología de muestreo**

Según SALAZAR R. (2006), el muestreo estratificado permite hacer comparaciones sobre las características de cada grupo asegurando una mayor representatividad al obtener estimaciones más precisas, en ese contexto, en la presente investigación se dividió a cada conjunto de individuos de trucha, en 2 subconjuntos, a los que se denominó individuos adultos y pequeños, A y B respectivamente para hacer posible la determinación de la bioacumulación de los contaminantes en el tejido muscular de la Trucha.

## **5.4.     Para el Plomo**

En cuanto al nivel de plomo en el tejido muscular, se observa en las figuras 4, 6 y 7, una elevada concentración de dicho metal en el rio Pichigua en comparación con los hallados en los ríos Salado y Cañipia, no obstante, se

observa un contraste resultado obtenido en individuos adultos del río Salado (0.088 mg/Kg), cuyo valor está por encima en relación a las demás muestras. Esto responde a la existencia de un depósito de relaves de Ccamacmayo, cuyos vertidos proceden de la planta de procesamiento de minerales ubicado en la microcuenca del río Tintaya, a eso se suma los trabajos de la unidad minera Tintaya localizado en el margen izquierdo de la cuenca del Salado. (Monitoreo Sanitario Ambiental Participativo-MSAP 2013).

### **5.5. Bioacumulación por plomo**

Según TOLEDO, J. (2000). Refiere que la bioacumulación en organismos vivos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio a través de un mecanismo por el cual los químicos se incorporan a los organismos desde el agua, a través de las branquias o tejido epitelial y son acumulados (SALAS A., 2009), asimismo, a mayor edad, mayor concentración, sin embargo, a pesar de los diferentes resultados hallados en cada muestreo de la presente investigación, no se puede determinar a ciencia cierta si existe bioacumulación por metales pesados, en ese contexto, fue necesario realizar una prueba estadística de ANOVA para concluir si la concentración promedio de plomo son iguales o diferentes, es así que en el cuadro 19, se concluye que la media en la concentración de plomo en especímenes de trucha del río Pichigua, es mayor en individuos adultos con relación a los pequeños, de manera tal que se llegó a demostrar que existe bioacumulación por plomo en el río Pichigua.

### **5.6. Para el cadmio**

Análogamente se determinó la concentración promedio de Cadmio, observándose en la figura 10, que la concentración de dicho metal en individuos pequeños fue mayor a la obtenida en individuos adultos en los afluentes Salado y Cañipia, esto podría responder a un estudio realizado por INGEMET en donde vincula el hallazgo de metales pesados a causas naturales que le atribuye las características geológicas en la calidad del agua, esto responde en gran medida la presencia de los metales, dentro de ellos el cadmio.

### **5.7. Bioacumulación por cadmio**

Por otro lado, para garantizar estadísticamente la bioacumulación por cadmio en la presente investigación, se realizó un análisis de varianza ANOVA (Ver cuadro 20, 21 y 22) llegando a concluir que el promedio de concentración de cadmio en individuos de Trucha del río Pichigua, es igual en individuos adultos con relación a los pequeños con un 95% de confiabilidad, de modo tal que no hay bioacumulación por cadmio en ninguno de los 3 ríos en estudio. Este metal pesado (Cadmio), está identificado dentro del grupo B1 de posibles cancerígenos humanos (USEPA, 2006), con la particularidad de acumularse en los sedimentos de los ecosistemas acuáticos. (SPIEES A., 2010; ZORRILA *et al.*, 2010).

### **5.8. De la verificación de los resultados**

Por último, con el propósito de obtener mayor representatividad en los resultados obtenidos al momento de comparar con SANIPES y la OMS, se usó el promedio ponderando las concentraciones con su respectivo peso,

entre adultos y pequeños para cada muestreo (Ver Cuadro 26), de los resultados se puede apreciar que ninguna concentración plomo supera el límite máximo permisible para consumo humano en las 4 muestras, sin embargo, en el río Pichigua, se observa una concentración de 0.1574 ppm, cuyo valor es el más próximo a 0.2 ppm establecido por la OMS (Ver cuadro 27). Estudios afirman que el plomo presente en el agua puede ingresar a través de piel y las branquias en contacto directo con el agua, sin embargo, el mismo autor afirma que en branquias no se halló este metal, posiblemente porque puede estar pasando directamente a la sangre, donde es transportado a los huesos, esto explica que la mayor concentración del plomo se registra en huesos (MURILLO J., 2013).

Asimismo, la concentración de cadmio en el tejido muscular de la especie *Salmo Trutta* (Trucha), excede los límites máximos permisibles según OMS en los ríos Cañipia, Salado y Pichigua para las 3 primeras muestras, (Ver cuadro 28). En efecto, estos resultados guardan relación con las muestras de aguas subterráneas analizadas por el ANA y el OEFA en la quebrada Ccamacmayo, afluente principal del río Cañipia, en donde la concentración de Cadmio fue de 5.4 µg/L, superando el valor según el ECA 3-Riego de Vegetales, atribuyendo dicho resultado a la alteración y mineralización del yacimiento minero en las operaciones de cobre de Tintaya. (MSAP),

## **5.9. De los estudios realizados antes de la investigación**

Por otra parte, en el valle del río Salado se hallaron cuatro sectores en donde la concentración de metales en aguas superficiales y subterráneas fueron superiores a los estándares de calidad ambiental de agua

para riego de vegetales y bebida de animales, en los afluentes Ccaccamayo, Huaccollo, Yanamayo-Tintaya y Collpamayo. Esto se debe, en todos los casos, por la proximidad de los yacimientos de cobre en las operaciones de Tintaya y Quechuas. Es probable también una influencia de los trabajos mineros.

También se hallaron concentraciones de metales en sedimentos que fueron mayores a los valores establecidos en la ISQG (Directriz de calidad de sedimentos). Ello se observó en el río Pichigua (cadmio y plomo), en la quebrada Paccpaco, afluente del río Salado (cadmio y otros metales) y en el manantial Paccpaco afluente del río Cañipia (cadmio) en zonas de influencia minera y fuera de ellas, en ese contexto, cabe resaltar que diversas causas tanto abióticas como bióticas pueden determinar la baja tasa de acumulación de metales en el pez, siendo significativos desde la variedad en la dieta hasta cambios en los organismos producto de las condiciones del medio.

Es imprescindible resaltar que la probabilidad de adaptación de los organismos ante la presencia de sustancias contaminantes, da lugar a tolerar posteriormente ciertas concentraciones, esto responde a diversos mecanismos como la disminución de la sorción, aumento en la excreción y acumulación de sustancias tóxicas en vesículas lisosomales (QUINTERO, H. 2010).

La recepción y toxicidad de estos metales, están definidas por variables directas e indirectas como su concentración, tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del entorno medio ambiental. (ROMERO, 2010).

## VI. CONCLUSIONES

De los ríos Cañipia, Salado Alto y Pichigua:

1. Se cuantifico la concentración de plomo en el tejido muscular de los especímenes de *Salmo Trutta* “trucha” con un resultado de 0.0579 ppm (Rio Cañipia); 0.0635 ppm (Rio Salado) y 0.1133 ppm (Rio Pichigua), análogamente, la concentración promedio de cadmio fue de 0.0176 ppm (Rio Cañipia); 0.018 ppm (Rio Salado) y 0.0146 ppm (Rio Pichigua).
2. La bioacumulación por plomo es evidente en el rio Pichigua, en donde la concentración es mayor en individuos adultos con relación a los pequeños. Por otro lado, se llegó a demostrar estadísticamente que no existe bioacumulación por plomo y cadmio en los ríos Salado y Cañipia.
3. Por último, se verifico que la concentración de plomo no excede los límites máximos permisibles según SANIPES (0.3 ppm) y la OMS (0.2 ppm), sin embargo, la concentración de cadmio fue mayor en los ríos Salado, Cañipia y Pichigua, llegando a concluir que dichos valores superan el limite establecido por SANIPES (0.01 ppm).

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Considerar el diseño de muestreo en las diferentes estaciones del año con el propósito de obtener una mejor representatividad en las mismas teniendo en cuenta la dilución de contaminantes en épocas de lluvia que reduce los niveles concentrados de metales pesados en ecosistemas acuáticos
2. Evaluar los parámetros físico-químicos presentes en el agua con la finalidad de establecer los diferentes factores y posibles rutas de contaminación por metales pesados en el tejido muscular de la trucha.
3. Monitorear la calidad de sedimentos con los valores establecidos por la ISQG (Directrices de calidad del sedimento) a fin de formular lineamientos de política y estrategias para evitar y/o minimizar la contaminación por metales pesados.
4. Para estudios futuros, se recomienda analizar la calidad del agua y la concentración de otros metales pesados para determinar el efecto sinérgico o antagónico de ser el caso en ríos adyacentes a las actividades mineras.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACGIH. 1991.C. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 6th ed. Volumes I, II, III. Cincinnati, OH., 1515 p.
- ALAN H. HALL, MD, MICHAEL W. SHANNON, MD, MPH. CHAPTER, (2007). 75 – Other Heavy Metals. En: Haddad, Lester M., Shannon, Michael, Winchester James. Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose. W.B Saunders Company. Saunders, 4th edition, US.
- ALCÁNTARA, F. 1986. Avances en el cultivo de gamitana (*Colossoma macropomun*), en el laboratorio de Iquitos del IMARPE. Rev. Lat. Acui. Lima - Perú, 125 pp.
- ASCÓN, D. G. 1987. Producción de gamitana (*Colossoma macropomun*), mediante el empleo de dos técnicas diferentes de reproducción inducida. IIAP - DIREPE XIII – Moyobamba ,116 p.
- BARBOUR, A.K. Y SHAW, I.C. (2000). “Ecotoxicological impacts of the extractive industries en Environmental Policy in Mining” Londres: Lewis Publishers, 57-80 p.
- BELTRÁN, M., GÓMEZ, A. 2015. Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. Revistal 3+. 2(2)82 – 112.

- BRYAN, G.W. LANGSTON, W.J. (1992) "Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review. *Environmental Pollution* 76, 89- 131 p.
- CASTRO, C.; VALDÉS, J. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la Bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(1)121-133.
- DIEZ, J. 2008. Fitorrección de suelos contaminados con metales pesados. Universidad de Santiago de Compostela. España. 28-30 p.
- DUFFUS, J. 2004. Metales pesados en la Minería. Editorial Fundación Confemetal. España. 128 p.
- ELLENHORN J. 1997, «Metals and related compounds» en *Ellenhorn's Medical Toxicology: Diagnosis and Treatment of Human Poisoning*. William & Wilkins editores, Los Angeles, California, 2da edición.
- FAO. La trucha Manual para la prevención y el tratamiento de las enfermedades en peces de cultivo de agua dulce. Chile: Ediciones FAO; 1991.
- FERNÁNDEZ, A. 2011 Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca [Tesis de Licenciatura]. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería, 87 p.
- GALAN, E., ROMERO, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. [En línea]: [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/mada10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/mada10/Macla10_48.pdf), documentos, 29 de agosto. 2019.
- GARCÍA, P., CRUZ, M. 2012. Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199-205

- GRANADA, N., y ESCOBAR, D. 2012. Analisis y cuantificación de metales pesados (Pb, Cd, Ni y Hg) en agua, sedimentos y bioacumulación en la especie *Rhandia Wagne* (barbudo) del rio Cauca en el municipio de Virginia. Tesis para obter el grado de Químico Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, 82p.
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, INSTITUTO TECNOLÓGICO PESQUERO DEL PERÚ. 1996. Compendio Biológico Tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú. Perú: Editorial Stella.
- JING, Y., HE, Z., YANG, X. 2007. Role rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Journal Zhejiang Univ. Sci. B.*, 8: 192-207.
- JUNK, W y SOARES, M. 2001. Freshwater fish habitats in Amazonia: State of knowledge, management, and protection. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 4: 437 – 451
- KLAASSEN C. 2008. Metales pesados y sus antagonistas. En: Brunton L, Lazo J, Parker K, editores. *Goodman & Gilman, Las bases farmacológicas de la terapéutica*. 11<sup>a</sup> ed. Nueva York: McGraw Hill, 1766-1768.
- LONDOÑO R. y MUÑOZ, F. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev.Bio.Agro* vol.14 no.2 Popayán Jul./Dec. 2016. 145-153 pp
- LÓPEZ J, GARCÍA O, GRIMA J, BALLESTEROS BJ, PÉREZ M. 2001. Técnicas de biorrecuperación insitu en acuíferos contaminados por metales pesados. Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de Valencia, 124 p.

- LÓPEZ Y COLS, 2001. Anemia secundaria a intoxicación por plomo. Rev Clin Esp; 201:390-393.
- LOZADA, J. 2007. Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* en la laguna de Metztitlán, Hidalgo, México. Tesis licenciatura. Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 76pp.
- MALDONADO, J., ORTEGA, A., USMA, J., GALVIS, G., VILLA, F., VÁSQUEZ, L., PRADA, S., y ARDILA, C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander Von Humboldt. 1ra. ed. Bogotá D.C. Colombia. 346 pp.
- MÁRQUEZ, M. 2005. Evaluación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces del río Catatumbo y sus afluentes. Tesis Ing. Químico. Maracaibo, Venezuela. Universidad Rafael Urdaneta. 58 pp.
- MOLINA, C., IBAÑEZ, C. y GIBON, F.M. 2013. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. Ecología, 47(2), 99-118 p.
- MURILLO, V., AROCA, G., DUARTE, C., OYARZO, C., OYARZÚN, 2013. Determinación y evaluación de los componentes presentes en las pinturas anti-incrustantes utilizadas en la acuicultura, sus efectos y la acumulación en sedimentos marinos de la región de Los Lagos. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso (Chile). Informe técnico n°1. 257 pp.
- MYCYK, HRYHORCZUK Y AMITAI, 2005. «Lead» en Timothy Erickson y cols editores: Pediatric Toxicology: Diagnosis and Managment of the Poisoned Child. McGraw-Hill, 1ra edición.

- ORTEGA, A., MURILLO, O., PIMIENTA, C., Y STERLING, E. 2000. Los peces del alto Cauca, riqueza ictiológica del Valle del Cauca. Ed. Imagen Corporativa. Cali, Colombia. 69pp.
- PAREDES, R., ÁLVAREZ, C., Y SANDOVAL, D. 2010. Hidrobiología. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú. Informe técnico n°1. 88 pp.
- PATERNA, J. 2011. Evaluacion de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía de Cispada, Cuenca del Bajo Sinu, departamento de Cordova. Julio: 23-24 p.
- PATRICK L. 2006. "Lead Toxicity" A Review of the Literature. Part 1: Exposure, Evaluation and Treatment. Altern Med Rev.
- PEZO, R., PAREDES, H., Y BEDAYÁN, N. 1992. Determinación de metales pesados bioacumulables en especies ictiológicas de consumo humano en la Amazonia Peruana. Folia Amazónica. Iquitos, Perú. 4(2): 171-181.
- PROTOCOLO CADMIO METÁLICO PURO, CADMIO PURO EN ESFERAS O LÁPICES, BUENOS AIRES ARGENTINA; 2009. En línea [<http://www.cima-galvano.com.ar/Protocolos/272.pdf>]. revisados documentos, 29 de agosto. 2019.
- QUINTERO, L, E., QUINTANA, Y., CARDONA, G., Y OSORIO, F. 2010. Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Rev. Gestión y ambiente. Medellín. 13(3): 51-57.

- RADA, O., VALLE, D., CABRERA, C., NAOLA, D., Y TAMARIZ, H. 2006. Cultivando peces amazónicos; Ministerio de producción. San Martín. 43-47.
- RAMÍREZ A., 2002 Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Fac de Med Univ Nac Mayor de San Marcos 2002; 63:51-64.
- REYES, P.D. 1998. Pérdidas de agua en una hectárea de poza en el trópico peruano, afectado por la situación climática de esta región. Pucallpa, Perú, 74 pp.
- ROMERO, A., FLORES, S., Y PACHECO, W. 2010. Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa. Rev. Instituto de Investigaciones. 13(25): 61-69.
- SALAS, A., BARRIGA, M., ALBRECHT, M., CHU, F., Y ORTEGA, H. 2009. Información nutricional sobre algunos peces comerciales de la Amazonía peruana. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. Boletín de investigación n°9. 64 pp.
- SALAZAR, R. 2009. Estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en organismos acuáticos de Venezuela. Rev. REDVET, 10(11):1-16.
- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN DE MÉXICO, 2017. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (en línea): [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018).
- SOLDATOVIC DANILO Y SVETISLAV MILIC, 2006. La influencia de la intoxicación crónica por plomo en la cantidad de magnesio en suero en

- personas profesionalmente expuestas. Belgrado (Yugoslavia) En línea [<http://www.infomagnesio.com/francia/fr22.pdf>]. revisados documentos, 29 de agosto. 2019.
- SPIESS, 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. Tesis Químico Farmacéutico. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 92 pp.
- THATCHER, V. 2006. Amazon Fish Parasites (Second Edition). Aquatic Biodiversity in Latin America. Volume 1. Pensoft. Moscow. 508p.
- TOKAR, E.; BOYD, W., FREEDMAN, J.; WAALKES, M. 2015. Toxic effects of metals. Casarett and Doull's Toxicology. 8th ed. McGraw-Hill. 93p.
- TOLEDO, J., LEMUS, M., Y CHUNG, K. 2000. Cobre, cadmio y plomo en el pez (*Cyprinodon dearborni*), sedimentos y agua en dos lagunas de Venezuela. Rev. Biol. Trop. 48(1): 225-231.
- VALDIVIA MELINDA M. 2005. "Infantas Intoxicación por plomo". Rev. Soc. Peruana. 46 p.
- VALLS, M., DE LORENZO, V. 2002. Exploring the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. FEMS Microbiology Reviews, 26: 327-338.
- WAISBERG, M., JOSEPH, P., HALE, B. and BEYERSMANN, D. 2013. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology, 3(4), 95-117 p.
- WANG, W. 2002. Trace ingestion and assimilation by the green mussel *Perna viridis* in a phytoplankton and sediment mixture. Mar Biol, v. 140 327-335 p.

ZORRILLA, M. 2011. Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. Tesis Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Santiago de Cali, Chile. Universidad autónoma de occidente. 63 pp.

ZULUAGA, J., GALLEGU, S., RAMÍREZ, C. 2015. Contenido de Hg, Cd, Pb y As en especies de peces: revisión. VITAE, 22(2)148-159.

## ANEXOS

### ANEXO A. Análisis estadísticos

#### Prueba de Tukey

1. Planteamiento de hipótesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

2. Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

3. Contrastacion de Hipotesis:

Si: valor de P (prueba t)  $< \alpha = 0.05 \rightarrow$  Se rechaza  $H_0$

Si: valor de P (prueba t)  $> \alpha = 0.05 \rightarrow$  Se acepta  $H_0$

4. Resultados

5. Decisión estadística

#### Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_j$$

Donde:

i : 1, 2, 3, ..., t

t: número de tratamientos

j: 1, 2, 3, ..., n

n: número de repeticiones por tratamientos

$Y_{ij}$ : variable respuesta

$\mu$ : efecto de la media poblacional

$\alpha_i$ : efecto del i-esimo tratamiento "i"

$\varepsilon_j$ : error experimental

## Análisis de varianza

Cuadro 25. Análisis de varianza (ANOVA)

| Fuente de variación | GL     | SC     | CM           | Fc         | Signif |
|---------------------|--------|--------|--------------|------------|--------|
| Tratamientos        | t-1    | SC-tra | SCtra/Gltrat | Cmtrat/Cme | Fc>Ft  |
| Error               | t(r-1) |        | SCerror/Gle  |            |        |
| TOTAL               | t.r-1  |        |              |            |        |

## Comparación de medias

-Parámetros estadísticos

$$CM_{ee} = \frac{SC_{ee}}{GL}$$

$$HSD = q_{\alpha} * \sqrt{\frac{CM_{ee}}{n}}$$

Donde:

-CM<sub>ee</sub>: Cuadrado medio del error experimental

-q<sub>α</sub> : Estadístico de Tukey

-n : Tamaño de la muestra

-HSD : Diferencia honestamente significativa

Cuadro 26. Comparación de medias de Tukey

|    | μ1 | μ2     | μ3     |
|----|----|--------|--------|
| μ1 | -  | μ1- μ2 | μ1- μ3 |
| μ2 |    | -      | μ2- μ3 |
| μ3 |    |        | -      |

-Decisión estadística:

Si: |μ1- μ2|>HSD → Existe diferencia significativa entre los grupos 1 y 2.

Si: |μ1- μ2|<HSD → NO existe diferencia significativa entre los grupos 1 y 2.

## ANEXO B. Mapa de ubicación

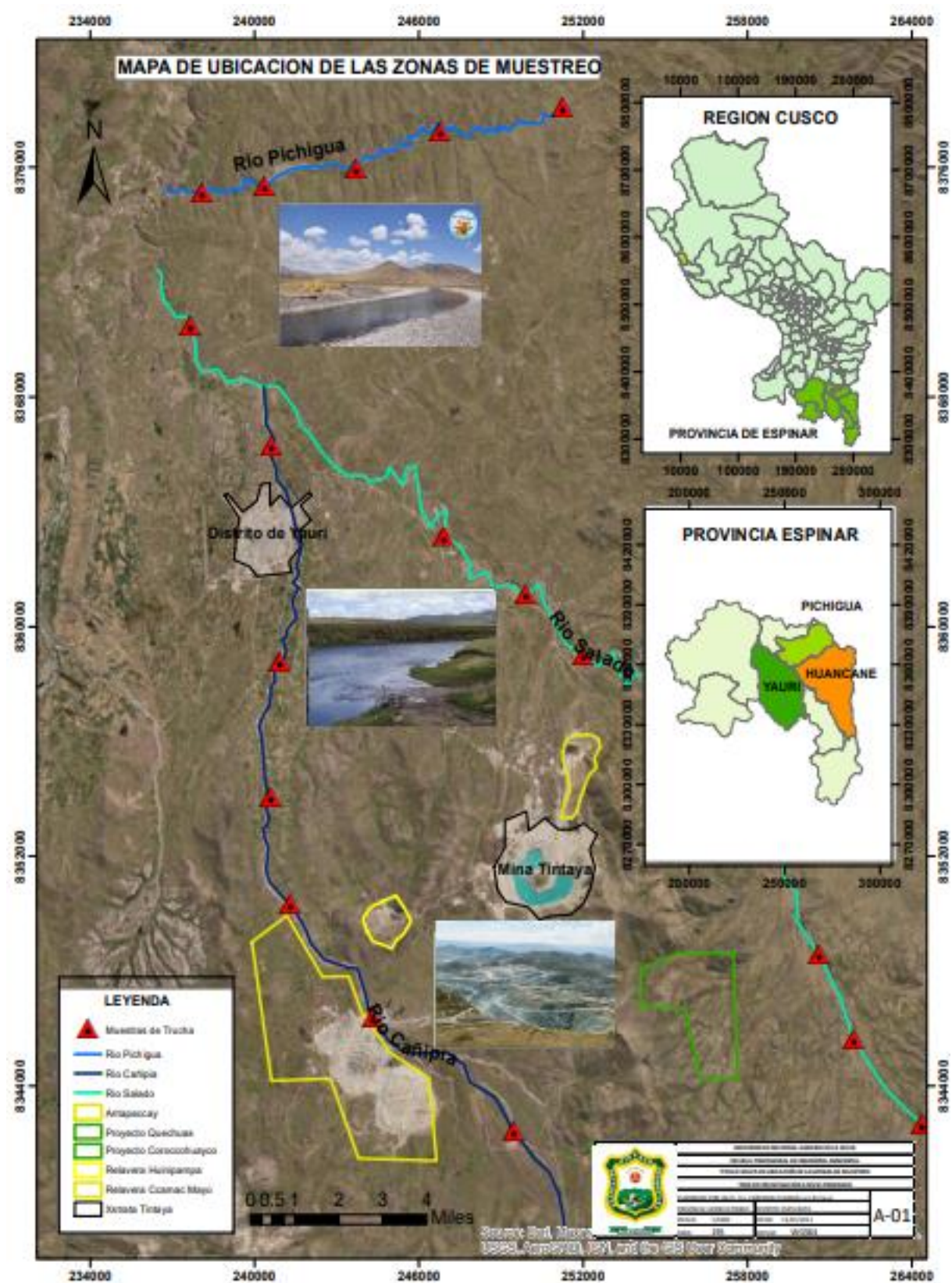


Figura 18. Mapa de ubicación de las zonas de muestreo

## ANEXO C. Mapa de ubicación de colecta de muestras

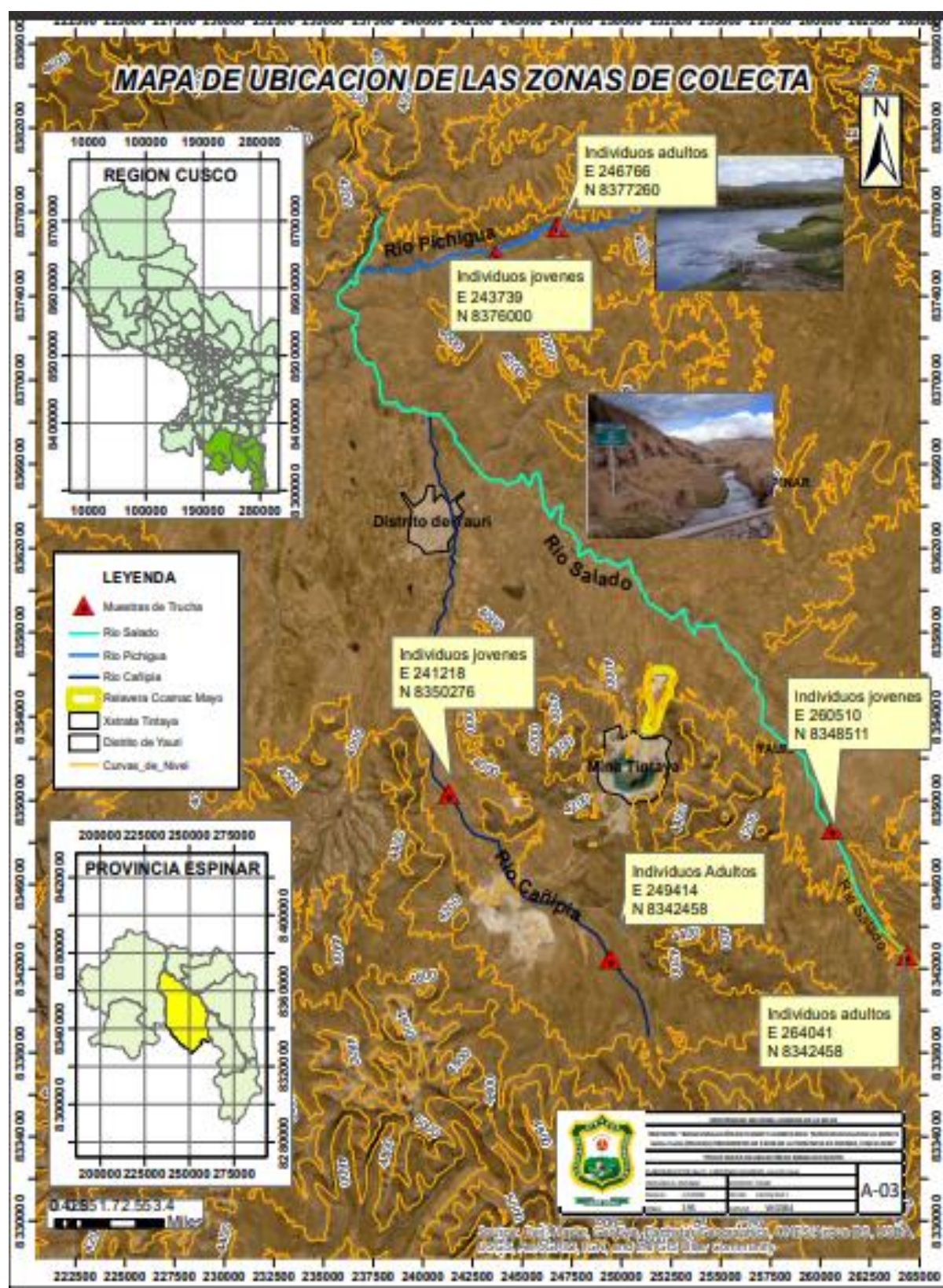


Figura 19. Mapa de ubicación de colecta de muestras.

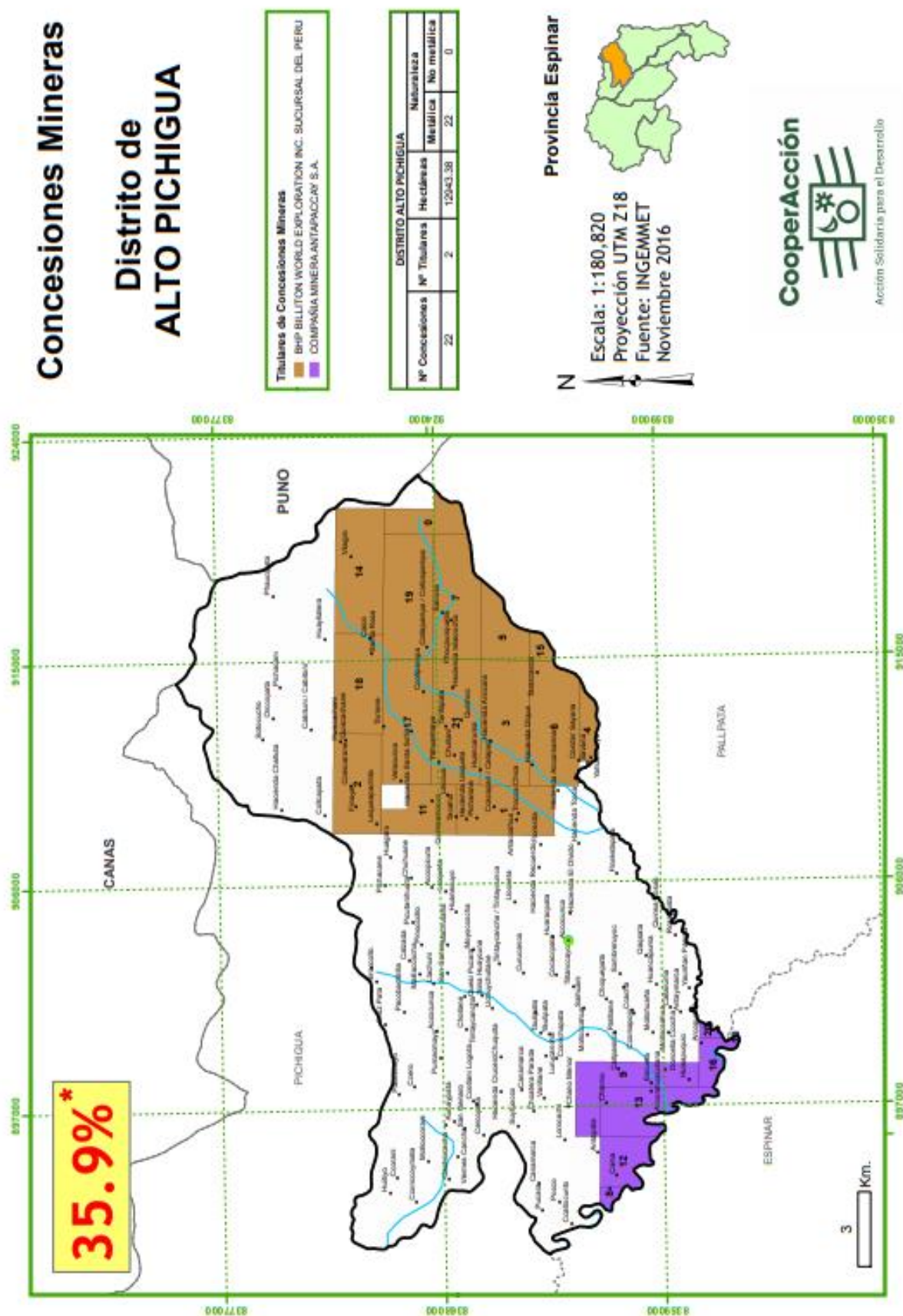
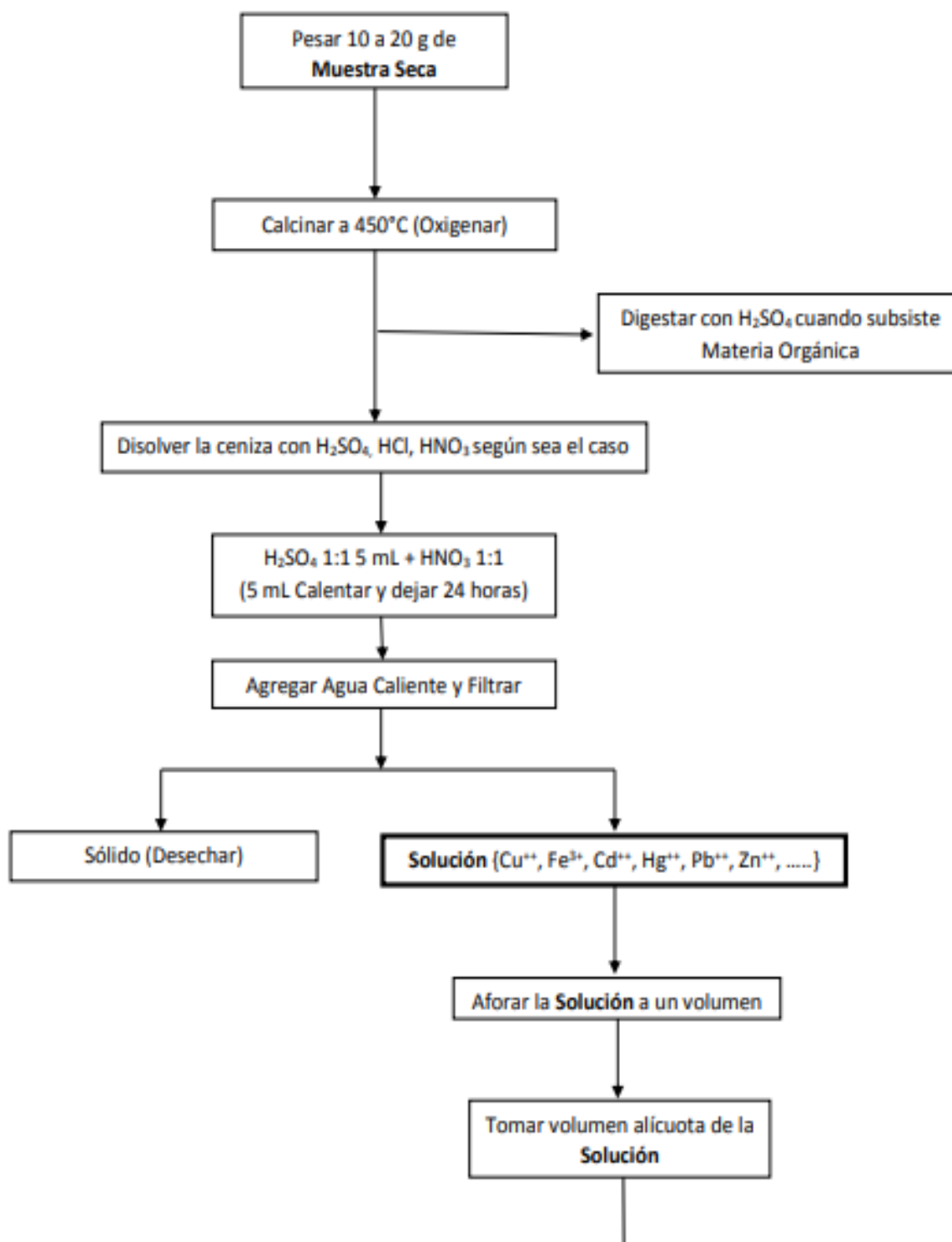


Figura 20. Mapa de concesiones mineras en el distrito de Pichigua

## ANEXO D. Metodología de determinación de metales pesados

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS

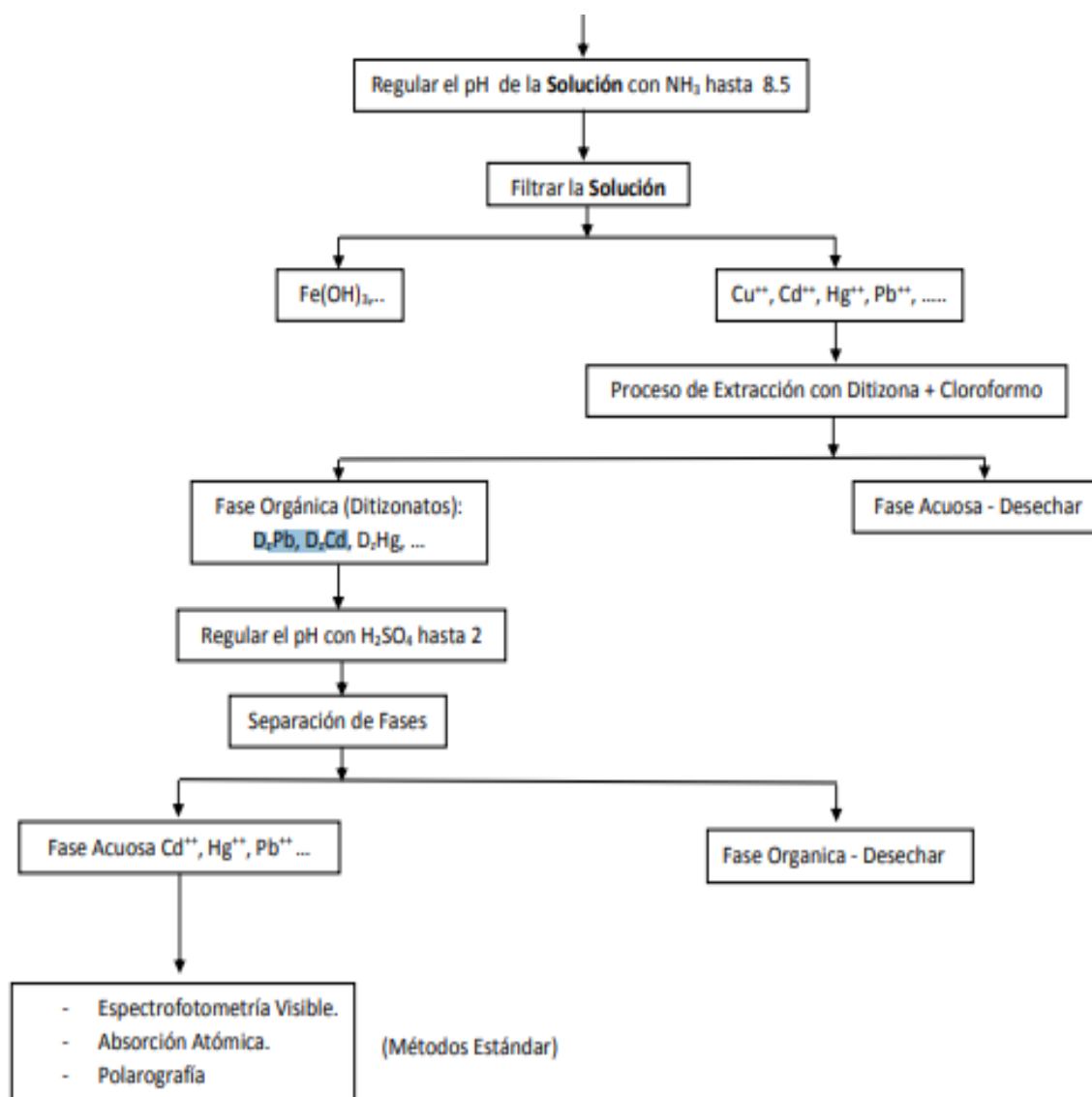


Diagrama propuesto por el ingeniero Mario Cumpa Cayuri, teniendo como referencia la siguiente bibliografía:

- COLORIMETRIC DETERMINATION OF TRACES OF METALS – E.B. SANDELL, Second Edition, Volume 3.
- RECHERCHE ET DOSAGE DES ÉLÉMENTS TRACES ( SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORTION, SPECTROGRAPHIE D'EMISSION, POLAROGRAPHIE) – MAURICE PINTA.
- STANDARD METHODS - American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation for the Examination of Water and Wastewater, 23 edition – 2017.

Figura 21. Flujograma de detección de metales pesados en muestras biológicas

## ANEXO E. Resultados de laboratorio

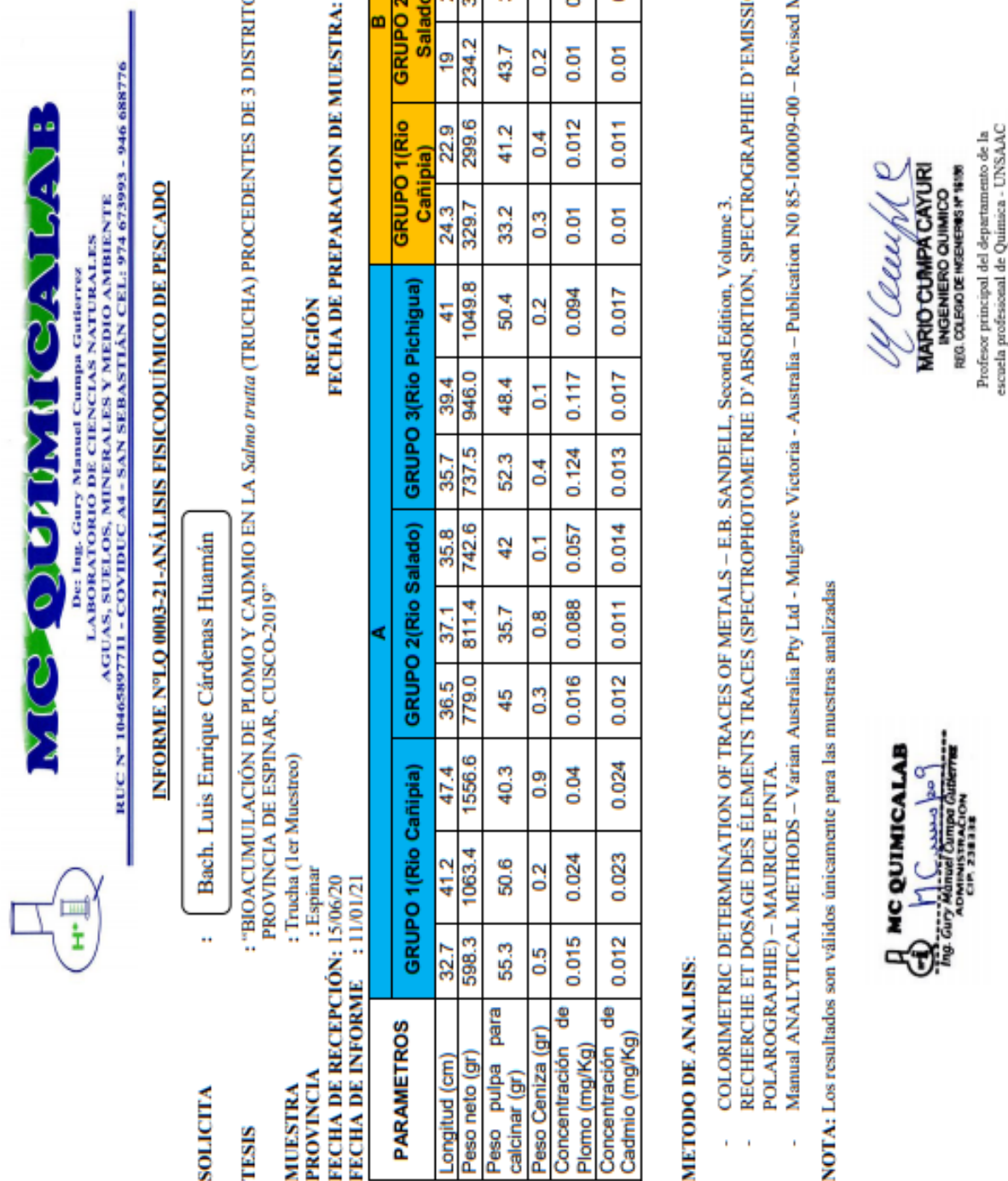


Figura 22. Resultados de laboratorio del 1er muestreo



**MC QUIMICALAB**

Des: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0004-21-ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE PESCADO**

**SOLICITA**

: Bach. Luis Enrique Cárdenas Huamán

**TESIS**

: "BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LA *Salmo trutta* (TRUCHA) PROCEDENTES DE 3 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO-2019"

**MUESTRA**

: Trucha (2do Muestreo)

**PROVINCIA**

: Espinar

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 14/07/20

**FECHA DE INFORME** : 11/01/21

**REGIÓN**

: Cusco

**FECHA DE PREPARACION DE MUESTRA:** 24/07/20

| PARAMETROS                      | A                   |        |                     |       |                       |        | B                   |                     |                       |
|---------------------------------|---------------------|--------|---------------------|-------|-----------------------|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                                 | GRUPO 1(Rio Cañipa) |        | GRUPO 2(Rio Salado) |       | GRUPO 3(Rio Pichigua) |        | GRUPO 1(Rio Cañipa) | GRUPO 2(Rio Salado) | GRUPO 3(Rio Pichigua) |
| Longitud (cm)                   | 36.8                | 45.1   | 36.4                | 38.2  | 28.3                  | 44.5   | 31.9                | 29.4                | 31.9                  |
| Peso neto (gr)                  | 795.0               | 1356.8 | 773.7               | 873.6 | 437.3                 | 1308.0 | 549.5               | 473.1               | 565.4                 |
| Peso pulpa para calcar (gr)     | 47.0                | 49.0   | 38.8                | 36.4  | 46.2                  | 37.0   | 50.6                | 32.4                | 33.7                  |
| Peso Ceniza (gr)                | 1.0                 | 0.1    | 0.6                 | 0.1   | 0.7                   | 0.7    | 0.8                 | 0.4                 | 0.3                   |
| Concentración de Plomo (mg/Kg)  | 0.094               | 0.021  | 0.043               | 0.09  | 0.082                 | 0.093  | 0.092               | 0.068               | 0.07                  |
| Concentración de Cadmio (mg/Kg) | 0.027               | 0.034  | 0.021               | 0.024 | 0.017                 | 0.035  | 0.016               | 0.011               | 0.012                 |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.021               | 0.017               | 0.021                 |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.081               | 0.018               | 0.018                 |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.022               | 0.018               | 0.018                 |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.06                | 0.1                 | 0.7                   |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.9                 | 0.9                 | 0.3                   |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.007               | 0.004               | 0.007                 |
|                                 |                     |        |                     |       |                       |        | 0.005               | 0.005               | 0.008                 |

**METODO DE ANALISIS:**

- COLORIMETRIC DETERMINATION OF TRACES OF METALS – E.B. SANDELL, Second Edition, Volume 3.
- RECHERCHE ET DOSAGE DES ÉLÉMENTS TRACES (SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION, SPECTROGRAPHIE D'EMISSION, POLAROGRAPHIE) – MAURICE PINTA.
- Manual ANALYTICAL METHODS – Varian Australia Pty Ltd - Mulgrave Victoria - Australia – Publication N0 85-100009-00 – Revised March 1989.

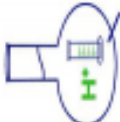
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas

**MC QUIMICALAB**  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP: 238338

*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUÍMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18190

Profesor principal del departamento de la escuela profesional de Química - UNSSAAC

Figura 23. Resultados de laboratorio del 2do muestreo



**MC QUIMICALAB**  
 De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gattierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### INFORME N° LO 0005-21-ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE PESCADO

**SOLICITA :** Bach. Luis Enrique Cárdenas Huamán

**TESIS :** "BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN LA *Salmo trutta* (TRUCHA) PROCEDENTES DE 3 DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE ESPINAR, CUSCO-2019"

**MUESTRA :** Trucha (3er Muestreo)

**PROVINCIA :** Espinar

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 17/08/20

**FECHA DE INFORME :** 11/01/21

**REGIÓN :** Cusco  
**FECHA DE PREPARACION DE MUESTRA:** 24/08/20

| PARAMETROS                      | A                    |       |                     |       |                       |        | B                    |                     |                       |
|---------------------------------|----------------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|--------|----------------------|---------------------|-----------------------|
|                                 | GRUPO 1(Rio Cañipia) |       | GRUPO 2(Rio Salado) |       | GRUPO 3(Rio Pichigua) |        | GRUPO 1(Rio Cañipia) | GRUPO 2(Rio Salado) | GRUPO 3(Rio Pichigua) |
| Longitud (cm)                   | 29.7                 | 29.5  | 36.2                | 37.5  | 44.8                  | 41.7   | 19.4                 | 24.7                | 23.5                  |
| Peso neto (gr)                  | 513.3                | 506.5 | 793.2               | 863.6 | 1362.2                | 1128.0 | 269.8                | 303.2               | 342.1                 |
| Peso pulpa para calicular (gr)  | 45.6                 | 36.2  | 44.8                | 41.2  | 45.0                  | 36.1   | 37.2                 | 35.3                | 36.6                  |
| Peso Ceniza (gr)                | 0.1                  | 0.0   | 0.7                 | 0.7   | 0.2                   | 0.9    | 0.0                  | 0.8                 | 0.6                   |
| Concentración de Plomo (mg/Kg)  | 0.027                | 0.184 | 0.154               | 0.012 | 0.104                 | 0.014  | 0.02                 | 0.027               | 0.001                 |
| Concentración de Cadmio (mg/Kg) | 0.016                | 0.015 | 0.017               | 0.019 | 0.021                 | 0.01   | 0.014                | 0.025               | 0.01                  |
|                                 |                      |       |                     |       |                       |        |                      |                     | 0.005                 |

### METODO DE ANALISIS:

- COLORIMETRIC DETERMINATION OF TRACES OF METALS – E.B. SANDELL, Second Edition, Volume 3.
- RECHERCHE ET DOSAGE DES ÉLEMENTS TRACES (SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION, SPECTROGRAPHIE D'EMISSION, POLAROGRAPHIE) – MAURICE PINTA.
- Manual ANALYTICAL METHODS – Varian Australia Pty Ltd - Mulgrave Victoria - Australia – Publication N0 85-100009-00 – Revised March 1989.

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas



**MC QUIMICALAB**  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gattierrez  
 ADMINISTRACION  
 CIP. 238338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18136

Profesor principal del departamento de la escuela profesional de Química - UNSAAC

Figura 24. Resultados de laboratorio del 3er muestreo

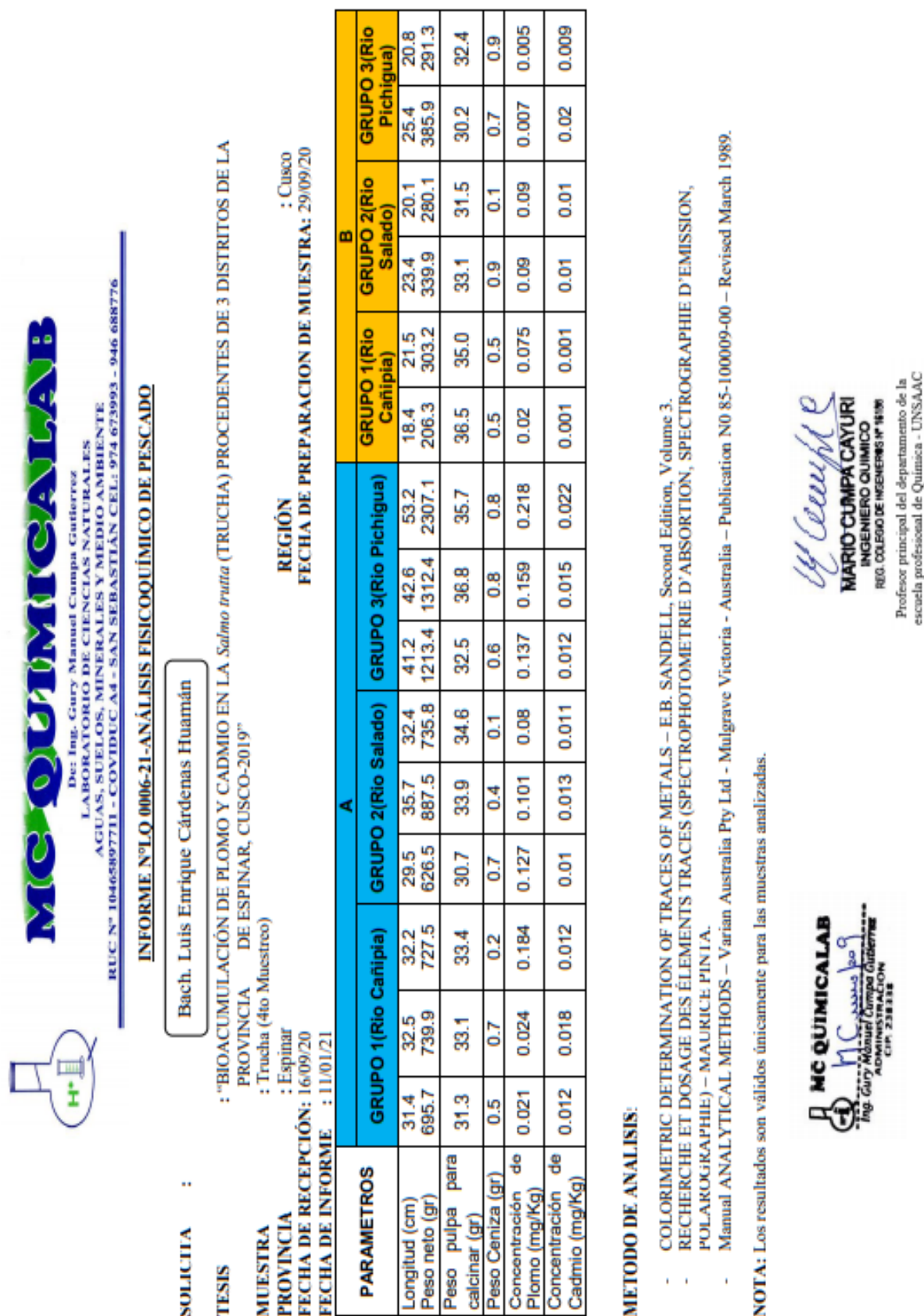


Figura 25. Resultados de laboratorio del 4to muestreo



## MC QUIMICALAB

Del Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10468897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### PLOMO

Cálculos: Lectura en el instrumento de absorción atómica

Muestra n°01 %T = 98.8

De la curva patrón se deduce una concentración de 0.21 ppm

Calculando la concentración de plomo tenemos:

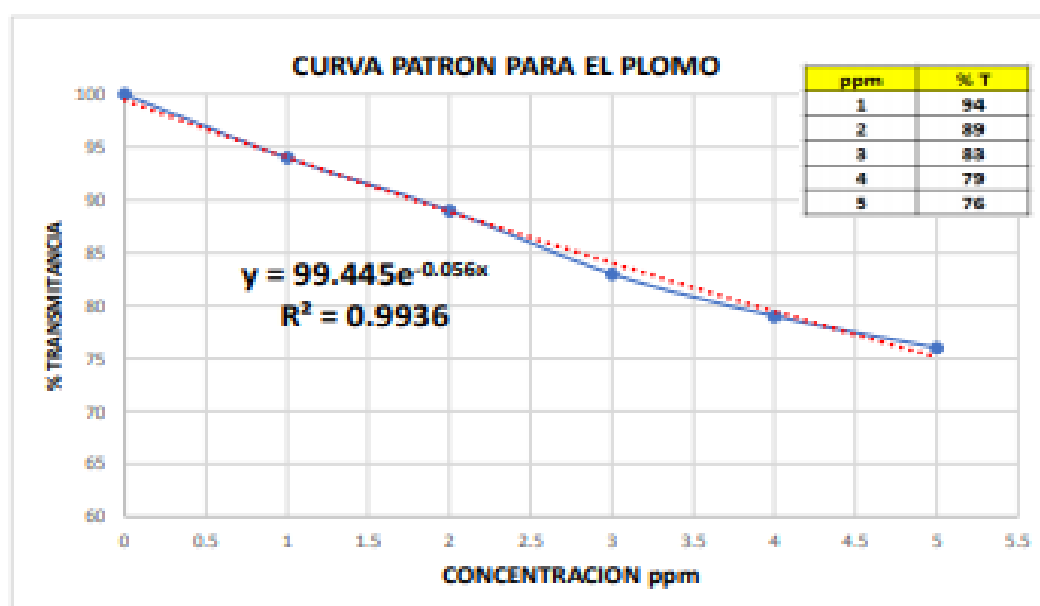
$$\begin{array}{rcl} 0.21 \text{ ppm} & \rightarrow & 1000 \text{ mL (por definición)} \\ x \text{ mg} & \leftarrow & 4 \text{ mL (Volumen solución ácida)} \\ & & x = 0.84 \times 10^{-3} \text{ mg} \end{array}$$

x proviene de la ceniza de la pulpa, por lo tanto, podemos decir:

$$\begin{array}{rcl} 0.84 \times 10^{-3} \text{ mg de } P_b \text{ se encuentra en} & \rightarrow & 55.3 \text{ g de pescado} \\ y \text{ contendrá} & \leftarrow & 1000 \text{ g de pescado} \end{array}$$

RESULTADO:

$$y = 0.015 \text{ mg/Kg de muestra de pescado}$$



MC QUIMICALAB  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACIÓN  
C.P. 200000

MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLGIO DE INGENIEROS N° 18188

Profesor principal del departamento de la  
escuela profesional de Química - UNSAAC

Figura 26. Curva patrón para el plomo



## MC QUIMICALAB

Del Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10468897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673893 - 946 688776

### CADMIO

Cálculos: Lectura en el instrumento de absorción atómica

Muestra n°01 %T = 97.8

De la curva patrón se deduce una concentración de 0.17 ppm

Calculando la concentración de plomo tenemos:

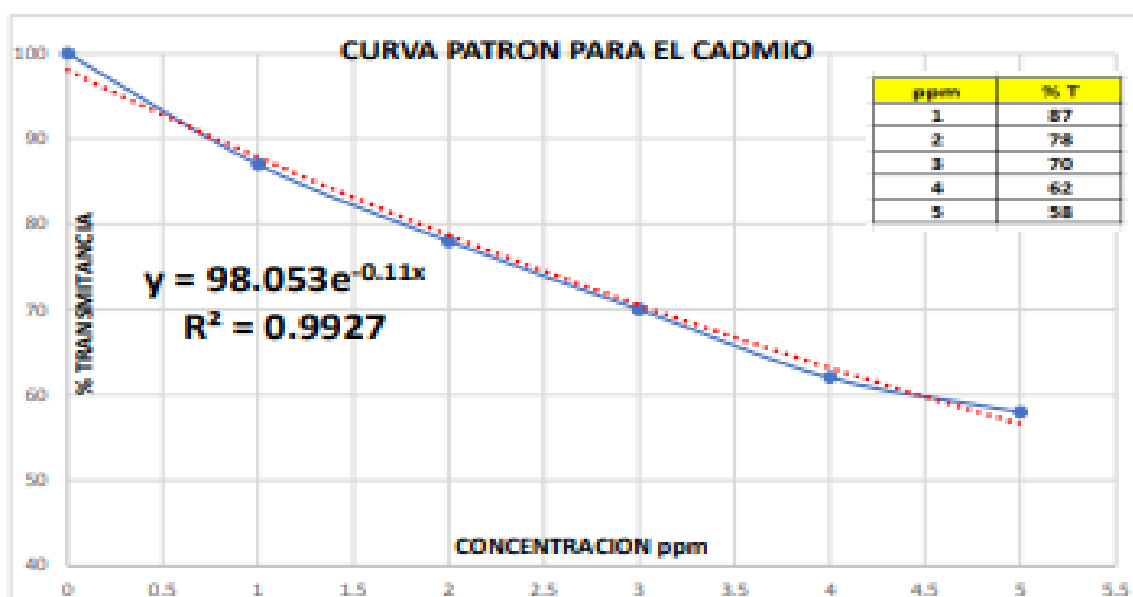
$$\begin{aligned} 0.17 \text{ ppm} &\rightarrow 1000 \text{ mL (por definición)} \\ x \text{ mg} &\leftarrow 4 \text{ mL (Volumen solución ácida)} \\ x &= 0.6636 \times 10^{-3} \text{ mg} \end{aligned}$$

x proviene de la ceniza de la pulpa, por lo tanto, podemos decir:

$$\begin{aligned} 0.66 \times 10^{-3} \text{ mg de } P_b \text{ se encuentra en} &\rightarrow 55.3 \text{ g de pescado} \\ y \text{ contendrá} &\leftarrow 1000 \text{ g de pescado} \end{aligned}$$

RESULTADO:

$$y = 0.012 \text{ mg/Kg de muestra de pescado}$$



MC QUIMICALAB  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238838

MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 14181  
Profesor principal del departamento de la  
escuela profesional de Química - UNSAAC

Figura 27. Curva patrón para el cadmio

## ANEXO F. Galería fotográfica



Figura 28. Peso de las muestras retiradas del río Salado, Pichigua y Cañipia



Figura 29. Muestras de trucha colocadas en el laboratorio Química Mac Lab, listas para ser rotuladas.



Figura 30. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del río Cañipia



Figura 31. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del río Salado



Figura 32. Muestras de individuos adultos y pequeños obtenidas del río Pichigua



Figura 33. Preparación de muestras, listas para ser introducidas en el bufle a 95°C



Figura 34. Cocción de las muestras semisecas a 350°C para la eliminación de impurezas



Figura 35. Dilución de las muestras en ácido clorhídrico HCl al 68%, listas para su medición y análisis en el equipo de espectrometría de absorción atómica

Dr. M.blgo. Luis Sánchez, tenga usted muy buenas tardes. En merito a las observaciones interpuestas por el Ing. Victor Beteta y la ing. Sandra Zavala, me es necesario informar que ya he levantado dichas observaciones en el presente documento en pdf. (ver página 71 y 83), con el propósito de que usted pueda firmar el acta de sustentación de tesis que se llevo a cabo el día jueves 13 de mayo a horas 05:00 pm.