



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**CALIDAD FISICOQUÍMICA, BACTERIOLÓGICA Y METALES
PESADOS DEL RÍO CAÑIPÍA PARA RIEGO DE VEGETALES Y
BEBIDA DE ANIMALES EN LA PROVINCIA DE ESPINAR –
CUSCO**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. GUIDO NESTOR CHULLO HUAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis queridos y amados padres:

Néstor Chullo Ccamercco y Lidia Huamani
Chullo quienes, con apoyo incondicional, amor
y confianza permitieron que logre culminar mi
carrera profesional.

A mis queridos hermanos: Leydi Vanessa,
Dany Ingris y Liroy Mijael, quienes confiaron
en mi desde el principio.

Guido Néstor Chullo Huamani



AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres y tristes. Estas palabras son para ustedes.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas y otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano y la persona que ahora soy.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a mi Facultad de Ciencias Biológicas, pero en especial a mi asesora por la orientación que me brindo y mis docentes universitarios por estos grandiosos 5 años de mi formación académica.

A mis hermanos: Vanessa que como hermana mayor supiste ponernos metas altas y decirnos siempre que las superaríamos, Dany quien me ayudo, y sin importar que estuviera haciendo me ayudaba y decía siempre que la familia lo es todo, Mijael que aun siendo el menor y más joven nos daba lecciones a todos, son con quienes compartí y debo una muy bonita infancia a ustedes hermanos por llenarme de alegría día tras día, por todos los consejos brindados.

A mis amigos y amigas, con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos de la Universidad, que se convierten en amigos de vida y aquellos que son y serán mis colegas, gracias por todo su apoyo incondicional.

Guido Néstor Chullo Huamani

...



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL 19

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 20

2.2 MARCO TEÓRICO 23

2.2.1 El agua..... 23

2.2.2 Calidad del agua..... 25

2.2.3 Agua para riego de vegetales 27

2.2.4 Agua como bebida de animales..... 27

2.2.5 Contaminación del agua..... 28

2.2.6 Indicadores de contaminación del agua 30

2.2.7 Efectos del agua contaminada en el cultivo de plantas 36

2.2.8 Efectos del agua contaminada en los animales 39

2.2.9 Efectos del agua contaminada en el ser humano..... 41

2.2.10 Normatividad Peruana vigente: Estándares de Calidad Ambiental (ECA)
para el agua 43



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE ESTUDIO.....	45
3.2	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	46
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.4	METODOLOGÍA	47
3.4.1	Determinación de los parámetros dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, hierro, conductividad eléctrica y pH	47
3.4.2	Determinación del contenido de metales plomo, arsénico y mercurio en muestras de agua	51
3.4.3	Determinación de la carga bacteriana de coliformes totales y termotolerantes en muestras de agua.....	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO	56
4.1.1	Dureza	56
4.1.2	Alcalinidad	60
4.1.3	Cloruros.....	63
4.1.4	Sulfatos.....	67
4.1.5	Nitratos.....	71
4.1.6	Hierro	74
4.1.7	Conductividad	78
4.1.8	pH.....	81
4.2	CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO	85
4.2.1	Plomo	85
4.2.2	Arsénico	90
4.2.3	Mercurio.....	93
4.3	CARGA BACTERIANA DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO.....	96



4.3.1	Coliformes totales	96
4.3.2	Coliformes termotolerantes	100
V.	CONCLUSIONES.....	105
VI.	RECOMENDACIONES.....	106
VII.	REFERENCIAS	107
	ANEXOS.....	121

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 31 de agosto de 2021

Área: Ciencias Biomédicas.

Línea: Diagnóstico y Epidemiología.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de zonas de muestreo de agua en el río Cañipía - Espinar - Cusco.....	46
Figura 2. Valores de dureza en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	57
Figura 3. Prueba Tukey de dureza de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	58
Figura 4. Valores de alcalinidad en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	61
Figura 5. Prueba Tukey de alcalinidad de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	62
Figura 6. Valores de Cloruros en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	64
Figura 7. Prueba Tukey de cloruros de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	65
Figura 8. Valores de Sulfatos en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	69
Figura 9. Prueba Tukey de sulfatos de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	69
Figura 10. Valores de Nitratos en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	72
Figura 11. Prueba Tukey de nitratos de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre	



2019.....	73
Figura 12. Valores de Hierro en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	75
Figura 13. Prueba Tukey de hierro de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	76
Figura 14. Valores de conductividad en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	79
Figura 15. Prueba Tukey de conductividad de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	80
Figura 16. Valores de pH en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	83
Figura 17. Prueba Tukey del pH de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	83
Figura 18. Valores de plomo en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.	87
Figura 19. Prueba Tukey de concentraciones en plomo de las aguas del río Cañipía, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.....	87
Figura 20. Valores de arsénico en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019. .	91
Figura 21. Prueba Tukey de concentraciones en arsénico de las aguas del río Cañipía, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.	92
Figura 22. Valores de mercurio en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.....	94



Figura 23. Carga bacteriana de coliformes totales en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	98
Figura 24. Prueba Tukey de coliformes totales de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	99
Figura 25. Carga bacteriana de coliformes termotolerantes en las aguas del río Cañipía según normas ECA de aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	102
Figura 26. Prueba Tukey de coliformes termotolerantes de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	102
Figura 27. Determinación de la dureza en muestras de aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	126
Figura 28. Determinación de la alcalinidad en muestras de aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	126
Figura 29. Determinación de cloruros en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	127
Figura 30. Determinación de hierro en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	127
Figura 31. Determinación de nitratos en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	128
Figura 32. Determinación de sulfatos en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	128
Figura 33. Determinación de conductividad en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	128
Figura 34. Determinación del pH en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio	



de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre
2019..... 129

Figura 35. Determinación de la coliformes totales y termotolerantes en muestras de
las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB
– UNA Puno, setiembre – noviembre 2019. 129



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores ECA para aguas en las categorías 1 – población y recreacional y categoría 3 - riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM).	44
Tabla 2. Distribución de muestras por zonas y meses de muestreo.	47
Tabla 3. Dureza (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	56
Tabla 4. Alcalinidad (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	60
Tabla 5. Cloruros (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	64
Tabla 6. Sulfatos (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	68
Tabla 7. Nitratos (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	72
Tabla 8. Hierro (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	75
Tabla 9. Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	78
Tabla 10. pH en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	82
Tabla 11. Concentraciones de plomo (mg/l) en aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad, UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.	86



Tabla 12. Concentraciones de arsénico (mg/l) en aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019..	90
Tabla 13. Concentraciones de Mercurio (mg/l) en tres zonas de las aguas del río Cañipía, Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.	94
Tabla 14. Carga bacteriana de coliformes totales (NMP/100 ml) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	97
Tabla 15. Carga bacteriana de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	101
Tabla 16. Análisis de varianza de los valores de dureza de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	121
Tabla 17. Análisis de varianza de los valores de alcalinidad de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	121
Tabla 18. Análisis de varianza de los valores de cloruros de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	122
Tabla 19. Análisis de varianza de los valores de sulfatos de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	122
Tabla 20. Pruebas de Kruskall Wallis y Tukey de los valores de nitratos de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	123
Tabla 21. Análisis de varianza de los valores de hierro de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	123
Tabla 22. Análisis de varianza de los valores de conductividad de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	124
Tabla 23. Análisis de varianza de los valores de pH de las aguas del río Cañipía en	



seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.....	124
Tabla 24. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de plomo de las aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad UCSM- Arequipa, setiembre – noviembre 2019.....	124
Tabla 25. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de arsénico de las aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.....	125
Tabla 26. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de coliformes totales de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	125
Tabla 27. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de coliformes termotolerantes de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.	125



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°C: grados centígrados

μS/cm: micro Siemens por centímetro

Cat. 1, A1: Estándar de calidad ambiental de agua, categoría 1, subcategoría A1

Cat. 3. D1: Estándar de calidad ambiental de agua, categoría 3, subcategoría D1

Cat. 3. D2: Estándar de calidad ambiental de agua, categoría 3, subcategoría D2

DE: desviación estándar

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

et al.: y colaboradores

ICP-OES: plasma de acoplamiento inductivo a espectrofotómetro de emisión óptica

mg/l: miligramos por litro

NMP/100ml: número más probable por 100 mililitros de agua

P: probabilidad

pH: potencial de hidrogeniones

Prom: promedio



RESUMEN

El río Cañipía ubicado en la provincia de Espinar – Cusco, contiene agua que son utilizadas para actividades agropecuarias, donde las características fisicoquímicas, bacteriológicas y metales pesados, son una preocupación de la población y sus autoridades. En esta investigación se determinaron los parámetros del agua que son dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, hierro, conductividad eléctrica, pH, plomo, arsénico, mercurio, coliformes totales y termotolerantes del río Cañipía con fines de riego de vegetales y bebida de animales. Las muestras de agua se colectaron según la normatividad vigente, y analizadas mediante el método de la titulometría que se determinó la dureza y alcalinidad, el método Mohr para cloruros, espectrofotométrico para sulfatos, colorimétrico para nitratos y hierro, electrométrico para conductividad y pH, el método de plasma de acoplamiento inductivo a espectrofotómetro de emisión óptica (ICP-OES) para metales pesados y número más probable para coliformes totales y termotolerantes, los muestreos se realizaron con tres repeticiones y la evaluación de metales pesados con dos repeticiones. Los resultados del agua en el río Cañipía fueron dureza entre 231 y 404.33 mg/l, alcalinidad entre 433.67 y 575.33 mg/l, cloruros entre 326 y 526.67 mg/l, sulfatos de 136 y 326.67 mg/l, nitratos entre 1 y 8.33 mg/l, hierro entre 0.02 y 0.15 mg/l, conductividad entre 304 y 1094.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH entre 7.67 y 8.1, plomo entre 0.009 y 0.013 mg/l, arsénico entre 0.0076 y 0.0151 mg/l, mercurio en todas las muestras 0.00041 mg/l, coliformes totales entre 22.33 y 467.67 NMP/100ml y coliformes termotolerantes entre 3 y 9.67 NMP/100ml. Se concluye que el agua del río Cañipía, no cumple con las normas ECA para agua categoría 3, en razón de que los parámetros alcalinidad, cloruros, sulfatos, conductividad, pH, plomo, arsénico, coliformes totales y termotolerantes superan las normas establecidas para el riego de vegetales y bebida de animales.

Palabras clave: Agua, agua de bebida, calidad del agua, riego agrícola.



ABSTRACT

The Cañipía River located in the Espinar - Cusco province contains water that is used for agricultural activities, where the physicochemical, bacteriological and heavy metal characteristics are a concern of the population and its authorities. In this research, the water parameters that are hardness, alkalinity, chlorides, sulfates, nitrates, iron, electrical conductivity, pH, lead, arsenic, mercury, total and thermotolerant coliforms of the Cañipía River were determined for the purposes of irrigation of vegetables and drink of animals. The water samples were collected according to current regulations, and analyzed by the titration method that determined the hardness and alkalinity, the Mohr method for chlorides, spectrophotometric for sulfates, colorimetric for nitrates and iron, electrometric for conductivity and pH, the inductive coupling plasma method to optical emission spectrophotometer (ICP-OES) for heavy metals and most probable number for total and thermotolerant coliforms, the samplings were carried out with three repetitions and the evaluation of heavy metals with two repetitions. The results of the water in the Cañipía River were hardness between 231 and 404.33 mg / l, alkalinity between 433.67 and 575.33 mg / l, chlorides between 326 and 526.67 mg / l, sulfates between 136 and 326.67 mg / l, nitrates between 1 and 8.33 mg / l, iron between 0.02 and 0.15 mg / l, conductivity between 304 and 1094.33 μ S / cm, pH between 7.67 and 8.1, lead between 0.009 and 0.013 mg / l, arsenic between 0.0076 and 0.0151 mg / l, mercury in all samples 0.00041 mg / l, total coliforms between 22.33 and 467.67 MPN / 100ml and thermotolerant coliforms between 3 and 9.67 MPN / 100ml. It is concluded that the Cañipía river water does not comply with the ECA standards for category 3 water, because the parameters alkalinity, chlorides, sulfates, conductivity, pH, lead, arsenic, total coliforms and thermotolerant exceed the standards established for the watering vegetables and drinking animals.

Keywords: Water, drinking water, water quality, agricultural irrigation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de las actividades agrícolas e industriales y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico, para determinar su calidad, miden y analizan las características del agua, como la temperatura, el contenido de minerales disueltos y la cantidad de bacterias, las características seleccionadas se comparan con normas de calidad del agua o estándares según cada país lo establezca, para decidir si el agua es adecuada y esta será utilizada para muchas finalidades y en cada caso se requiere una calidad particular.

En la región Cusco, provincia de Espinar, encontramos el río Cañipía, y a su alrededor comunidades campesinas dedicadas a la producción agropecuaria, el riego de vegetales y bebidas de animales e inclusive para el consumo humano, pero que los últimos años sus habitantes vieron afectadas las cosechas de los cultivos disminuyendo el crecimiento de las plantas de alfalfa y trébol, asimismo se presentó la disminución de la producción de tubérculos en papa debido a la proximidad de un río con aguas contaminadas por presencia de químicos o metales pesados en aguas destinadas a riego; mientras tanto, en las actividades pecuarias se ha observado que los animales sufren de problemas gastrointestinales, procesos abortivos y disminución de la producción láctea, al consumir los animales de la zona estas aguas contaminadas, debido a esto, los pobladores de la zona manifiestan que la causa sería el agua del río Cañipía, que estaría siendo contaminada y esta misma afecta especialmente las comunidades campesinas de Húarca y Huisa, las cuales se ubican ambas al margen del río Cañipía muy cerca de la minera Antapacay.



En los ríos, la calidad de sus aguas es indispensable para el desarrollo de la vida (agricultura y ganadería) y de las actividades humanas, donde el agua debe ser consumida sin restricciones y su purificación no represente riesgo para la salud humana. Las funciones del agua en los seres vivos garantizan llevar a cabo los procesos biológicos necesarios para el desarrollo de la vida, en las plantas es tan importante que un cuerpo vegetal está compuesto de ella en un 70 – 90%, las plantas absorben el agua que procede de la lluvia, principalmente, aunque puede tener su origen en el regadío y es imprescindible para sostener la biodiversidad, ya que su escasez es sinónimo de pérdida de especies y ecosistemas.

El río Cañipía, fue catalogado en la categoría 1 – población y recreacional (A1) y categoría 3 - riego de vegetales (D1) y bebida de animales (D2), y está enmarcado en el Decreto Supremo No. 023-2009-MINAM, por tanto los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos fueron contrastados con la Norma ECA para agua Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM, para deslindar la aptitud para el uso por la población y las actividades agropecuarias en las comunidades asentadas en alrededores del río Cañipía.

Los cuerpos de agua como los ríos, se convierten en principales fuentes hídricas para desarrollar actividades agropecuarias, las aguas del río Cañipía no son la excepción, pero actualmente como se observa a nivel del territorio peruano, la presencia de la minera Antapacay, origina desconfianza en los habitantes ribereños, razón por la cual se presenta la actual investigación, con la finalidad de dar a conocer inclusive a los pobladores, de los resultados obtenidos para cumplir como facultad y universidad de proyectarnos hacia la sociedad.

En tal sentido, los resultados que superaron los valores recomendados en la norma vigente, no son aptos para el riego de vegetales, bebida de animales y actividades



poblacionales - recreativas. Por todo lo expuesto se realizó esta investigación con los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad fisicoquímica, bacteriológica y metales pesados en las aguas del río Cañipía para riego de vegetales y bebida de animales en la provincia de Espinar - Cusco.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros fisicoquímicos de dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, hierro, conductividad eléctrica y pH en aguas del río Cañipía para riego de vegetales y bebida de animales en la provincia de Espinar - Cusco.
- Determinar la concentración de los metales pesados plomo, arsénico y mercurio en aguas del río Cañipía para riego de vegetales y bebida de animales en la provincia de Espinar - Cusco.
- Determinar la carga bacteriana de coliformes totales y termotolerantes en aguas del río Cañipía para riego de vegetales y bebida de animales en la provincia de Espinar - Cusco.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Mamani (2019), en las fuentes de agua de la comunidad de Suches - Caracoto (Puno – Perú) determinó 7.47 a 8.23 de pH, 178.33 – 953.33 mg/l de dureza, 216.67 – 1284 μ S/cm de conductividad, 56.67 y 240.00 mg/l de bicarbonatos, 21.69 – 500.71 mg/l de cloruros, 93.00 y 305.33 mg/l de sulfatos, 1.53 – 25 mg/l de nitratos, 0.020 – 0.044 mg/l de arsénico, 0.044 – 0.089 mg/l de plomo, 29 – 26.67 NMP/100 ml de coliformes totales y 3 – 60 NMP/100 ml de coliformes termotolerantes; por otro lado, Gamboa (2018), manifiesta que el agua superficial del centro poblado de Sacsamarca (Ayacucho – Perú), tuvo un pH de 7 y se encuentra entre los rangos establecidos por sus respectivos parámetros (ECA o LMP), el nitrato entre 1 y 1.8 mg/l, en algunas zonas fueron menores que 0.05 mg/l, los valores de Mg oscilaron entre 0.51 y 7.12 mg/l; Pacori (2018), en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), reportó en sus fuentes hídricas pH de 7.40 - 7.54, dureza total 260.05 - 349.06 mg/l, alcalinidad de 179.72 - 241.67 mg/l, cloruros de 60.62 - 96.76 mg/l, sulfatos 58.85 - 71.54 mg/l, conductividad eléctrica de 5.56 - 760 μ S/cm, coliformes totales de 0 - 45.3 UFC/100 ml y coliformes termotolerantes de 0 – 2 UFC/100 ml; en ese mismo sentido, Medina *et al.* (2016), analizaron la calidad del agua para riego y suelos agrícolas del municipio de Tuxcacuesco, y determinaron valores de pH que oscilaron de 7.1 a 8.5, aguas magnésicas – bicarbonatadas y conductividad eléctrica con bajo contenido de sodio; en el estudio de Flores (2016), reporta concentraciones de mercurio que oscilan de 0.0003 y 0.0004 mg/l en ocho puntos de muestreo en el agua del río Grande en Cajamarca (Perú).

Forero (2015), indica que en la subcuenca del río Soacha (Cundinamarca –



Colombia), el pH osciló entre 6.57 y 7.65, y se encuentran dentro del rango permitido del Decreto 1594 que recomienda de 5.0 y 9.0 en ese país; en la investigación de Chata (2015), determinó concentraciones de mercurio en agua del río Coata de 0.00020 mg/l, y no superan los ECA para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo establecidos por el Ministerio del Ambiente Peruano; Samillán (2014), evaluó las aguas del río Reque (Chiclayo – Perú) y registró pH entre 7.3 y 7.7, ubicándose en la categoría 4 de los ECA de agua, los cloruros entre 30 y 70 mg/l y el Mg entre 60 – 120 mg/l, los últimos se encuentran dentro de los valores permitidos, Ramírez & Benítez (2013), reportan la tolerancia y reducción de cromo (VI) por *Bacillus cereus* B1, y las aislaron desde aguas residuales de una curtiembre, presentaron tolerancia a 8000 ppm y removieron 100% de contaminante al cabo de 96 horas, a concentraciones iniciales de cromo fue de 10, 30 y 50 ppm de Cr⁺⁶ en medio LB; por otro lado Robles *et al.* (2013), en un acuífero de Tepalcingo (México), obtuvieron resultados de turbidez entre 0.14 – 0.77 NTU, pH entre 6.0 – 7.6, sólidos disueltos totales de 297 – 1198 mg/l, sulfatos de 49.8 – 740 mg/l, dureza total de 145 – 736 mg/l, cloruros de 3.8 – 30.7 mg/l, no siendo adecuados como fuente de suministro de agua potable, por otra parte Gil *et al.* (2013), determinaron en el Guarapiche (Venezuela), mesófilos, coliformes totales y fecales y los niveles de nitritos y nitratos, que fueron superiores a la norma vigente del país, esto debido a la cercanía a la planta de tratamiento del agua potable.

En la investigación de Huaranga *et al.* (2012), determinaron en agua de ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), cifras de hierro con 557.500 ppm, plomo con 100.375 ppm, cadmio con 4.550 ppm, cobre con 6.900 ppm, zinc con 262.900 ppm y arsénico con 9.000 ppm; Romeu *et al.* (2012), en el río Luyanó (La Habana – Cuba), presentaron cargas bacterianas de *E. coli* y coliformes termotolerantes entre 1.1×10^4 – 2.9×10^5 y 1.2×10^5 – 5.7×10^6 UFC/100 ml respectivamente, no siendo adecuadas para



la realización de actividades recreativas y riego agrícola, Sarabia *et al.* (2011), reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), As 0.003 mg/l, Cu 0.01 mg/l, Mn 0.01 mg/l, Pb 0.01 mg/l, Fe 0.02 mg/l, coliformes fecales 964.05 NMP/100 ml, coliformes totales 1085.70 NMP/100 ml, sulfatos 124.01 mg/l, nitritos 0.009 mg/l, cloruros 113.24 mg/l y para uso agrícola los sólidos disueltos totales 588.10 mg/l, nitratos 14.50 mg/l y conductividad eléctrica 1.16 dS/cm; un informe de la DIGESA (2011), en el monitoreo del río Ramis y afluentes (Puno – Perú), reportó valores de mercurio que reportaban entre 3.82 y 4.36 veces mayores a los emanados en los ECA para agua categoría 4.

La DIGESA & SEDAPAL (2011), determinaron en el río Rímac, en las provincias de Lima y Huarochirí las características fisicoquímicas de temperatura de 21.1 °C, un pH de 8.85, la conductividad eléctrica de 346 μ S/cm, la turbiedad de 4.71 UNT, los fosfatos de 0.082 mg/l, nitratos de 0.527 mg/l, cloruros de 18.4 mg/l, DQO de 62 mg/l, en cuanto a los valores de coliformes totales fue de 49000 NMP/100 ml y coliformes fecales de 23000 NMP/100 ml, Vilca (2011), reporta los parámetros físicos y químicos del agua para consumo humano de la localidad de Vilque (Puno), en el manantial obtuvo un pH de 6.81, la conductividad de 185 μ S/cm, los sólidos disueltos totales de 85.93 mg/l, la dureza de 187 mg/l, los cloruros de 8.33 mg/l, Nieves *et al.* (2011), indican que la acidez de un suelo se debe a los ácidos minerales, orgánicos y sales que sufren hidrólisis ácida, así como al sistema carbonato, como principal regulador de pH del agua, los bajos valores de pH se deben a la presencia de mucha vegetación y la presencia de estiércol de vacunos, gracias a los ácidos débiles orgánicos de la descomposición de materia orgánica, Beita (2008), evaluó el río Rincón en la península de Osa (Costa Rica) y presentaron una temperatura de 26.8 °C, oxígeno disuelto de 7.7 mg O₂/l, dureza moderadamente suave, pH de 6.62 y 8.17, la conductividad de 161.8 μ S/cm, bicarbonato de 54.3 mg HCO₃⁻/l a



160.8 mg HCO_3^-/l y Álvarez *et al.* (2008), en el río Amajac (México), determinaron su contaminación ya que presentó Ni de 0.004 – 0.016 mg/l, Cu de 0.002 – 0.009 mg/l, Zn de 0.004 – 0.009 mg/l, Mn de 0.003 – 0.007 mg/l, Pb de 0.002 – 0.008 mg/l, Cd de 0.002 – 0.008 mg/l, nitrógeno total de 6.4 – 14.8 mg/l, fósforo total 0.2 – 13.6 mg/l, Cl de 15.2 – 127.3 mg/l, SO_4 de 11.8 – 53.1 mg/l, CO_3 de 0.00 – 30.3 mg/l y HCO_3 de 231.8 – 1122.4 mg/l.

Fuentes *et al.* (2008), reportan que el río Manzanares (Sucre – Venezuela) posee una temperatura de 18.3 – 30.0 °C, un pH de 6.04 – 8.88, oxígeno disuelto de 1.7 – 7.0 mg/l, compuestos nitrogenados de 11 – 188 $\mu\text{mol}/l$ y fosforados de nd – 22 $\mu\text{mol}/l$, silicatos de 8 – 260 $\mu\text{mol}/l$ y coliformes fecales de 1 – 2.4×10^7 NMP/100 ml, mientras que Gonzáles *et al.* (2007), diagnosticaron 35 fuentes de agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), los resultados físico – químicos fueron la conductividad eléctrica igual a 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la dureza total de 700 mg/l, los cloruros de 350 mg/l, los sulfatos de 358 mg/l y un pH de 7.5, Rivera *et al.* (2006), en Puebla (México) diagnosticaron enterobacterias presentes en el río Alseseca, donde el 91% fueron Enterobacterias, *E. coli* la más frecuente (44%) y *Klebsiella* sp, *Serratia* sp, *Enterobacter* sp, *Providencia* sp, *Cedacea* sp y *Citrobacter* sp y según Rolim (2000), afirma que los valores altos de pH se atribuyen a la presencia de pozas de oxidación y es más alto ante la intensidad luminosa, debido a que los organismos fotosintéticos secuestran el CO_2 para la reacción de fotosíntesis, pudiendo alcanzar valores cercanos a 9, partiendo de 7 – 7.5 .

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 El agua

Es un compuesto constituyente del planeta en que vivimos y de la materia viva,



conformando entre el 60 y 70 % del ser humano, constituye las tres cuartas partes de la superficie terrestre y esencial para toda forma de vida, casi nunca se encuentra pura, ya que siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión. Es importante para la naturaleza ya que reside en la totalidad de los procesos bioquímicos, es un líquido constituido por dos sustancias gaseosas, un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno (Asano & Levine, 1998).

A nivel ambiental, el agua regula el clima del mundo, es un solvente extraordinario, ideal para los procesos metabólicos, posee alta capacidad calorífica y se expande cuando se congela, los océanos constituyen el 97.5 % del agua en el planeta y sólo el 2.5% es agua dulce, los glaciares, la nieve y el hielo conforman el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua superficial constituye el 1%, de los cuales en lagos se encuentra el 52% y en humedales el 38% (Fernández, 2012).

Propiedades del agua

Fernández (2012), menciona las siguientes: poseen tres fases, sólida, líquida y gaseosa, según la temperatura y presión natural en la tierra; posee gran capacidad calorífica, absorbiendo calor sin aumentar su temperatura, logrando absorber una caloría para elevar la temperatura en 1 °C, lo que impide los cambios súbitos de la temperatura en los cuerpos de agua, de esta manera se protege a los organismos acuáticos de un shock por variación de temperatura; el agua posee la propiedad de expandirse a bajas temperaturas o de congelamiento (4 °C), por lo que el hielo flota sobre el agua; al poseer una alta constante dieléctrica, origina la disolución de sustancias iónicas y favorece su ionización; posee un alto calor latente de fusión, estabilizando así la temperatura de los cuerpos de agua; posee un alto calor de vaporización, por tanto es útil en la transferencia del calor del vapor por los cuerpos de agua y el vapor atmosférico; y posee una alta tensión superficial, es decir que el agua es pegajosa y elástica, asimismo es responsable de la



acción capilar, o de que el agua pueda moverse, que se observa en las raíces de plantas.

- **Agua superficial**

Son todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo, pues se trata de aguas que discurren por la superficie de las tierras y que, de forma general, proceden de las precipitaciones en cada cuenca (Dávila, 2011). En cuanto los lugares que presentan fuentes de agua superficial poseen una mayor variabilidad de la calidad de agua, debido a que están expuestos a los factores climáticos naturales como sequías, lluvias, derrames de sustancias tóxicas, entre otros (Fernández *et al.*, 2010).

- **Agua subterránea**

Es aquella parte del agua existentes bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje las que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Ordoñez, 2011), esta agua principalmente para abastecimiento doméstico, uso industrial y riego de vegetales en el mundo, a partir del conocimiento de la composición del agua, es decir, la identificación de las sustancias en ella, es definida como la posibilidad de utilizar agua en casos concretos (Vélez *et al.*, 2011), además las aguas subterráneas forman grandes depósitos en muchos lugares, a veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías, en otros lugares retornan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales (Flores, 2009).

2.2.2 Calidad del agua

En un inicio a la “Calidad de Agua” lo relacionaban solo con el uso del agua para el consumo humano, el desarrollo y la expansión de una población, llegando a varias aplicaciones del agua, en la posterioridad hasta la actualidad se entendió que es muy importante conocer las características organolépticas del agua para el consumo humano



así también, el uso industrial, el riego de cultivos, la fabricación de productos farmacéuticos, la expedición de licencias ambientales, entre otros, en tal sentido cada fuente de agua debe tener la calidad necesaria para cumplir los parámetros de un uso en particular (SENAMHI, 2007).

Los criterios que se tienen en sobre el nivel de calidad para agua potable han sido desarrollados tomando en cuenta el empleo de agua de primer uso o sin contaminantes tóxicos sintéticos. En los últimos años, se aumentó la preocupación por la producción, uso y destino final de cuantiosos productos químicos disponibles en la agricultura, industria, ganadería, medicina, etc. (Fernández, 2012), y que, para satisfacer estas necesidades, la calidad del agua utilizada no debe representar ningún riesgo para la salud humana. La calidad del agua es un término usado para expresar apropiadamente el sustento del uso del agua para varios procesos (Martínez, *et al.*, 2009) y en la naturaleza afecta la condición de los ecosistemas afectando la vida de los seres vivos. (Gil *et al.*, 2018)

La evaluación de calidad del agua nos permite realizar acciones como el control y la mitigación del mismo, garantizando que el suministro de agua sea segura, una de las herramienta son los índices de calidad de agua (Torres *et al.*, 2009), según nivel el deterioro del recurso hídrico también está vinculado principalmente con vertimientos de aguas residuales industriales, domésticas, producción agrícola y ganadera, así como actividades de transporte terrestre, fluvial, marítimo de sustancias peligrosas o petróleo, aguas de extracción minera y residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios (IDEAM, 2001).

Actualmente la calidad de agua es de un valor esencial para la salud, para el crecimiento económico y también se relaciona con su cercanía al estado natural (Sánchez, 2015), refiriéndose a las características físicas, químicas y biológicas utilizadas para



verificar la apta condición del agua en relación con los requisitos de especies bióticas y de cualquier necesidad humana o propósito (MINAM, 2010).

2.2.3 Agua para riego de vegetales

El agua es un elemento único e indispensable para la agricultura, debido a que las plantas la requieren para su crecimiento y desarrollo, con aplicación oportuna, calidad y cantidad (FAO, 2003). La necesidad de agua de riego, está sujeta a la cantidad de agua que debe ser usada en a la unidad de riego, para que los cultivos puedan absorberla adecuadamente y con facilidad, según sus requerimientos, asegurando su absorción y almacenamiento en la zona radicular. Además, se considera la eficiencia de aplicación de agua de riego y las necesidades adicionales por concepto de lavado de sales, si fuera necesario. También si la planta está recibiendo agua a mediante de otras fuentes, como pueden ser la lluvia, agua almacenada en el suelo o de napas freáticas, la necesidad de riego puede considerarse menor que la de evapotranspiración (Rosales & Flores, 2017).

2.2.4 Agua como bebida de animales

En la producción de animales, el agua es un alimento indispensable y único, también es el elemento fundamental para la vida, que constituye la mayor parte del peso de los vegetales y animales, formando gran parte de sus procesos metabólicos. Su abundancia, hace que no le prestemos la atención necesaria tanto desde el punto de vista de su utilización como de su conservación. Los animales en general logran ingresar el agua a su organismo por lo menos mediante 3 vías como; la ingestión a través de los alimentos, la ingestión voluntaria, y el agua metabólica, realizada a través de reacciones químicas en el organismo del animal, siendo la ingestión voluntaria la que mayor influencia tiene en cuanto a incorporación de agua y para su normal desarrollo metabólico del animal (Sager, 2001).



Tanto el crecimiento y mantenimiento del animal como su productividad (ganancias de peso y producción de leche) dependen en gran medida del consumo de alimentos. Teóricamente, los animales consumen hasta que satisfacen sus requerimientos nutricionales, pero el consumo total de ellos está limitado por factores físicos y biológicos tanto del animal como de la planta, sumado a la afectación de las plantas y los animales, debidas a las estrategias de manejo que afectan los humanos sobre las pasturas (Gordon & Prins, 2008).

Los factores que determinan la calidad del agua, vinculados con las necesidades de los animales para la producción y la salud, permiten evaluar el recurso agua con fines productivos. Los criterios que habitualmente se tienen en cuenta para la determinación de la calidad del agua de bebida son sus características fisicoquímicas y organolépticas, la presencia de compuestos tóxicos, el exceso de minerales y la presencia de bacterias patógenas (NRC, 2001). El ganado bovino es capaz de adaptarse al consumo de diferentes tipos de agua, sin embargo, las alteraciones en la calidad producidas por una excesiva concentración de sales o elementos químicos, producen disminución en la producción e impacto en la salud del ganado, con las consecuentes pérdidas económicas para el productor (Grant, 1996).

2.2.5 Contaminación del agua

Las características de agua son alteradas por la introducción de materias o formas de energía que, de modo directo o indirecto perjudican su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Córdova, 2017).



Es cuando el agua sufre una modificación, generalmente llega ser provocada por el ser humano, volviéndola impropia hasta peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y otras actividades recreativas (Peñaloza, 2012). También, es la alteración de sus características naturales que la hacen parcial o totalmente inadecuada para su normal consumo en los animales y las plantas. El agua ha sufrido cambios en su composición y color, producto de la cantidad de sustancias disueltas que llega a ella como los desechos de los hogares, petróleo, detergentes, pesticidas y otros, llegando a variar su sabor, su densidad, entre otras características. Existen diferentes contaminantes del agua, entre ellas los residuos provenientes de las industrias y del agua residual doméstica.

La contaminación del agua es uno de los problemas más graves con los que se enfrenta la civilización actual; las lluvias ácidas, los vertidos de aguas residuales, los productos químicos agrícolas, los metales pesados, entre otros, estos se incorporan al caudal de agua de los ríos, constituyéndose en un problema grave, como en los países industrializados por la cantidad y la diversidad de agentes contaminantes y aún peor en los países en desarrollo debido a la imposibilidad de hacer frente al coste económico que suponen las tecnologías para la depuración de las aguas y la regeneración de las aguas residuales (Peñaloza, 2012).

El término calidad del agua es relativo, se refiere a la composición del agua que puede ser afectada por el ingreso de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas, por lo que la composición química del agua variarán dependiendo si se trata de agua para consumo humano, o es para uso agrícola o industrial, para recreación, o para el mantenimiento de la calidad ambiental (Asano, 1998), los valores referenciales a poseer las fuentes de agua son normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y los gobiernos



nacionales, los cuales pueden variar ligeramente de uno a otro (Campos, 1990).

2.2.6 Indicadores de contaminación del agua

- Indicadores químicos

Los indicadores de contaminación química se relacionan con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, así como: la dureza, la alcalinidad, los fluoruros, el oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, pH, amoníaco, sulfuros, hierro, manganeso, metales pesados, dióxido de carbono, DBO y DQO (Córdova, 2017). La contaminación fecal de un ecosistema acuáticos incorpora gran número de microorganismos, asimismo ingresa material orgánico de origen fecal, por lo que es recomendable el uso de indicadores microbiológicos y el ingreso de materia orgánica se mide mediante indicadores químicos (Rolim, 2000), entre ellos materia orgánica, cloruros, nitratos, nitritos y amonio (Crites & Tchobanoglous, 2000), que a continuación se describen brevemente:

Materia orgánica. Es el más importante elemento de la contaminación fecal, su presencia o ausencia representarían signos de contaminación, esta se determina con los parámetros DBO y DQO (Miranda, 2000).

Cloruros. Es un indicador debido a que se presentan en la orina del hombre y animales, también a causa de la sobre explotación de acuíferos e intrusiones de aguas marinas (Miranda, 2000).

Sulfatos. Tienen su origen al contacto con terrenos ricos en yesos, con aguas residuales industriales, su contenido no presenta problemas de potabilidad, pero cuando supera los 300 mg/l causan trastornos gastrointestinales en niños (Crites & Tchobanoglous, 2000).



Amonio. Es el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal en las aguas, pues el cuerpo del humano lo expulsa en esta forma, indicando contaminación reciente (Miranda, 2000).

Nitritos. Constituye un paso intermedio en el proceso de oxidación, indican contaminación fecal a mediano y corto plazo, no pasa mucho tiempo desde el origen de la contaminación hasta la aparición de nitritos (Miranda, 2000).

Nitratos. Se le utiliza en el ámbito agrícola, donde pueden ser encontrados sobre todo en aguas subterráneas en altas concentraciones, pero son indicadores de contaminación fecal a largo plazo, además por ser el estado más oxidado del amonio, por lo que indica contaminación de larga data (Miranda, 2000).

Metales. Son micro contaminantes inorgánicos debido a que los encontramos en pequeñas concentraciones, pero tienen amplios efectos en el medio ambiente a mediano y largo plazo, según la UNSL (2005) de Argentina; teniendo en cuenta que son biorefractarios, es decir que tienden a permanecer en el medio ambiente indefinidamente, consecuentemente representan una amenaza muy seria a diferencia de los compuestos orgánicos, al ser más o menos persistentes, sin embargo, el mayor de los problemas que se presenta en el medio ambiente especialmente en animales y plantas debido a la posibilidad que implica de que cause bioconcentración, la presencia de los metales en agua, además de los microorganismos que tienden a variar el potencial redox y el pH, es el mecanismo de la solubilidad de las sales que se pueden formar de los mismos (Cordova, 2017).

Metales pesados. El término de metal pesado aplica en cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico en concentraciones incluso muy bajas, tenemos al mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb) y



talio (Tl), entre otros (Lucho *et al.*, 2005), generalmente encontrados como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, estos no pueden ser fácilmente degradados o destruidos de forma natural o biológica, ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.*, 2002), cabe mencionar que, los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse, significa el aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova *et al.*, 2004).

- **Plomo.** Según Lassiter *et al.* (2015), el Pb es un metal pesado que genera alteraciones en el estatus iónico celular y estrés oxidativo, en el ser humano puede tener una amplia variedad de efectos biológicos según el nivel y la duración de la exposición lo que trae como consecuencia disrupciones endócrinas, inhibición de la actividad enzimática, muerte celular, genotoxicidad y problemas inflamatorios, también atribuyéndole al Pb la inhibición de la síntesis de hemoglobina lo cual llegaría a generar anemia (Counter *et al.*, 2012), incremento de la presión sanguínea, daño renal (Poma, 2008), perturbaciones en el sistema nervioso central, cáncer de estómago y pulmones (Mushak, 2011).

Además el Pb es muy sensible para niños y provoca retraso en el desarrollo mental e intelectual (Poma, 2008), en animales el Pb genera retardos en la maduración, afecta su fertilidad y produce cambios de conducta en invertebrados, mamíferos y llegar a ser mortales en aves a bajas concentraciones (Lassiter *et al.*, 2015) según lo reportado por varios autores, el plomo puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación, mientras el nivel de acumulación incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que éstas no lo toleran y mueren (Rodríguez *et al.*, 2006).



- **Arsénico.** El arsénico es conocido como un agente carcinógeno inorgánico bio-disponible y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por ingestión, en donde el sistema gastrointestinal absorbe en promedio el 80% del As; esta cantidad es variable según algunas características del compuesto y del individuo (Prieto *et al.*, 2006), produce toxicidad aguda y la ingestión de altas dosis se manifiestan síntomas gastrointestinales, daños en funciones de los sistemas cardiovascular, nervioso y en último término la muerte, la exposición prolongada al arsénico en el agua de bebida tiene una relación causal con un aumento de los riesgos de cáncer de piel, de pulmón, de vejiga y de riñón, se han observado relación exposición-respuesta y riesgo alto para cada uno de estos efectos finales, el mayor riesgo es de cáncer de pulmón y de vejiga así como de lesiones cutáneas asociadas con el arsénico en relación con la ingestión de agua de bebida con concentraciones >50 μg de arsénico/litro (WHO, 1992).
- **Mercurio.** Es uno de los metales pesados que mayor preocupación está causando en el mundo por su acción sumamente tóxica para los organismos y para el hombre, se considera poco peligroso en forma metálica y en sales minerales, pero en compuestos orgánicos su acción se torna muy tóxica para el hombre como último consumidor de pescados y mariscos, que tienen la propiedad de acumularlo en sus tejidos (Roldán, 1992).

Además de ser un metal tóxico, volátil, de fácil transferencia en el agua y el aire, es capaz de generar efectos letales en los organismos, así también alteraciones del sistema nervioso central, genéticas y mutagénesis (WHO, 2017), como fuentes de origen natural del mercurio tenemos, los fenómenos geológicos como la meteorización, la lixiviación, la erosión de las rocas, la desgasificación de la corteza terrestre y el vulcanismo (Posada & Arroyave, 2006), sin embargo,



el mercurio suelto en el ambiente es principalmente productor de la actividad humana, especialmente provenientes de las industrias de pintura y cloro, de los instrumentos de medición en la industria odontológica, sistemas de calefacción residenciales, usinas eléctricas de carbón, los incineradores de residuos, y en mayor cantidad de la minería (Sadiq, 1992; WHO, 2017).

Una vez introducido en el medio ambiente, el mercurio elemental se transforma naturalmente en metilmercurio que se bioacumula en peces y crustáceos (WHO, 2017), debido a ello, el nivel de mercurio en la biota, es manejado como un bioindicador que brinda la evidencia directa de la biodisponibilidad y bioacumulación del mercurio que se encuentra en los suelos, sedimentos, agua o aire del ecosistema (Veiga & Baker, 2004).

Cuando se encuentra mercurio en agua se debe principalmente a los residuos de producción como la industria y la minería, además de las debidas a causas naturales por fenómenos geológicos como la erosión de las rocas y la lixiviación. Al entrar en contacto con el ecosistema, este metal dependerá de la forma y especie química en la que se encuentre como las condiciones de óxido-reducción del agua y el pH (Posada & Arroyave, 2006).

- **Indicadores físicos**

Los indicadores físicos de contaminación del agua son los que presentan las características del agua y reaccionan a los sentidos, entre ellos: la vista, el tacto, el gusto y el olfato, como pueden ser el color, la turbiedad, el sabor, el olor, la temperatura y los sólidos suspendidos (Córdova, 2017).

- **Indicadores biológicos**

Los parámetros biológicos están directamente relacionados con la presencia de



especies biológicas en el agua, y su evaluación es de mucha importancia ya que estas nos indican la calidad del recurso hídrico. La presencia de coliformes es indicadora de contaminación fecal, contaminaciones bacterianas como por *Salmonella* y presencia de virus. En cuanto a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos estos indicarían buena calidad del agua debido a la presencia de las mismas según las especies más o menos tolerantes a la contaminación que aparezcan (Córdova, 2017).

Más del 80% de las bacterias pueden ser aisladas del desagüe, estas pueden ser diferenciadas por coloración Gram (Prescott *et al.*, 2004), entre las Gram negativas se mencionan los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, Enterobacteriaceae, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*. Las enterobacterias son anaeróbicas facultativos y su presencia es asociada a contaminación fecal, habitan naturalmente el intestino de los animales, son bacilos no esporulados, no móviles y si poseen flagelos peritrica. Entre las Gram positivas, los géneros *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Streptococcus*, se difunden mediante el agua e incluyen patógenos humanos que habitan las aguas subterráneas (González *et al.*, 2007).

La conductividad elevada es un riesgo potencial de salinización de los suelos (Méndez & González, 2009), la cantidad de iones disueltos incrementan la presión osmótica del agua del suelo, impidiendo la absorción por las raíces originando un desbalance nutricional, toxicidad y deficiencias en las plantas (Mau & Porporato, 2015), disminuyendo el rendimiento y la calidad del producto final vegetal y altera la fertilidad del suelo agrícola (Medina *et al.*, 2016).

Contaminación por coliformes. Los coliformes fecales son indicadores que ayudan al conocimiento humano sobre si en el ecosistema acuático existen desechos humanos o de animales, que en muy altas concentraciones aumentan la aparición enfermedades a través



de la ingesta de agua (Briones, 1997), su presencia en altas concentraciones incrementa la probabilidad de que las bacterias patógenas asociadas a los desechos estén presentes, aumentando la posibilidad contraer enfermedades tales como gastroenteritis, disentería, tifoidea y hepatitis, el impacto de la contaminación por coliformes totales, fecales y *E. coli*. Esta alta concentración de coliformes totales y fecales en el agua de las zonas de manglar ha traído como consecuencia enfermedades estomacales a la población (Barahona & Tapia, 2010), y la contaminación de los bivalvos *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* en el Golfo de Guayaquil (Delgado & Pernía, 2018).

2.2.7 Efectos del agua contaminada en el cultivo de plantas

La contaminación por metales pesados tiene su origen a partir de residuos industriales vertidos sin tratamiento, que luego se depositan en lagos, ríos y otros acuíferos (García *et al.*, 2000). Al ingresar los metales pesados por las raíces de las plantas inician su ingreso a la cadena alimentaria, entre ellos el plomo, níquel, cadmio y manganeso, entre otros presentes en el agua de regadío, pueden ser acumulados en la agricultura, al no ser biodegradables a su vez ejercer toxicidad en los cultivos (Prieto *et al.*, 2009), el agua también poseen oligoelementos, utilizados como micronutrientes para los cultivos, y son inevitables para que los organismos completen su ciclo vital, que en pequeñas cantidades son no dañinos, entre ellos se mencionan elementos como el B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y el metaloide As, en contraste con estos resultan altamente tóxicos y con capacidad de acumularse en los organismos vivos los metales Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, entre otros (García & Dorronsoro, 2005).

La toxicidad por metales pesados se manifiesta con la inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Martín, 2000), los efectos ante los seres vivos son debido al bloqueo de las actividades biológicas, mediante la inactivación enzimática y la formación de enlaces



entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, originando daños irreversibles. Una contaminación en suelos por metales pesados se concreta cuando son irrigados con aguas procedentes de efluentes mineros, aguas residuales municipales y de parques industriales (Wang & Chao, 1992).

Entre los factores que influyen el movimiento de metales pesados en el suelo se citan al pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, capacidad de intercambio iónico, los carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras (Sauquillo *et al.*, 2003). La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino más bien de la movilidad y la reactividad con otros compuestos químicos presentes en el ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).

Las plantas absorben metales del suelo en distinto grado, y varía según la especie vegetal, de las características que presenten, así también, el contenido de metales en el suelo, ante ellos las plantas sufren un proceso de adaptación de estrategias fisiológicas ante la presencia de los metales en su entorno (Barceló & Poschenriedr, 2003), entre las adaptaciones fisiológicas, se citan una eficiente exclusión del metal, generalmente enviando los metales a la parte aérea, muchas veces en forma no tóxica para la planta (Juárez, 2012).

Los bicarbonatos elevados en las muestras de agua para riego, altera la fisiología celular de los tejidos vegetales, origina la marchitez, la pérdida de sus hojas, causa toxicidad iónica con hojas color marrones (Gao & Lips, 1997). Los cloruros con elevados valores alteran la fisiología de las plantas, ya que poseen una alta movilidad y atraviesan las membranas celulares así manteniendo la presión osmótica y el balance iónico del agua, originaría un efecto adverso en las funciones fisiológicas de los organismos terrestres y acuáticos, ya que origina alteraciones en la presión osmótica interfiriendo su crecimiento y reproducción (Nagpal *et al.*, 2003).



La intoxicación por el mercurio puede afectar los diferentes niveles de estructura y organización del organismo de la planta, es así como el efecto de este metal puede ser hasta la escala molecular a organelas, como la células, tejidos, órganos, sistemas, organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Los efectos del mercurio empiezan en la raíz de las plantas, debido a que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes, así afectando sucesivamente el resto de la planta, en las hojas suceden daños graves como en las mitocondrias que afecta la respiración y en los cloroplastos el proceso de fotosíntesis, estas alteraciones también producen intensos cambios de regulación celular y metabólicos. Finalmente, esto llevaría al estímulo de la senescencia por acumulación crónica del metal pesado que resulta en la muerte de la planta (Posada & Arroyave, 2006).

Todas las plantas absorben metales del suelo, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, de sus características y contenido en metales del suelo, estas pueden reaccionar de diferentes maneras frente a la presencia de metales en su entorno (Barceló *et al.*, 2003), en algunos casos actúan como bioacumuladoras del metal pesado al poder tolerar su presencia y acumularlo en su estructura, sin embargo, otras plantas son bioindicadoras que frente a la presencia de un metal pesado optan por retenerlo. (Posada & Arroyave, 2006).

Algunas plantas evaden la absorción completa del metal, estas restringen su transporte a la parte aérea y otras optan por acumular el metal en la parte aérea de manera que no sea tóxica para la planta, la exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, en general la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados. Las plantas que son capaces de acumular cantidades excesivas de metales pesados, y se les conoce con el término hiperacumuladoras (Prieto *et al.*, 2009).



En caso de metales como el cadmio (Cd) y el zinc (Zn), se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, en las hojas de los rábanos se llegan a acumular grandes contenidos del metal, ocasionando marchitamientos en las hojas, reducción en la longitud de biomasa y de sus raíces, para zanahorias genera igual grado acortamiento en raíces y mayor acumulación de metal en las mismas (Intawongse *et al.*, 2006).

2.2.8 Efectos del agua contaminada en los animales

La presencia de algunos metales pesados como el Fe, Cu, Co, Zn, entre otros, en bajas concentraciones son esenciales para la vida, por formar parte de enzimas y proteínas e intervienen en diversas reacciones bioquímicas y en cantidades más altas son tóxicas. El Cr es un caso especial en razón de que es esencial para los mamíferos, pero tóxico para plantas y otros organismos marinos (García & Dorronsoro, 2005), pero también existen aquellos que se desconoce si son o no beneficiosos como Hg, Cd y Pb, que originan las enfermedades de minamata, itai – itai y saturnismo, respectivamente, al igual que en las plantas, los metales pesados varían su toxicidad según la forma química en que se encuentren, siendo más tóxicos cuando se encuentran en iones libres, sin embargo persisten el metil y el dimetil mercurio, cuya toxicidad supera al ión libre, también varía según el estado de oxidación, donde los compuestos de Cu (I), Cr (VI) y Hg (II) son más tóxicos que los compuestos que contengan Cu (II), Cr (III) y Hg (I) (Cordón, 1985).

Los animales y plantas poseen un sistema regulador de metales pesados en sus órganos y los excluyen si no son necesarios, su resistencia a los metales esta inversamente relacionada con los niveles naturales presentes en el medio y varía según el organismo, en caso del hombre el metil mercurio, Pb y Cd pueden persistir entre 0.2, 4 y 16 – 33 años respectivamente y si exceden los límites tolerables producen su acumulación e inicia su toxicidad (Parbery, 1981), se sabe que un metal pesado, es aquel cuyo peso específico es



mayor a 4 o 5 g/cm³ y localizados con los números atómicos 22 al 34, 40 al 52 y 72 al 84, incluyen a los lantánidos y actínidos, y todos tienen significancia biológica, siendo los más comunes Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Sn, Hg y Pb (Murphy & Spiegel, 1982).

Luego del ingreso de los metales pesados a un organismo, pasa a otras de nivel superior en la cadena trófica, y todo inicia con el fitoplancton que retiene metales en sus membranas citoplasmáticas, a continuación, los bivalvos, se nutren al filtrar grandes cantidades de agua y retienen el fitoplancton e ingieren metales, almacenándolos en los tejidos y con eliminación lenta, de esta manera sucesivamente aumenta en la cadena trófica pasando de la presa al predador (Alzieu & Maggi, 1974), denominando a este proceso la amplificación o magnificación biológica, donde los eslabones superiores de la cadena trófica, alcanzan valores mucho más elevados y al consumo estos animales se constituye en un peligro para la salud del hombre (Warren, 1981).

La toxicidad por metales pesados, sobre la fauna acuática, está influida por los factores ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, concentración de materia orgánica complejante, sinergismos y antagonismos con otros metales, variando según la especie, la edad, el estado reproductivo de los individuos, entre otros (Cordón, 1985).

La determinación de la toxicidad por metales pesados, en especies acuáticas, es determinada por bioensayos, calculando la dosis letal media (DL₅₀), que viene a ser la concentración de una sustancia en solución capaz de causar la muerte de la mitad de la población expuesta a ensayo en un tiempo determinado (Alzieu & Maggi, 1974). En ensayos con larvas de ostras, Alzicu (1984), clasificó a los metales como fuertemente tóxicos (DL₅₀ < 10 µg/l) para Hg y Ag, con toxicidad media (100 < DL₅₀ < 10,000 µg/l) para Cu, Zn, Ni, Pb y Cd, y poco tóxicos (DL₅₀ > 10,000 µg/l) para Cr y Mn. El hierro y



el manganeso en el agua es vital ya que son micronutrientes importantes en el funcionamiento de las células vegetales, animales y de microorganismos, además de ser clave para la conformación de los citocromos y proteínas del transporte de electrones, favoreciendo la proliferación de estos organismos (Atlas & Bartha, 2002).

2.2.9 Efectos del agua contaminada en el ser humano

La población humana está expuesta a sustancias químicas comprendidas en el agua, aire y los alimentos, una de la más importante es la acumulación de metales pesados en los suelos y sedimentos (Lucho *et al.*, 2005), consecuentemente el riesgo potencial para la salud humana a causa de la acumulación de metales pesados en plantas (Mapanda *et al.*, 2005).

El usar agua residual no tratada pone en riesgo la salud pública, debido a la presencia de bacterias, virus y parásitos, principalmente en agricultores y las comunidades que están en contacto extendido con el agua de desecho, y los consumidores de productos que fueron regados con esta agua (Juárez, 2012). Los metales Pb y As tienen su origen las explotaciones mineras situadas en las cabeceras de cuenca (Infante & Sosa, 1994) y el riesgo de contaminación por metales se encuentra en la parte baja y dependerá de las fuentes de contaminación aguas arriba, así como la habilidad del río para precipitar los metales, la adsorción de metales por suelos agrícolas y la habilidad de las plantas para extraer estos elementos (Juárez, 2012).

La disponibilidad de los metales en suelos está en función del pH, el contenido de arcillas, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, entre otros (Sauve *et al.*, 2000), excepto con el Mo, Se y As, ante el incremento del pH, la movilidad de los metales disminuye, ya que precipitan como hidróxidos, carbonatos o en la formación de complejos orgánicos no biodisponibles (Smith, 1996), los metales no son



biodegradables, no son termo degradables, no percolan a las capas inferiores de los suelos y logran acumularse en concentraciones tóxicas en plantas y animales (Bohn *et al.*, 1985).

Según Alloway & Ayres (1993), los metales pesados ingresan a los suelos agrícolas con el uso de pesticidas, fertilizantes, compost, estiércol, lodos y aguas residuales que contendrían trazas de estos metales, según EPA (2004), los posibles efectos de los metales al ser humano son: As origina lesiones en la piel, perturbaciones circulatorias y elevado riesgo de cáncer; Cd origina lesiones renales; Cr inicia dermatitis alérgica; Pb origina en bebés y niños, retardo en desarrollo físico o mental, leve déficit de atención, capacidad de atención y de capacidad del aprendizaje, mientras tanto en adultos origina trastornos renales e hipertensión.

Romero (2009), manifiesta que la dureza constituye la presencia de iones divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y ciertos aniones capaces de originar incrustaciones, no causan problemas a salud humana, pero origina un sabor desagradable, como representa los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , en especial el calcio cumple funciones en el fisiología del esqueleto y los tejidos blandos, la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, en la conducción miocárdica, entre otros (Neyra, 2006).

El ion sulfato, en forma de sulfatos de sodio y de magnesio, en altas concentraciones poseen un efecto laxante (Guzmán, 2011), especialmente en niños, origina incrustaciones en las calderas (Romero, 2009). Los elevados contenidos de nitratos en el agua originan consecuencias en la salud de las comunidades (Larios, 2008), especialmente en los niños (Halwani *et al.*, 1999), la metahemoglobinemia en países en vía de desarrollo (Freitas *et al.*, 2001), en especial en grupos de edad menores de un año (Gupta *et al.*, 2000), cambios patológicos en bronquios y tráquea pulmonar (Gupta *et al.*,



2000) y anoxia en lactantes (Sukreeyapongse *et al.*, 2001).

2.2.10 Normatividad Peruana vigente: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua

El Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM, que titula “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias”, indica a la categoría 1 y 3, las que fueron utilizadas en la actual investigación y presentarán las siguientes características, que a la letra dice:

Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) **Subcategoría A.** Son aguas superficiales predestinadas a la producción de agua potable, que previo tratamiento, son propuestas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- **A1.** Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Son aquellas que, por sus características de calidad, poseen condiciones ideales para destinarlas al abastecimiento de agua para el consumo humano con simple desinfección, conforme a la normativa vigente.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) **Subcategoría D1.** Riego de vegetales. Son aquellas aguas dependiendo de factores como el tipo de riego es empleado en los cultivos, la clase de consumo manejado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación.

b) **Subcategoría D2:** Bebida de animales. Son para bebida de animales mayores como los ganados vacuno, camélido y equino, y animales menores como ganado porcino, caprino, ovino, cuyes, aves y conejos.

Los Estándares de Calidad ambiental (ECA), es un instrumento de gestión ambiental que posee parámetros y obligaciones usadas para regular y proteger tanto la salud pública y la calidad ambiental, lo que permite a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización a causa de las actividades humanas. Las mediciones de un ECA se realizan directamente en los cuerpos receptores y los límites máximos permisibles (LMP) se da en los puntos de emisión y vertimiento.

Tabla 1. Valores ECA para aguas en las categorías 1 – población y recreacional y categoría 3 - riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM).

N/O	Parámetro	Cat. 1 – A1	Cat. 3 – D1	Cat. 3 – D2
1	Dureza (mg/l)	500	No aplica	No aplica
2	Alcalinidad (bicarbonatos) (mg/l)	No aplica	518	No aplica
3	Cloruros (mg/l)	250	500	No aplica
4	Sulfatos (mg/l)	250	1000	1000
5	Nitratos (mg/l)	50	90	90
6	Hierro (mg/l)	0.3	5	No aplica
7	Conductividad (μ S/cm)	1500	2500	5000
8	pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
9	Plomo (mg/l)	0.01	0.05	0.05
10	Arsénico (mg/l)	0.01	0.1	0.2
11	Mercurio (mg/l)	0.001	0.001	0.01
12	Coliformes totales (NMP/100ml)	50	No aplica	No aplica
13	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	20	1000	1000



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El río Cañipía es un recurso hídrico lótico ubicado en el distrito de Espinar provincia de Espinar del departamento Cusco – Perú, que tiene una longitud aproximada de 53 km desde la quebrada Putespunco hasta la confluencia con el río Salado, los ríos Allahualla y Choco son afluentes principales al río Cañipía y este, a su vez, es un tributario principal del río Salado (Figura 1).

El estudio se realizó en los sectores Huini – Z1 (-14.943031, -71.378013), ubicada muy próxima a las limitaciones de la minera Antapacay, con características pedregosa y rocosa, vegetación poco abundante, e inicio del río Cañipía luego del paso de la minera. Q'onco – Z2 (-14.928012, -71.384265), cercana a las faldas del cerro Q'onco, con vegetación mayoritaria de "Ichu" (*Stipa ichu*) o denominado "Paja brava", posee grandes pajonales con terreno de rocas y piedras algunas erosionadas, parte del río es desviado hacia una captación de agua para riego. San José – Z3 (-14.913413, -71.406401), de terreno pedregoso, arenoso, muy cercana a casas con cultivos y pastizales para animales, entre ellos vacunos y ovinos. Atacally – Z4 (-14.86231, -71.41341), de terreno rocoso, en el río se observa poco caudal y presencia de algas, es una ruta de paso de animales. Ccarachiana – Z5 (-14.85240, -71.41547), el río posee una corriente lenta debido a sus deformaciones geográficas con terreno pedregoso y el puente Cañipía – Z6 (-14.810981, -71.401421), de terreno pedregoso con rocas erosionadas con vegetación poco abundante y de corriente más elevada debido a su posición geográfica, muy próxima a la entrada de la población de Espinar, antes del cruce del puente Cañipía, dichas aguas de las zonas de muestreo son utilizadas para riego de vegetales y bebida de animales.



Figura 1. Distribución de zonas de muestreo de agua en el río Cañipía - Espinar -Cusco.

3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación, estuvo en marcada en un tipo de estudio descriptivo, en razón de que se registraron los valores de los parámetros fisicoquímicas, bacteriológicos y de metales pesados en muestras de agua del río Cañipía y la interpretación de los mismos con antecedentes y el marco teórico. Por otro lado, fue comparativo en razón de que los resultados de los análisis fisicoquímicos, metales pesados y bacteriológicos de las aguas del río Cañipía fueron contrastados con los valores emanados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Y fue de corte transversal, en razón a que los resultados se obtuvieron entre los meses de setiembre a noviembre del 2019. El diseño aplicado en la investigación descriptiva, en razón de que se describió y explicó las posibles fuentes de contaminación que vendrían alterando los valores de los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Para el muestreo de la investigación, se realizó en las zonas predeterminadas y fue un muestreo al azar (Otzen & Menterola, 2017), estuvo conformado por seis zonas de

muestreo (Z1 – Z6) tal como se muestra en la Figura 1, la determinación de cada parámetro fue mensual por tres meses consecutivos, haciendo un total de 18 (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de muestras por zonas y meses de muestreo.

Meses de muestreo	Zonas						Total
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	
Agosto	1	1	1	1	1	1	6
Setiembre	1	1	1	1	1	1	6
Octubre	1	1	1	1	1	1	6
Total	3	3	3	3	3	3	18

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Determinación de los parámetros dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, hierro, conductividad eléctrica y pH

a. Frecuencia de muestreo

Los muestreos de agua para realizar la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, se desarrollaron en forma mensual en cada una de las zonas pre establecidas y durante los meses planificados tal como se indican en la Tabla 2.

b. Determinación de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua

Muestreo del agua de río

El muestreo se realizó según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (MINAGRI – ANA, 2016), la colecta de las muestras de agua fue realizada entre las 9.00 y 12.00 horas del día en las zonas pre determinadas a una profundidad aproximada de 30 cm en frascos limpios y previamente lavados, se enjuagaron 3 veces con la misma muestra de agua previa a la recolección que se realizó a contracorriente al río, los frascos fueron tapados y rotulados debidamente,



luego los frascos fueron dispuestos en un cooler para su traslado al Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA – Puno.

Determinación de dureza total. Se aplicó el método titulométrico. Se utilizó una bureta con un soporte universal para la titulación, se giró la perilla de descarga para expulsar algunas gotas del titulador, se inició con el contador a cero y se limpió la punta, seguidamente se utilizó una probeta o pipeta para medir el volumen de la muestra. Se transfirió la muestra de 25 ml al frasco de Erlenmeyer limpio de 250 ml, luego se agregó 1 ml de solución buffer pH 10 y como indicador 3 gotas eriocromo negro T, por último, se tituló con EDTA (solución de sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético) al 0.01M desde rosa a azul. Se registró el gasto de EDTA para reemplazar en la ecuación (Jimeno, 1998).

$$Dureza \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{ml \text{ EDTA} \times 1,000 \times f}{ml \text{ muestra}}$$

Donde: f = factor; ml EDTA = gasto de EDTA de normalidad conocida.

Determinación de alcalinidad total. En un Erlenmeyer de 250 ml, se transfirió 25 ml de muestra, a continuación, se le añadió tres gotas de fenolftaleína, ante la aparición rosada, se tituló con ácido sulfúrico 0.05 N, hasta su decoloración, el cual se anotó el gasto de ml de la solución titulante. Seguidamente se adicionó dos gotas de anaranjado de metilo y se tituló como en el paso anterior, hasta lograr una coloración rojo salmón muy claro. Se registró el gasto de ácido sulfúrico 0.05 N para reemplazar en la ecuación (Jimeno, 1998).

$$Alcalinidad \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{ml \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 1,000}{ml \text{ muestra}}$$

Donde: ml H₂SO₄ = gasto de ácido sulfúrico de normalidad conocida.



Determinación de cloruros. En un matraz limpio se agregó 25 ml de muestra de agua, se le agregó 1 ml de cromato de potasio al 5%, obteniéndose una solución amarillenta. Se tituló con nitrato de plata, hasta lograr una solución rojo ladrillo y se anotó el volumen de gasto de AgNO_3 0.014 N, los datos obtenidos fueron reemplazados en una fórmula (Jimeno, 1998).

$$\text{Cloruros} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{\text{ml AgNO}_3 - \text{ml AgNO}_3 (\text{testigo}) \times N_{\text{AgNO}_3} \times 35.46 \times 1,000}{\text{ml muestra}}$$

Donde: ml AgNO_3 = gasto de nitrato de plata de normalidad conocida.

Determinación de sulfatos. Se colocó 25 ml de la muestra en un Erlenmeyer de 250 ml, se adicionó 0.01 mg (una pizca) de cloruro de bario, se disolvió y dejó reposar por 10 minutos, luego se encendió y calibró el espectrofotómetro para finalmente colocarlo en una cubeta de vidrio y medir en el equipo la transmitancia anotando el valor (Jimeno, 1998).

$$\text{Sulfatos} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{\text{Factor de tabla} * 100}{\text{ml muestra}}$$

Donde: Fc = Factor de concentración (tabla de sulfatos).

Determinación de nitratos. Se realizó mediante los kits para análisis colorimétricos VISOCOLOR® ECO para nitratos, para ello se transfirió 5 ml de muestra a los tubos A y B, al tubo B se le agregó una cucharadita del reactivo, luego de agitarlo, se añadió el indicador en tres gotas, se esperó cinco minutos, y se pasó a evaluar la coincidencia del color obtenido en el tubo de muestra, con el del tubo al que no se le añadió reactivo alguno pero, colocados en el soporte de los tubos, sobre el pictograma con las coloraciones y sus contenidos de nitratos en agua (procedimientos indicados por el fabricante).

Determinación de hierro. Se mezcló en dos tubos de 20 ml aproximadamente, luego a



uno de ellos se le agregó un sobrecito de fenantrolina (0.1 g de fenantrolina mono hidratada $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$), se dejó reposar 5 minutos y posteriormente a contra luz se comparó la coloración de los tubos, una con coloración pre establecida y el segundo tubo con la coloración originada por la fenantrolina, y según la coloración se dio lectura en el disco que tenía enumerado las concentraciones de hierro y se pasó a registrarlos (procedimientos indicados por el fabricante).

Determinación de conductividad. Se utilizó un vaso de precipitado limpio y seco de 250 ml, al cual se le agregó 40 ml de muestra de agua en estudio, antes se enjuagó con agua destilada como mínimo tres veces, inmediatamente se introdujo el electrodo del conductímetro multiparámetro portátil, hasta que el equipo se estabilizó, luego se anotó el valor obtenido (Jimeno, 1998).

Determinación de pH. EL pH se midió con un equipo potenciómetro multiparámetro portátil. En un vaso precipitado de 250 ml, se colocó un volumen de 40 ml de agua para ser analizado, para esto se enjuagó tres veces antes del análisis. Para empezar primero se calibró el equipo con los tres búferes de pH 4, 7 y 10, insertando el electrodo a las 3 soluciones estándar y cada vez que se cambió de pH, se realizó el enjuagado del electrodo con agua destilada y secándolo con papel toalla, para luego recién realizar la medición (potenciómetro), se procedió al análisis de la muestra y se anotó los resultados obtenidos (Jimeno, 1998).

c. Variables investigadas

- **Variables independientes:** Zona de muestreos (Z1 – Z6).
- **Variables dependientes:** Calidad fisicoquímica del agua del río Cañipía.



d. Aplicación de prueba estadística inferencial

Se aplicó un diseño no experimental. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua del río Cañipía en sus seis zonas de muestreo pre establecidos, presentaron tres repeticiones, las que fueron representados en cada mes, luego de ser tabulados se calcularon el promedio y su desviación estándar, a continuación, se evaluaron si cumplieron los supuestos (Normalidad y homogeneidad de varianza) para realizar pruebas de análisis de varianza y si en caso no cumplieran se realizó la prueba de Kruskal Wallis y la comparación entre zonas mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (De la Garza *et al.*, 2013). Los análisis de datos se realizaron en los softwares Excel 2010 e Infostat 2008 versión estudiantil.

3.4.2 Determinación del contenido de metales plomo, arsénico y mercurio en muestras de agua

a. Frecuencia de muestreo

Los muestreos de agua para realizar la evaluación del contenido de metales pesados, se desarrollaron en forma mensual en cada una de las zonas pre establecidas y durante los meses planificados tal como se indican en la Tabla 2.

b. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos e insumos

Muestreo del agua de río

El muestreo se realizó según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (MINAGRI – ANA, 2016), con los mismos procedimientos que para los parámetros fisicoquímicos con la diferencia de que las muestras fueron derivadas al Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas de la Universidad



Católica Santa María y a los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L. de la ciudad de Arequipa para el análisis de metales pesados.

Método. La Espectrofotometría de absorción atómica (NMX-AA-051-SCFI-2001)

Digestión de las muestras. Se homogenizo la muestra, se tomó una alícuota de 100 ml, se pasó a un vaso de precipitados y se agregó 3 ml de HNO₃ concentrado (Merck), se cubrió con un vidrio de reloj y se pasó a una placa de calentamiento, se evaporó casi a sequedad, asegurándose que no hierva (2 – 5 ml), se agregó 5 ml más de HNO₃ concentrado, se enfrió a temperatura ambiente, luego se regresó a la placa de calentamiento y se aumentó la temperatura hasta reflujo, se completó hasta la digestión total (residuo de color claro), se agregó 1 ml de HNO₃ concentrado, se calentó hasta disolución del residuo, se lavó las paredes del vaso y del vidrio de reloj con agua destilada, se filtró para eliminar silicatos y residuos, se aforó a 100 ml con agua destilada, luego se enfrió a temperatura ambiente y se refrigeró.

Elaboración de curvas estándar. Se realizó los cálculos estequiométricos necesarios para la preparación de soluciones patrón de concentraciones conocidas (Christian, 2009) de cada uno de los metales (As, Pb y Hg), a partir de soluciones patrón de referencia de las fuentes comerciales (Rodier, 1990). La condición de trabajo de emisión de flama para cada metal se obtuvo del Manual del aparato de absorción atómica (Varian, 1989). El sistema automatizado lanzó las concentraciones de los metales arsénico, plomo y mercurio a una computadora, a partir del cual se obtuvo para la tabulación de datos.

c. Variables investigadas

- **Variables independientes:** Zona de muestreos (Z1 – Z6).
- **Variables dependientes:** Concentración de metales pesados en el agua del río Cañipía.



d. Aplicación de prueba estadística inferencial

Se aplicó un diseño no experimental. Los resultados de las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua del río Cañipía en sus seis zonas de muestreo pre establecidos, presentaron tres repeticiones, las que fueron representados en cada mes, luego de tabulados se calcularon el promedio y su desviación estándar, a continuación, se evaluaron si cumplieron los supuestos (Normalidad y homogeneidad de varianza) para realizar pruebas de análisis de varianza y si en caso no cumplieran se realizó la prueba de Kruskal Wallis y la comparación entre zonas mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (De la Garza *et al.*, 2013). Los análisis de datos se realizaron en los softwares Excel 2010 e Infostat 2008 versión estudiantil.

3.4.3 Determinación de la carga bacteriana de coliformes totales y termotolerantes en muestras de agua

a. Frecuencia de muestreo

Los muestreos de agua para realizar la cuantificación de coliformes totales y termotolerantes, se desarrollaron en forma mensual en cada una de las zonas pre establecidas y durante los meses planificados tal como se indican en la Tabla 2.

b. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos e insumos

Muestreo de agua del río

El muestreo se realizó según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (MINAGRI – ANA, 2016), siguiendo los mismos procedimientos, salvo la diferencia en que los frascos de colección de muestras fueron lavados y esterilizados previamente, pero de igual modo fueron dispuestos en un cooler para su traslado al Laboratorio de Botánica y Biotecnología de la Facultad de



Ciencias Biológicas de la UNA – Puno.

Determinación de coliformes totales

Prueba presuntiva. Se procedió a inocular volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de muestra de agua en una serie de 9 tubos de caldo lactosado, en los cuales los primeros 3 tubos presentaron el doble de la concentración de dicho caldo y los 6 restantes de doble concentración, luego se incubaron los tubos debidamente rotulados a 37 °C durante 48 horas.

Prueba confirmativa. Se transfirió un inculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos con caldo verde brillante bilis y se incubó a 37 °C durante 48 horas. La formación de gas, el entubamiento y la fermentación dentro del lapso de 48 horas constituyó una prueba confirmativa de la presencia de coliformes totales. Los resultados se expresaron en términos de número más probable (NMP) de microorganismos (Pascual & Calderón, 2000).

Determinación de coliformes termotolerantes. Se inoculó de cada tubo positivo de la prueba confirmativa a placas Petri con EMB, sembrando el inculo mediante una estría simple por agotamiento en el agar y se incubó por 48 horas a una temperatura de 37 °C en una estufa de incubación.

Cálculos: De acuerdo a los tubos positivos en las pruebas confirmativas para coliformes totales y fecales, se estableció los códigos correspondientes para calcular por referencia en la tabla estadística correspondiente, el NMP de coliformes totales y fecales en 100 ml de agua (Pascual & Calderón, 2000).

c. Variables investigadas

- **Variables independientes:** Zona de muestreos (Z1 – Z6).



- **Variables dependientes:** Carga bacteriana de coliformes totales y termotolerantes en el agua del río Cañipía.

d. Aplicación de prueba estadística inferencial

Se aplicó un diseño no experimental. Los resultados de las recuentos de coliformes totales y termotolerantes en las muestras de agua del río Cañipía en sus seis zonas de muestreo pre establecidos, presentaron tres repeticiones, las que fueron representados en cada mes, luego de tabulados se calcularon el promedio y su desviación estándar, a continuación, se evaluaron si cumplieron los supuestos (Normalidad y homogeneidad de varianza) para realizar pruebas de análisis de varianza y si en caso no cumplieran se realizó la prueba de Kruskal Wallis y la comparación entre zonas mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (De la Garza *et al.*, 2013). Los análisis de datos se realizaron en los softwares Excel 2010 e Infostat 2008 versión estudiantil.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO

4.1.1 Dureza

La dureza del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 231.00 mg/l y 404.33 mg/l en la zona Z4 y Z2 respectivamente; los más altos promedios se obtuvieron en la zona Z2 con 404.33 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 356 y 459 mg/l, y la zona Z1 con un promedio de 377 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 322 y 432 mg/l; mientras que el menor promedio fue de 231 mg/l, obtenido en la zona Z4 con valores que variaron entre 195 y 257 mg/l (Tabla 3).

Tabla 3. Dureza (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro físicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Dureza (mg/l) Cat. 1, A1: 500 Cat. 3. D1: no aplica D2: no aplica	Z1 – Huini	432.00	377.00	322.00	377.00	55.00
	Z2 – Q'onco	356.00	459.00	398.00	404.33	51.79
	Z3 – San José	264.00	311.00	335.00	303.33	36.12
	Z4 – Atacally	195.00	241.00	257.00	231.00	32.19
	Z5 – Ccarachiana	230.00	324.00	311.00	288.33	50.93
	Z6 – Pte. Cañipía	230.00	311.00	243.00	261.33	43.50

Todos los valores de dureza del agua, no superaron los valores permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua, que para la categoría 1, A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) que fue equivalente a 500 mg/l, pero se

observa claramente que las zonas Z1 y Z2 son las que presentaron mayores valores de dureza en dos de las tres repeticiones y fueron menores especialmente en las zonas Z4, Z5 y Z6 especialmente en la repetición 1 (Figura 2); mientras que no aplica para riego de vegetales (categoría 3 – D1) ni para bebida para animales (categoría 3 – D2).

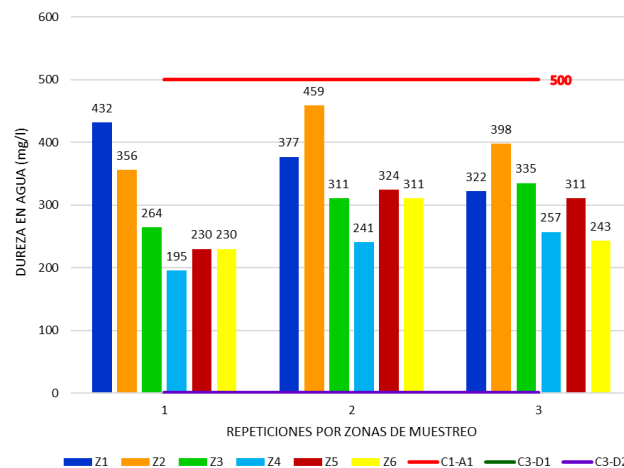


Figura 2. Valores de dureza en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de dureza de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó con diferencia estadística significativa ($F=7.10$; $gl=5$; $P=0.0026$) (Tabla 16 – Anexos), donde según la prueba de Tukey mostro que entre todas las zonas de muestreo Z1 a Z6 presentaron diferencia estadística significativa, siendo Z2 mayor a Z1, mientras tanto entre las zonas Z3 y Z5 no presentaron diferencia significativa, las zonas citadas anteriormente fueron diferentes a las Z6 y Z4, en ésta última se obtuvieron los menores promedios de dureza de agua (Figura 3).

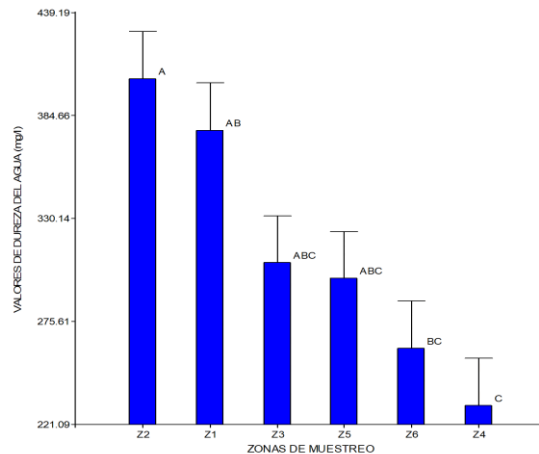


Figura 3. Prueba Tukey de dureza de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los resultados obtenidos en la investigación (231 – 404.33 mg/l) fueron similares a los reportados por Pacori (2018), quien en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), reportó que sus fuentes hídricas presentaron una dureza entre 260.05 y 349.06 mg/l y a los citados por Robles *et al.* (2013), quien en un acuífero de Tepalcingo (México), obtuvieron valores de dureza que variaron entre 145 – 736 mg/l, estos valores fueron inferiores y a su vez superiores a los mencionados en la investigación; adicionalmente fueron inferiores a los reportados por Gonzáles *et al.* (2007), quienes en fuentes de agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), obtuvieron durezas de 700 mg/l; mientras tanto fueron superiores a los obtenidos por Beita (2008), quién al evaluar el río Rincón en la península de Osa (Costa Rica), obtuvo valores de dureza moderadamente suave (0 – 75 mg/l) y a los reportados por Vilca (2011), quien en el manantial de agua para consumo humano de la localidad de Vilque (Puno) reportó una dureza de 187 mg/l. En tal sentido, los valores de dureza reportados en diferentes muestras de agua fueron variables con respecto a los antecedentes, pero los resultados más bajos se obtuvieron en muestras de agua de manantiales debido a la carencia de actividades antrópicas y fuentes de contaminación; mientras que, en muestras con altos valores, se



presumiría contaminación en las fuentes de agua subterránea.

Los valores de la dureza en las seis zonas de muestreo del río Cañipía, presentaron una moderada dispersión con desviaciones estándar (DE) que superaron los 50 mg/l, como en las zonas Z1, Z2 y Z5, las variaciones se darían debido a las características del suelo de la zona de estudio (Baccaro *et al.*, 2006) del cual arrastra sus compuestos químicos, por otro lado, Doria *et al.* (2009), indican que el agua posee contenidos Ca^{+2} y Fe^{+2} y aniones como HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- y SO_4^- , que viene a ser el reflejo de la naturaleza geológica de la zona de estudio el cual podría poseer creta, caliza y rocas impermeables como el granito.

Los valores de dureza oscilaron entre 231 y 404.33 mg/l y según Romero (2009), las muestras de agua del río Cañipía estarían dentro de la clasificación de agua dura (150 – 300 mg/l) y muy dura (>300 mg/l), esta dureza del río se le atribuye a la presencia de iones divalentes, que reaccionan con el jabón formando precipitados y ciertos aniones que originan incrustaciones, desde el punto sanitario, no causa problemas en la salud humana las aguas duras como también aguas blandas (0 – 75 mg/l), pero si este superara los 500 mg/l tendría un agua con sabor desagradable; y al ser agua dura requeriría más jabón para la formación de espuma lo que generaría problemas de lavado, asimismo originaría incrustaciones en las paredes internas de las tuberías y cañerías.

La población que habita las riberas en muchas zonas del trayecto del río Cañipía consumen el agua de éste río y no sufriría daño alguno a sus consumidores en razón de que no supera la categoría 1, subcategoría A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), la dureza lo integran principalmente los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , en especial el calcio es importante para el organismo, ya que cumple roles importantes en la fisiología del esqueleto y los tejidos blandos, en la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, en la conducción miocárdica, en la transmisión de la información intracelular

como mensajeros y la coagulación de la sangre, ante una deficiencia del consumo de calcio, la osteoporosis y la osteomalacia se presentaría en menor grado, así como también puede causar hipertensión (Neyra, 2006). Entonces el agua del río Cañipía al no resultar catalogarse en agua muy dura, no produciría varias enfermedades en los consumidores, de igual manera si el agua contiene una dureza baja, tampoco se afectar la salud pública, más bien originaría daños de incrustaciones en las tuberías de agua más aún si fueran metálicas.

4.1.2 Alcalinidad

La alcalinidad del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 433.67 mg/l y 575.33 mg/l en la zona Z6 y Z1 respectivamente; los más altos promedios se obtuvieron en la zona Z1 con 575.33 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 525 y 611 mg/l y la zona Z3 con un promedio de 570.33 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 532 y 643 mg/l; mientras que el menor promedio fue de 433.67 mg/l, obtenido en la zona Z6 con valores que variaron entre 415 y 451 mg/l (Tabla 4).

Tabla 4. Alcalinidad (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro fisicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Alcalinidad (mg/l)	Z1 – Huini	525.00	611.00	590.00	575.33	44.84
	Z2 – Q'onco	488.00	552.00	538.00	526.00	33.65
Cat. 1, A1: No aplica	Z3 – San José	536.00	532.00	643.00	570.33	62.96
	Z4 – Atacally	429.00	474.00	429.00	444.00	25.98
Cat. 3.	Z5 – Ccarachiana	441.00	490.00	438.00	456.33	29.19
D1: 518 - bicarb. D2: No aplica	Z6 – Pte. Cañipía	435.00	451.00	415.00	433.67	18.04

Los valores de alcalinidad del agua en seis zonas de muestreo del río Cañipía,

superaron los valores permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua, que para la categoría 3 – D1 (riego de vegetales) que fue equivalente a 518 mg/l (bicarbonatos), mientras que para la categoría 1 – A1 (agua que pueden ser potabilizadas con desinfección) y la categoría 3 – D2 (bebida de animales), no aplican. En la primera repetición las zonas Z1 y Z3, en la segunda y tercera repeticiones las Z1, Z2 y Z3 fueron las que superaron la norma vigente, el resto de zonas estuvieron debajo de los 518 mg/l (Figura 4).

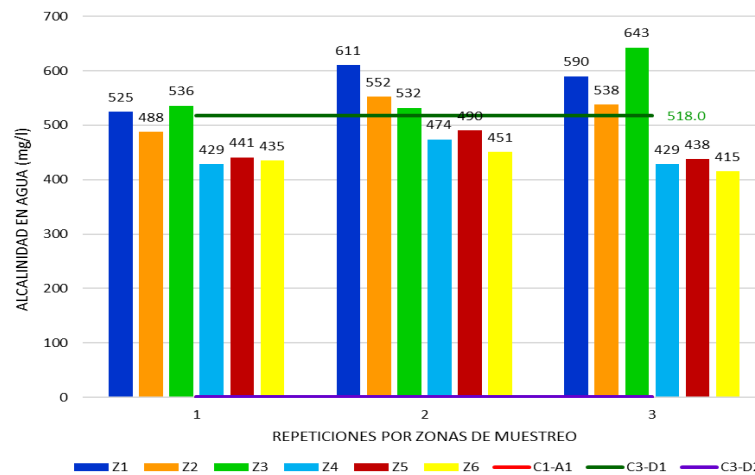


Figura 4. Valores de alcalinidad en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de alcalinidad de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que presentaron diferencia estadística significativa ($F=8.33$; $gl=5$; $P=0.0013$) (Tabla 17 – Anexos), según la prueba de Tukey los mayores promedios de alcalinidad lo presentaron las zonas Z1 y Z3, los cuales fueron diferentes estadísticamente a la zona Z2 y estos superiores a los valores obtenidos en las zonas Z5, Z4 y Z6, entre estas últimas zonas no presentaron diferencia estadística significativa (Figura 5).

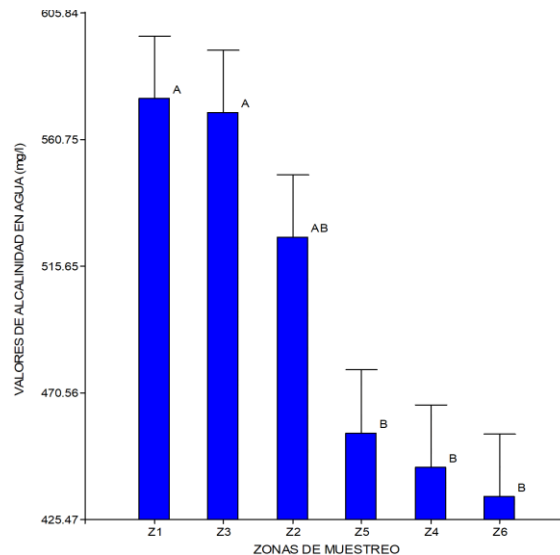


Figura 5. Prueba Tukey de alcalinidad de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los valores de alcalinidad del agua en el río Cañipía, fueron superiores a los reportados por Pacori (2018), quien en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), en sus fuentes hídricas registraron cifras de 179.72 - 241.67 mg/l, y a los citados por Beita (2008), quien evaluó en el río Rincón en la península de Osa (Costa Rica) y mencionan valores de bicarbonato de 54.3 a 160.8 mg/l; pero fueron inferiores a los mencionados por Álvarez *et al.* (2008), quien el río Amajac (México), presentaron valores de CO_3 de 0.00 – 30.3 mg/l y HCO_3 de 231.8 – 1122.4 mg/l.

La norma vigente ECA de agua, solo considera tener en cuenta para el control de la alcalinidad en caso de usos para riego de vegetales, más no para consumo humano ni animal, probablemente en razón de que, a elevados contenidos de bicarbonatos como parte de la alcalinidad en las muestras de agua para riego, los contenidos de bicarbonatos podría originar alteraciones en la fisiología celular de los tejidos vegetales, por lo que las plantas absorben menor cantidad de agua de lo normal, disminuyendo su energía, terminando en la marchitez y la pérdida de sus hojas, asimismo causa toxicidad iónica, manifestándose con bordes de las hojas color marrones, por otro lado, incrementa la



absorción de nitratos debido a que agrega esqueletos carbonados a los iones amonio formados en la reducción de nitratos (Gao & Lips, 1997).

La alcalinidad mide la capacidad de neutralización del agua, debido a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y en menor cantidad boratos, silicatos, fosfatos y sustancias orgánicas (Martínez, 2006), en las zonas Z1 y Z3 su presencia al ser mayor que las normas ECA creando un desbalance iónico y produciría propiedades corrosivas o incrustantes debido a ser zonas cercanas a la minera probable eliminación, asimismo afectando la vida acuática, siendo no drásticas, pero de daños considerables a largo plazo al agua (Beita, 2008).

Entre las zonas de muestreo Z4 y Z6 del río Cañipía, existen áreas de cultivo donde riegan con agua del río Cañipía, las muestras de agua cumplen con la norma ECA de agua. La alcalinidad se refiere a la concentración de bases totales, como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, en la norma ECA recomienda que los bicarbonatos no deberían superar los 518 mg/l de bicarbonato para el regadío de campos de cultivo, ya que a dicha concentración no llegaría a producir alteraciones en la fisiología vegetal, pero si se realizara el riego con las muestras de agua de las zonas Z1, Z2 y Z3, se originaría un antagonismo entre el bicarbonato y el fósforo como fuente de ATP, disminuirían el crecimiento de hojas y tallos de las plantas, asimismo afecta las concentraciones de calcio en hojas y las concentraciones de nitrógeno, fósforo y calcio en tallos (Parra *et al.*, 2012).

4.1.3 Cloruros

Los valores de cloruros del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 326.00 mg/l y 526.67 mg/l en la zona Z1 y Z6 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z6 con 526.67 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 510 y 546 mg/l y el menor la zona Z1 con un promedio de 326 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 310 y 355 mg/l (Tabla 5).

Tabla 5. Cloruros (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro físicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Cloruros (mg/l) Cat. 1, A1: 250 Cat. 3. D1: 500 D2: no aplica	Z1 – Huini	355	313	310	326.00	25.16
	Z2 – Q'onco	372	359	388	373.00	14.53
	Z3 – San José	346	366	355	355.67	10.02
	Z4 – Atacally	497	479	402	459.33	50.46
	Z5 – Ccarachiana	397	361	455	404.33	47.43
	Z6 – Pte. Cañipía	510	524	546	526.67	18.15

Todos los valores de cloruros del agua en las seis zonas de muestreo del río Cañipía, superaron los valores permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua, que para la categoría 1 – A1 (agua que pueden ser potabilizadas con desinfección) que fue equivalente a 250 mg/l, asimismo solo las muestras de agua de la zona Z6 en las tres repeticiones superan los 500 mg/l que corresponde el uso del agua para riego de vegetales (categoría 3 – D1) (Figura 6).

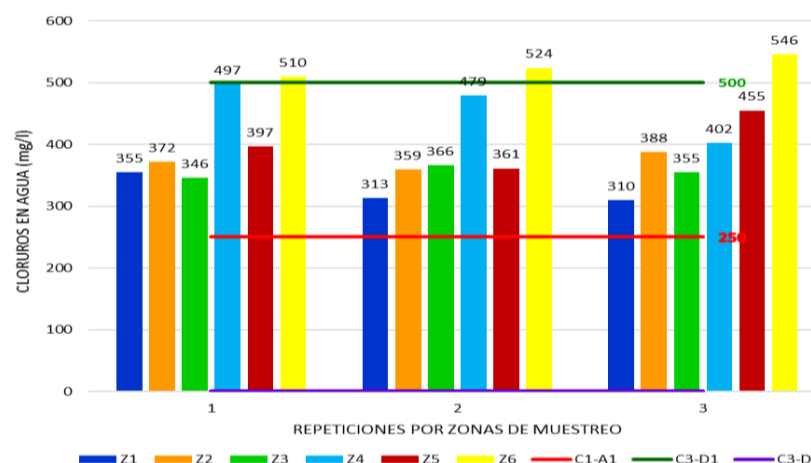


Figura 6. Valores de Cloruros en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de cloruros de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que presentaron diferencia estadística significativa ($F=15.47$; $gl=5$; $P=0.0001$) (Tabla 18 – Anexos), según la prueba de Tukey el mayor promedio de cloruros lo presentó la zona Z6, seguido de la zona Z4 y Z5, todos ellos superiores a las zonas Z2, Z3 y Z1, entre éstas tres últimas zonas no se encontró diferencia estadística significativa (Figura 7).

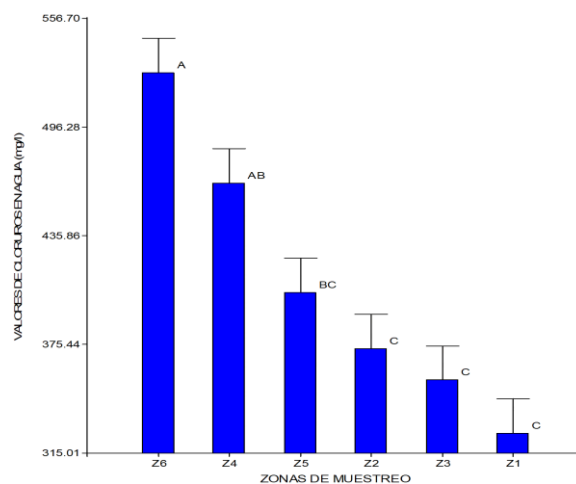


Figura 7. Prueba Tukey de cloruros de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los valores de cloruros obtenidos en la investigación, fueron superiores a casi todos los valores reportados en los antecedentes, tales como Pacori (2018), en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), reportó en sus fuentes hídricas cifras entre 60.62 - 96.76 mg/l, Samillán (2014), quien en aguas del río Reque (Chiclayo – Perú) registró entre 30 y 70 mg/l, Robles *et al.* (2013), quienes en un acuífero de Tepalcingo (México), obtuvieron 3.8 – 30.7 mg/l, Sarabia *et al.* (2011), reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), valores de 113.24 mg/l, la DIGESA & SEDAPAL (2011), determinaron en el río Rímac, en las provincias de Lima y Huarochirí cifras de 18.4 mg/l y Vilca (2011), quien reporta los parámetros físicos y químicos del



agua de un manantial para consumo humano de la localidad de Vilque (Puno), un promedio de 8.33 mg/l, mientras que los valores más próximos serían los reportados por Gonzáles *et al.* (2007), quienes diagnosticaron 35 fuentes de agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), y registraron valores de 350 mg/l.

Los valores de cloruros hallados en las muestras de agua del río Cañipía superaron los valores permitidos para agua, y no podran ser potabilizadas con desinfección (categoría 1, subcategoría A1), por tanto no sería permisible su consumo por el hombre en razón de que son aguas salinas y su sabor recalcitrante (Baccaro *et al.*, 2006), debido a su alta concentración de cloruro, así como también indicando contaminación fecal que sería (Fernández & Fernández, 2007), originado por el vertimientos de aguas residuales sólidos y líquidos (Doria *et al.*, 2009). Pero en el caso del río Cañipía, las fuentes de cloruros también provendrían de la disolución con depósitos de minerales en razón de que están próximas a la minera Antapacay, asimismo a drenajes de agua de riego, lixiviaciones difusas, escorrentía de terrenos agrícolas, entre otros, en especial los cloruros de potasio, calcio y magnesio que son tóxicos para todos los organismos acuáticos (Benoit & Stephan, 1988).

En la zona Z6 los valores de cloruros superan los recomendados para usarlos en riego de campos de cultivo, según la norma vigente (ECA, categoría 3 – D1), debido a que alteraría la fisiología de las plantas, ya que los cloruros poseen una alta movilidad y atraviesan las membranas celulares, manteniendo la presión osmótica y el balance iónico del agua, por lo que al elevarse los niveles de cloruros producen un efecto adverso en las funciones fisiológicas de los organismos terrestres y acuáticos, en razón de que origina disrupturas en la regulación de la presión osmótica e interfiere el crecimiento y la reproducción (Nagpal *et al.*, 2003).



En tal sentido, no se recomienda el uso del agua del río Cañipía para el riego de vegetales por las áreas vecinas a la zona Z6, en razón de que las plantas sufren de problemas de estrés salino especialmente por NaCl (Demiral, 2005), estas afectaciones producto de su acumulación de las plantas desencadenarían en el estrés osmótico, el desbalance iónico y la toxicidad por el sodio y/o cloro sobre los procesos metabólicos (Turhan & Eris, 2007), disminuyendo su producción en cantidad y calidad de los cultivos, como sucedió en el caso del crecimiento de las plantas de papaya, donde un aporte elevado de cloruro de sodio en el agua de riego afectó el crecimiento en longitud del tallo y se encontró una alta concentración de Na en el tejido foliar alterando su tasa de crecimiento de las plantas, disminuyendo el crecimiento a causa de los efectos osmótico y tóxico (Parés & Basso, 2013) y un desequilibrio nutricional por la interferencia de los iones Na^+ y Cl^- con los nutrientes esenciales (Zhu, 2001).

4.1.4 Sulfatos

La concentración de sulfatos del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 136 mg/l y 326.67 mg/l en la zona Z5 y Z1 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z1 con 326.67 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 290 y 380 mg/l y el menor la zona Z5 con un promedio de 136 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 108 y 162 mg/l (Tabla 6).

Tabla 6. Sulfatos (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro fisicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Promedio	DE
		1	2	3		
Sulfatos (mg/l) Cat. 1, A1: 250 Cat. 3. D1: 1000 D2: 1000	Z1 – Huini	380.00	290.00	310.00	326.67	47.26
	Z2 – Q'onco	250.00	273.00	214.00	245.67	29.74
	Z3 – San José	256.00	176.00	153.00	195.00	54.06
	Z4 – Atacally	176.00	140.00	133.00	149.67	23.07
	Z5 – Ccarachiana	138.00	108.00	162.00	136.00	27.06
	Z6 – Pte. Cañipía	235.00	278.00	222.00	245.00	29.31

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de sulfatos para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 250 mg/l, riego de vegetales (categoría 3 – D1) y bebida de animales (categoría 3 – D2), estos últimos con un valor de 1000 mg/l. En tal sentido, de los 18 muestreos realizados, siete fueron iguales o superaron los valores de la categoría 1 – A1, tales como la zona Z1, Z2 y Z3 en la primera revisión, Z1, Z2 y Z6 en la repetición 2 y la Z1 en la tercera repetición, por lo que las muestras de agua de estas zonas no deberían ser utilizadas para consumo humano. En contraste el agua de río Cañipía si puede ser utilizada para el riego de vegetales y bebida de animales en razón de que en todas las zonas muestreadas el agua no supera los 1000 mg/l de sulfatos (Figura 8).

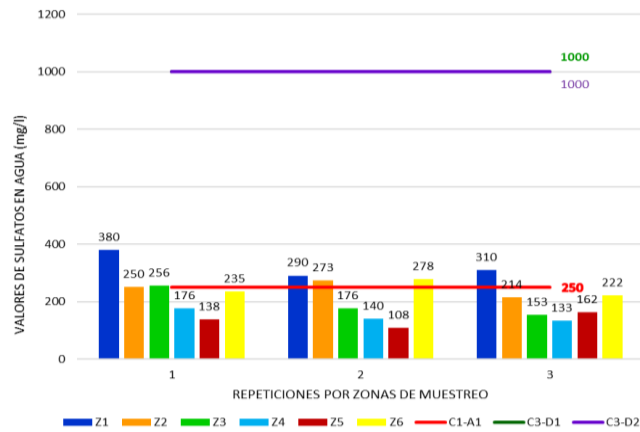


Figura 8. Valores de Sulfatos en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de sulfatos de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que presentaron diferencia estadística significativa ($F=11.12$; $gl=5$; $P=0.0004$) (Tabla 19 – Anexos), según la prueba de Tukey el mayor promedio de cloruros lo presentó la zona Z1, seguido de las zonas Z2 y Z6, ambas no poseen diferencia estadística, a continuación vienen las zonas Z3 y Z4 que también entre ellas no poseen diferencia estadística significativa y finalmente el más bajo valor de sulfatos se encontró en la zona Z5 (Figura 9).

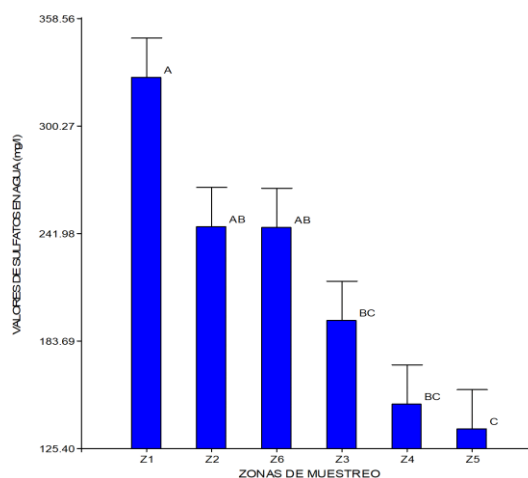


Figura 9. Prueba Tukey de sulfatos de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Los valores de sulfatos en el agua del río Cañipía oscilaron entre 136 y 326.67 mg/l, estos resultados fueron superiores a los reportados por Pacori (2018), quien en las fuentes hídricas en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), presentaron sulfatos de 58.85 a 71.54 mg/l; asimismo, fueron superiores a los mencionados por Sarabia et al. (2011), que reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), cifras de sulfatos 124.01 mg/l. Por otro lado, fueron inferiores a los registrados por Robles et al. (2013), que en un acuífero de Tepalcingo (México), obtuvieron resultados de sulfatos de 49.8 – 740 mg/l y a los citados por Gonzáles et al. (2007), quienes en 35 fuentes de agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua), encontraron sulfatos de 358 mg/l. El ión sulfato, que se halló en el río Cañipía es común también en la mayoría de los ríos naturales, usualmente en forma de sulfatos de sodio y de magnesio, los cuales en altas concentraciones poseen un efecto laxante (Guzmán, 2011), especialmente en niños, asimismo origina incrustaciones en los metales, en aguas residuales es un factor importante porque pueden originar olor y corrosión de las alcantarillas (Romero, 2009) y que por acción de las bacterias anaerobias redujo los sulfatos a sulfuros, que en condiciones aeróbicas formaría ácido sulfúrico, originando problemas de olor y corrosión tal como lo menciona el autor anterior (Sierra, 2011).

A pesar de que el río Cañipía contiene fuentes primarias de contaminación, Fernández & Fernández (2007), indican también que depende de factores como la alimentación de los acuíferos, la infiltración de precipitaciones atmosféricas, la lixiviación, erosión y meteorización de las rocas adyacentes y la actividad antrópica, como la contaminación fecal ocasionada por verter aguas residuales y sus componentes sólidos y líquidos; asimismo, el origen de sulfatos en el agua es debido al contacto con terrenos ricos en yesos o aguas residuales industriales, que en valores superiores a 300



mg/l causan trastornos gastrointestinales en los niños (Wilson et al., 2007). La fuente del ion sulfato son las lluvias que podría originar contaminación y aportarían datos importantes acerca del ácido sulfúrico que procedería del dióxido de azufre que se encuentra en la atmósfera (Arboleda, 2000).

Con respecto al riego de vegetales y bebida de animales, el agua del río Cañipía al ser utilizado para esos fines, no tuvieron alteraciones o problemas debido a que no superan los valores presentados en la norma vigente, pero si superaría el contenido de sulfatos en el agua de riego lograrían inducir deficiencias de magnesio, tal como sucedió al regar plantas de la uva (Ehlig, 1960), y originando el llamado el corazón negro del apio en suelos salinos con deficiencia de calcio y causada por las altas cifras de sulfatos y bajo contenido de calcio (Geraldson, 1954), disminuyendo así la producción de los cultivos.

Por otro lado, Lenntech (2020), agrega a todo ello de que, en los seres humanos el consumo de agua con altos niveles de sulfatos experimentaría diarrea y deshidratación debido a su efecto laxante, siendo lo niños los más sensibles, es más una muestra de agua de 400 mg/l no debería ser usado para la preparación de alimentos para niños; por otro lado, de similar forma en animales puede originarles diarrea crónica y grave, muchas veces causándoles la muerte.

4.1.5 Nitratos

La concentración de nitratos del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 1 mg/l y 8.33 mg/l en la zonas Z4, Z5, Z6 y Z1, Z3 respectivamente; los más altos promedios se obtuvieron en las zonas Z1 y Z3 con 8.33 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 5 y 10 mg/l y los menores en las zonas Z4, Z5 y Z6 todos con 1 mg/l (Tabla 7).

Tabla 7. Nitratos (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro físicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Nitratos (mg/l) Cat. 1, A1: 50 Cat. 3. D1: 90 D2: 90	Z1 – Huini	5	10	10	8.33	2.89
	Z2 – Q'onco	1	5	5	3.67	2.31
	Z3 – San José	10	10	5	8.33	2.89
	Z4 – Atacally	1	1	1	1.00	0.00
	Z5 – Ccarachiana	1	1	1	1.00	0.00
	Z6 – Pte. Cañipía	1	1	1	1.00	0.00

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de sulfatos para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 50 mg/l, riego de vegetales (categoría 3 – D1) y bebida de animales (categoría 3 – D2), estos últimos con un valor de 90 mg/l. En tal sentido, los 18 muestreos realizados, se encontraron por debajo de las normas vigentes (Figura 10).

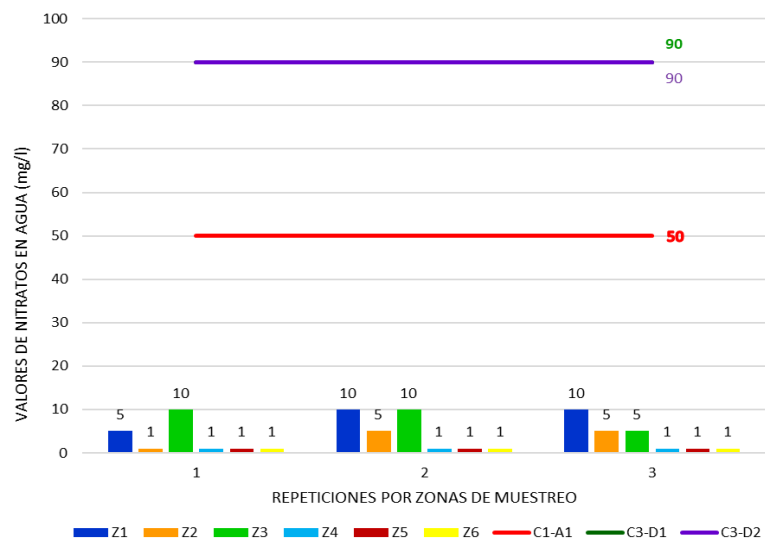


Figura 10. Valores de Nitratos en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Al realizar el análisis estadístico y los datos no cumplieran con los supuestos para realizar pruebas paramétricas, es que se realizó pruebas de Kruskal Wallis, luego del cual los valores de nitratos de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, presentaron diferencia estadística significativa ($H=8.65$; $gl=5$; $P=0.0456$) (Tabla 20 – Anexos), según la prueba de Tukey el mayor promedio de nitratos lo presentaron las zonas Z3 y Z1, seguido de la zona Z2, a continuación vienen las zonas Z5, Z4 y Z6, entre ellas también no presentaron diferencia estadística significativa (Figura 11).

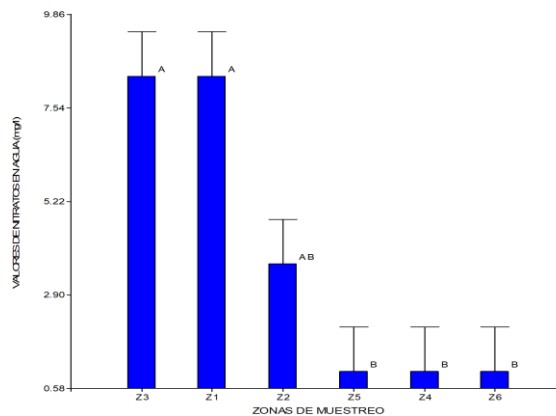


Figura 11. Prueba Tukey de nitratos de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los resultados obtenidos en la investigación, las cuales oscilaron entre 1 y 8.33 mg/l, fueron superiores a los registrados por Gamboa (2018), quien en muestras de agua superficial del centro poblado de Sacsamarca (Ayacucho – Perú), obtuvieron valores de nitratos entre 1 y 1.8 mg/l y La DIGESA & SEDAPAL (2011), quienes en el río Rímac, (provincias de Lima y Huarochirí) obtuvieron cifras de nitratos de 0.527 mg/l; mientras tanto fueron inferiores a los mencionados por Sarabia *et al.* (2011), que reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), mediciones de nitratos de 14.50 mg/l, los altos valores se darían debido a la cercanía a una planta de tratamiento del agua potable, tal como se determinó en el Guarapiche



(Venezuela) y los niveles de nitratos superaron la norma en el estudio de Gil *et al.*, (2013).

A pesar de que los valores hallados en la investigación no superaron su aptitud para ser utilizado en el consumo humano, riego de vegetales y bebida de animales (50 y 90 mg/l respectivamente), la presencia de nitratos en una muestra de agua de un río, sería producto de la fertilización excesiva en los campos de cultivo y la inadecuada disposición de aguas residuales domésticas e industriales y ganaderas, ante el consumo de agua con altos índices de nitratos, originaría consecuencias en la salud de las comunidades a corto, mediano o largo plazo (Larios, 2008), especialmente los niños (Halwani *et al.*, 1999), metahemoglobinemia en países en vía de desarrollo (Freitas *et al.*, 2001), en especial en grupos de edad menores de un año (7%- 27%), pudiendo afectar otros grupos etáreos (Gupta *et al.*, 2000a), cambios patológicos en bronquios y tráquea pulmonar (Gupta *et al.*, 2000b) y anoxia en lactantes (Sukreeyapongse *et al.*, 2001). La metahemoglobinemia, se origina por la reducción de los nitratos a nitritos, donde la hemoglobina que se encarga de transportar el oxígeno, no es capaz de captar y ceder oxígeno de forma funcional, la metahemoglobina no debe superar el 2%, entre 5 y 10% se presenta signos de cianosis, entre 10 y 20% se presenta insuficiencia de oxigenación muscular y superior al 50% puede llegar a la muerte.

Los niveles de nitratos, no son considerados restrictivos para uso agrícola debido a que son transformados o absorbidos directamente por las plantas, para que cumplan normalmente con sus funciones fisiológicas (Sarabia et al., 2011), pero sería un factor de eutrofización que elimina el oxígeno necesario para la supervivencia de los organismos acuáticos.

4.1.6 Hierro

La concentración de hierro en el agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 0.02 mg/l y 0.15 mg/l en la zona Z4 y Z1

respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z1 con 0.15 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 0.1 y 0.2 mg/l y el menor la zona Z4 con un promedio de 0.02 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 0.00 y 0.05 mg/l (Tabla 8).

Tabla 8. Hierro (mg/l) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro físicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Hierro (mg/l) Cat. 1, A1: 0.3 Cat. 3. D1: 5 D2: no aplica	Z1 – Huini	0.2	0.1	0.15	0.15	0.05
	Z2 – Q'onco	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00
	Z3 – San José	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00
	Z4 – Atacally	0.05	0.00	0.00	0.02	0.03
	Z5 – Ccarachiana	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00
	Z6 – Pte. Cañipía	0.15	0.1	0.2	0.15	0.05

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de hierro para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 0.30 mg/l, riego de vegetales (categoría 3 – D1) con un valor de 5 mg/l, más no fue aplicado al rubro de bebida de animales (categoría 3 – D2). En tal sentido, de los 18 muestreos realizados, ninguno superó los valores emitidos en la norma ambiental vigente antes citada (Figura 12).

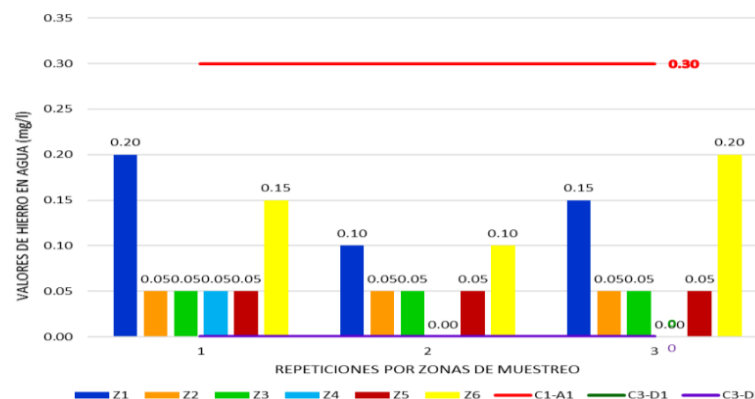


Figura 12. Valores de Hierro en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

La prueba de Kruskal Wallis realizado a los valores de hierro de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que si presentaron diferencia estadística significativa ($H=12.63$; $gl=5$; $P=0.0092$) (Tabla 21 – Anexos), según la prueba de Tukey los mayores promedios de hierro lo presentaron las zonas Z6 y Z1, seguidos de las zonas Z5, Z2, Z3 y Z4, entre estas últimas no presentaron diferencia estadística (Figura 13).

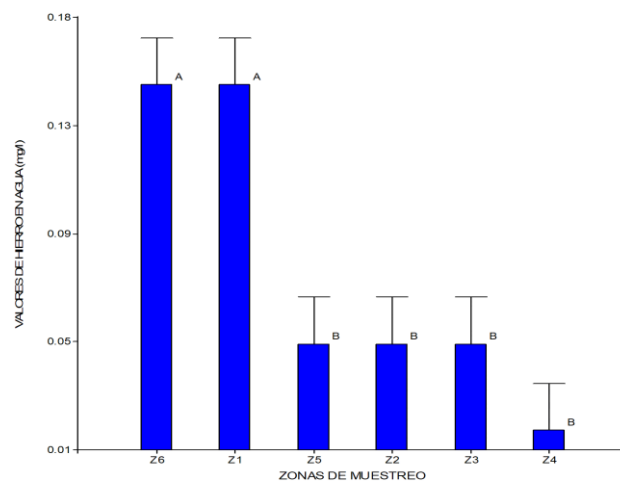


Figura 13. Prueba Tukey de hierro de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los valores hallados en el río Cañipía, estuvieron por debajo de los valores referenciales de la norma ambiental vigente, los más altos valores fueron entre 0.15 y 0.20 mg/l, los cuales fueron superiores a los reportados por Sarabia *et al.* (2011), quienes reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), valores de hierro de 0.02 mg/l; pero fueron inferiores a los registrados por Huaranga *et al.* (2012), quienes determinaron en agua de ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), valores de hierro de 557.500 mg/l, Arcos *et al.* (2010), encontraron en el Río Grande (Antioquía – Colombia), niveles de hierro superiores a 1.4 mg/l y Contreras *et al.* (2004), quienes en el río Haina (República Dominicana) en los puntos muestreados



presentaron concentraciones de hierro de 0.7361 a 3.1034 mg/l.

La presencia de hierro aunado al manganeso en el agua es vital, ya que son micronutrientes muy importantes en el funcionamiento de las células vegetales, animales y de microorganismos que se nutren alrededor y dentro del agua del río Cañipía, además de ser clave para la conformación de los citocromos y proteínas del transporte de electrones, favoreciendo la proliferación de estos organismos (Atlas & Bartha, 2002). El hierro ferroso, con valencia +2 predomina en el estrato reductor o hipolimnio de la columna de agua, luego es oxidado a hierro férrico o con valencia +3, cuando aflora a la fase oxigenada o epilimnio de la columna de agua, producto de ello se forma hidróxido férrico que posee baja solubilidad y precipita a los sedimentos (Wetzel & Likens, 2001), y la presencia de hierro disuelto por encima de 1.4 mg/l, estimularía la presencia de bacterias asociada a la oxidación del metal (Arcos *et al.*, 2010).

La presencia de metales como el hierro en el agua de río Cañipía, se debería probablemente a la cercanía de la minera Antapacay, quienes producen relaves los cuales son receptores finales ríos, lagos, lagunas y el mar (Real Instituto de Tecnología de Suecia, 1973), asimismo, el hierro que es utilizado en las plantas de tratamiento mineral, a corto plazo no se degrada, biológica ni químicamente en la naturaleza, siendo considerados tóxicos al contacto con muchos organismos del río de la investigación (Chiang, 1989), ya que alteran su fisiología gracias a que son acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo (Campos, 1990).

Según Corzo (1986) las aguas que se vienen vertiendo al río producto de la minera o de residuos industriales, estaría siendo tratada o neutralizada en una planta de aguas acidas, por lo que no llegarían a tener ese color amarillento producto del ion férrico y acides del agua, así también evitando la extinción de la biota del río Cañipía (Malca,

1998) el hierro es importante en la nutrición vegetal, pero si la concentración de hierro sobrepase las normas vigentes de la ECA, constituiría un riesgo de toxicidad (Huaranga *et al.*, 2012)

4.1.7 Conductividad

Los valores de conductividad del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 304 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1094.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona Z6 y Z1 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z1 con 1094.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cuyos valores oscilaron entre 643 y 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el menor la zona Z6 con un promedio de 304 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde sus valores fluctuaron entre 245 y 352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 9).

Tabla 9. Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro físicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Cat. 1, A1: 1500 Cat. 3. D1: 2500 D2: 5000	Z1 – Huini	1550	1090	643	1094.33	453.52
	Z2 – Q'onco	900	1115	836	950.33	146.15
	Z3 – San José	1188	958	880	1008.67	160.13
	Z4 – Atacally	540	485	461	495.33	40.50
	Z5 – Ccarachiana	503	472	379	451.33	64.53
	Z6 – Pte. Cañipía	352	315	245	304.00	54.34

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de conductividad para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, riego de vegetales (categoría 3 – D1) con un valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y bebida de animales (categoría 3 – D2), con un valor de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En tal sentido, de las 18 zonas de muestreo, solo la zona Z1 de la primera repetición es la que vulneró la norma de la

categoría 1 – A1; mientras que los restantes valores de conductividad se encuentran por debajo de la categoría 3, subcategorías D1 y D2 (Figura 14).

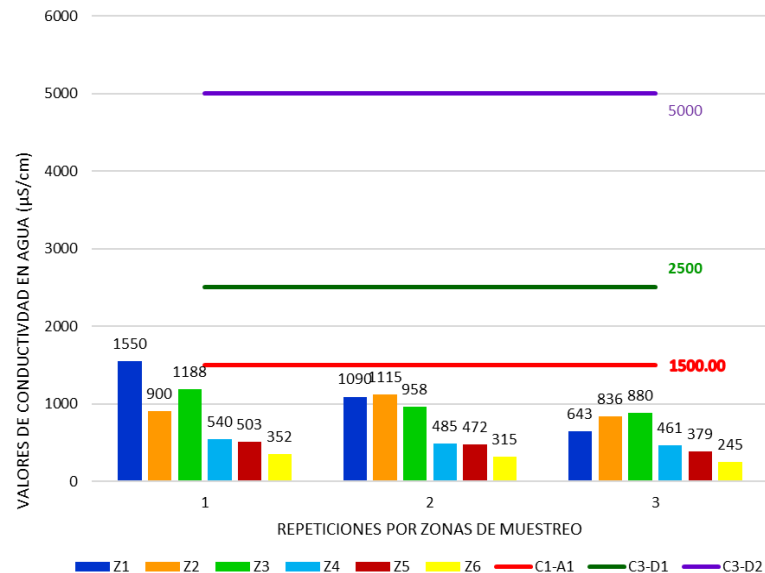


Figura 14. Valores de conductividad en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de conductividad de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que presentaron diferencia estadística significativa ($F=7.88$; $gl=5$; $P=0.0017$) (Tabla 22 – Anexos), según la prueba de Tukey el mayor promedio de conductividad lo presentó la zona Z1, seguido de las zonas Z3 y Z2, ambas no poseen diferencia estadística, a continuación vienen las zonas Z4 y Z5 que también entre ellas no poseen diferencia estadística significativa y finalmente el más bajo valor de conductividad se encontró en la zona Z6 (Figura 15).

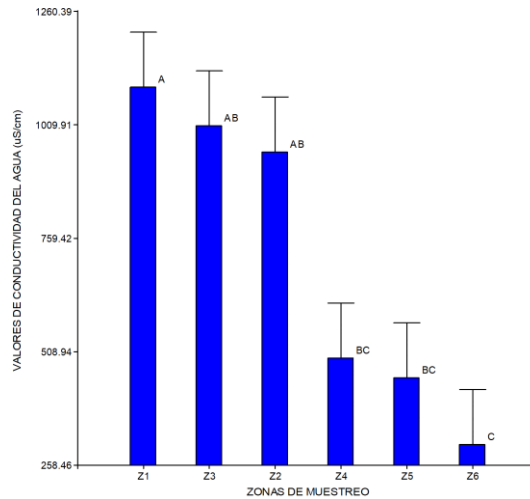


Figura 15. Prueba Tukey de conductividad de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron superiores a los obtenidos por Vilca (2011), quien reporta en muestras de agua para consumo humano de la localidad de Vilque (Puno), valores de conductividad de $185 \mu\text{S}/\text{cm}$ y a los obtenidos por Beita (2008), quien en el río Rincón en la península de Osa (Costa Rica) determinó valores de conductividad de $161.8 \mu\text{S}/\text{cm}$. Fueron similares a los obtenidos por DIGESA & SEDAPAL (2011), que determinaron en el río Rímac (Huarochirí – Lima) valores de conductividad de $346 \mu\text{S}/\text{cm}$ y los valores de Pacori (2018), en la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú), reportó en sus fuentes hídricas valores de conductividad que oscilaron de $5.56 - 760 \mu\text{S}/\text{cm}$. Por otro lado, fueron inferiores a los reportados por Sarabia *et al.* (2011), quienes reportan que el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), presentaron valores de conductividad de $1.16 \text{ dS}/\text{cm}$ y de González *et al.* (2007), quienes diagnosticaron 35 fuentes de agua de consumo humano en las comunidades del sector del municipio de León (Nicaragua) y obtuvieron una conductividad de $1700 \mu\text{S}/\text{cm}$.



La elevación del valor de conductividad en el punto de muestreo Z1 constituye en un riesgo potencial de salinización de los suelos próximos al río (Méndez & González, 2009). Tomando en cuenta que la conductividad viene a ser la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, mediante los iones disueltos, entre los cationes se encuentran sodio, calcio, potasio, magnesio y entre los aniones al cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato, sabemos que la salinidad y la conductividad se relacionan ya que la cantidad de iones disueltos incrementan los valores de ambas y en el suelo incrementaría la presión osmótica del agua y del suelo, impidiendo la absorción por las raíces del borde del río originando un desbalance nutricional, toxicidad y deficiencias en las plantas próximas (Mau & Porporato, 2015), disminuyendo el rendimiento y la calidad del producto vegetal final logrando también alterar la fertilidad del suelo agrícola (Medina *et al.*, 2016).

Por tanto, se podría afirmar que las aguas de río Cañipía pueden ser utilizados para el riego de vegetales como para la bebida de animales, siempre y cuando se cuente con un drenaje eficiente, caso contrario los cultivos sensibles serían afectados de manera adversa (Ayers & Westcot, 1987), tal como se presentó en la relación conductividad eléctrica y germinación, donde a mayor conductividad eléctrica, la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) disminuyó, asimismo, a mayor pH la erosión del suelo incrementó (Vitoria & Natera, 2007). Y con respecto para el consumo humano y para la bebida de animales, si la conductividad del agua fuera elevada, en la zona de muestreo Z1 el agua resulta no agradable al paladar y por tanto no apta para el consumo humano ni animal.

4.1.8 pH

Los valores de pH del agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 7.67 y 8.17 en las zonas Z3 y Z6 respectivamente; el más alto

promedio se obtuvo en la zona Z6 con 8.17, cuyos valores oscilaron entre 7.4 y 8.9 y el menor la zona Z3 con un promedio de 7.67, donde sus valores fluctuaron entre 6.6 y 8.3 (Tabla 10).

Tabla 10. pH en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Parámetro fisicoquímico	Zona de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
pH	Z1 – Huini	7.3	9	8.1	8.13	0.85
Cat. 1,	Z2 – Q'onco	6.6	8.6	8.1	7.77	1.04
A1: 6.5-8.5	Z3 – San José	6.6	8.3	8.1	7.67	0.93
Cat.3.	Z4 – Atacally	7.1	8.6	8.1	7.93	0.76
D1: 6.5-8.5	Z5 – Ccarachiana	7.6	8.7	7.9	8.07	0.57
D2: 6.5-8.4	Z6 – Pte. Cañipía	7.4	8.9	8.2	8.17	0.75

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de pH para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) y riego de vegetales (categoría 3 – D1) con un rango de 6.5 a 8.5 y bebida de animales (categoría 3 – D2) con un rango de 6.5 a 8.4. Los muestreos de agua tanto en la primera y tercera repetición se encuentran dentro de los rangos establecidos dentro de la norma ambiental; mientras tanto en la segunda repetición, solo la zona Z3 es la que se encuentra dentro de los límites ambientales, llegando incluso a valores de pH de 8.6, 8.7, 8.9 y 9.0 (Figura 16).

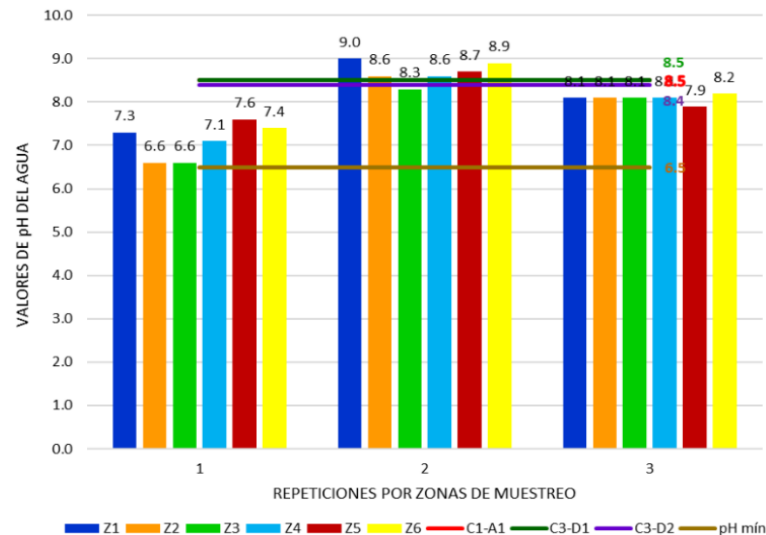


Figura 16. Valores de pH en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

El análisis de varianza realizado a los valores de pH de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que no presentaron diferencia estadística significativa ($F=0.18$; $gl=5$; $P=0.9645$) (Tabla 23 – Anexos), según la prueba de Tukey se observa que los valores de pH son similares (Figura 17).

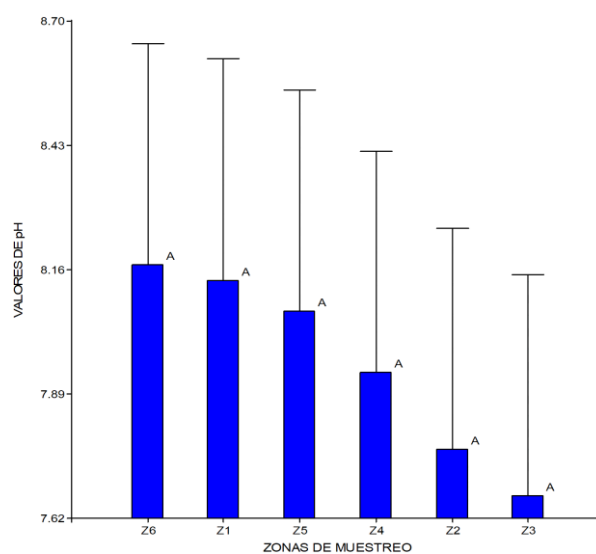


Figura 17. Prueba Tukey del pH de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Los valores de pH obtenidos en la investigación, fueron similares a los obtenidos por Gamboa (2018), quien en agua superficial del centro poblado de Sacsamarca (Ayacucho – Perú), obtuvo valores de pH de 7; asimismo a los de Pacori (2018), quien en fuentes hídricas de la ciudad de Sicuani (Cusco – Perú) determinó valores de pH de 7.40 - 7.54; a los de Forero (2015), quien en la subcuenca del río Soacha (Cundinamarca – Colombia), registró valores de pH entre 6.57 y 7.65; a los de Samillán (2014), quien evaluó el agua del río Reque (Chiclayo – Perú) y registró valores de pH entre 7.3 y 7.7; a los de Medina *et al.* (2016), quienes en agua para riego del municipio de Tuxcacuesco (México), determinaron valores de pH entre 7.1 a 8.5. Por otro lado, fueron similares, pero sobrepasando los valores de la norma vigente a los de DIGESA & SEDAPAL (2011), quienes en el río Rímac (Huarochirí – Lima), registraron valores de pH de 8.85 y los de Fuentes *et al.* (2008), quienes reportaron en el río Manzanares (Sucre – Venezuela) valores de pH de 6.04 – 8.88.

En la primera repetición, en las zonas Z2 y Z3 fueron las que presentaron los más bajos valores de pH, dichos valores bajos se deberían a la presencia de mucha vegetación, la presencia de estiércol de vacunos y a los ácidos débiles orgánicos producto de la descomposición de materia orgánica (Nieves *et al.*, 2011). Mientras que los valores altos de pH se atribuirían a la presencia de pozas de oxidación y es mayor ante la intensidad luminosa, ya que los organismos fotosintéticos secuestran las moléculas de CO₂ para la fotosíntesis, llegando inclusive a valores de 9 (Rolim, 2000). El parámetro del pH no es un factor indispensable para determinar la calidad del agua para riego, pero si indica concentraciones relativas de moléculas de carbonatos (Baccaro *et al.*, 2006). Los valores de pH óptimo para suelos agrícolas varían entre 6.5 y 7.5, con ellos se obtienen mejores rendimientos y mayor productividad (Romero *et al.*, 2009), por tanto, las muestras de las zonas Z1, Z2, Z3, Z4 y Z6, serían las óptimas para utilizarlas para riego de vegetales, en



la primera repetición, ello debido probablemente a que el caudal haya incrementado y el movimiento del agua, producto de lluvias o vertimientos que arrastraron materia orgánica y en contraposición si se lograra la irrigación de campos de cultivos, las plantas presentarían problemas de asimilación de nutrientes, ocasionando la disminución del crecimiento tal como se observó en el crecimiento de maíz (Islam *et al.*, 1980).

Paredes (2013), afirma que la variación del pH, está influenciado por la fotosíntesis en la zona trofogénica que provoca la disminución de CO₂, el aumento de pH se debe al movimiento de sus aguas, la presencia de olas y la presencia de organismos fotosintéticos, por otro lado, en la zona trofolítica el aumento de CO₂ disminuye el pH del agua gracias a la fermentación microbiana, la nitrificación del amonio y la oxidación de sulfuros. Los organismos acuáticos toleran intervalos de pH de 6 a 9 en tal sentido es posible encontrar organismos en el río Cañipía, si fuera menor a 5 y mayores a 9, causa la mortalidad del 50% de fases juveniles de peces, como se determinó en el salmón, reduciendo su capacidad de nado, por la acumulación de amoniaco (Robinette, 1976) y la imposibilidad del transporte de oxígeno (Boyd, 1990).

4.2 CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO

4.2.1 Plomo

La concentración de plomo en el agua en las tres zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 0.009 mg/l y 0.013 mg/l en las zonas Z6 y Z1 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z1 con 0.013 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 0.0000 y 0.0260 mg/l y el menor la zona Z6 con un promedio de 0.009 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 0.0000 y 0.0180 mg/l (Tabla 11).

Tabla 11. Concentraciones de plomo (mg/l) en aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad, UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.

Metales	Zona de muestreo	R1	R2	Prom	DE
Pb (mg/l)	Z1 – Huini	0.02600	0.0000	0.013	0.02
Cat. 1, A1: 0.01	Z3 – San José	0.02300	0.0012	0.012	0.02
Cat. 3, D1 y D2: 0.05	Z6 – Pte. Cañipía	0.01800	0.0000	0.009	0.01

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de plomo para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 0.01 mg/l, riego de vegetales (categoría 3 – D1) y bebida de animales (categoría 3 – D2), ambos con 0.05 mg/l. Las muestras de agua del río Cañipía estuvieron por debajo de los valores recomendados para riego de vegetales y bebida de animales (0.05 mg/l); mientras que, para ser potabilizadas con desinfección, superaron los rangos recomendados por la norma ambiental, especialmente en el muestreo de la primera repetición, oscilando entre 0.018 y 0.026 mg/l, ello se debería a que el muestreo coincidió con la presencia de lluvias, las cuales arrastraron escombros y residuos mineros, los cuales podrían contener metales pesados, mientras que en la segunda repetición las cifras de plomo estuvieron debajo de la norma vigente (Figura 18).

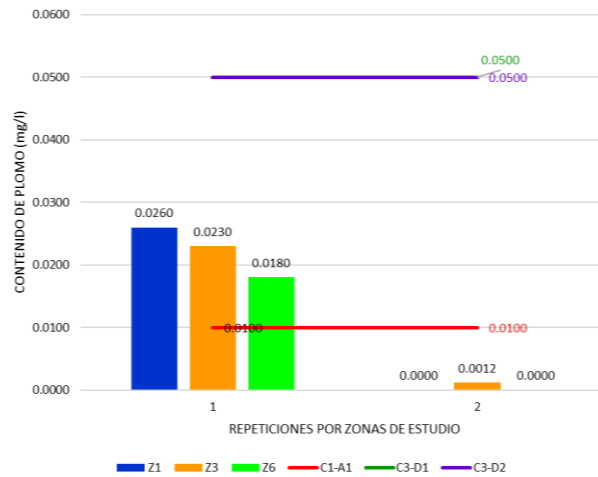


Figura 18. Valores de plomo en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.

La prueba de Kruskal Wallis realizada a los valores de plomo en las muestras de agua del río Cañipía en las tres zonas de estudio predeterminadas, no presentaron diferencia estadística significativa ($H=0.50$; $g1=5$; $P=0.8667$) (Tabla 24 – Anexos), pero según la prueba de Tukey el mayor promedio de concentración de plomo lo presentó la zona Z1, seguido de las zonas Z3 y Z6 respectivamente (Figura 19).

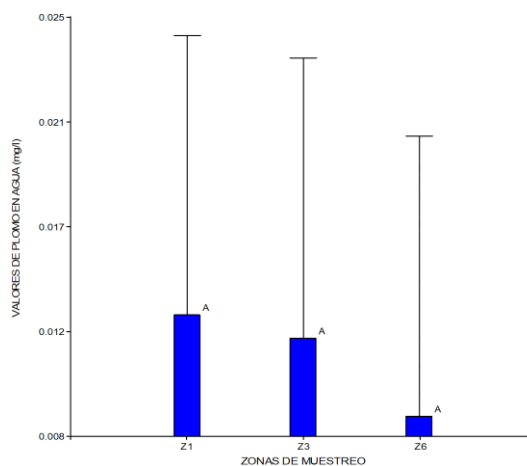


Figura 19. Prueba Tukey de concentraciones en plomo de las aguas del río Cañipía, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM – Arequipa, setiembre – noviembre 2019.



Los resultados obtenidos de concentración de plomo en la investigación oscilaron entre 0.009 y 0.013 mg/l, estos resultados fueron superiores a los reportados por Álvarez *et al.* (2008), quienes en el río Amajac (México), determinaron valores de plomo de 0.002 a 0.008 mg/l; fueron similares a los reportados por Sarabia *et al.* (2011), quienes reportan en muestras de agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), valores de plomo de 0.01 mg/l; e inferiores a los registrados por Huaranga *et al.* (2012), quienes determinaron en agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), valores de plomo de 100.375 mg/l.

Por lo que se observó *in situ* en el río Cañipía, éste sufre cambios repentinos en cuanto a su velocidad, caudal, turbulencia y coloración, en cuestión de instantes, debido probablemente al vertimiento de efluentes mineros y/o residuales en algún punto de su recorrido, que por la cercanía de la minera Antapacay, podría ser la que influiría en el contenido de los metales pesados, lo que pudo haber influido en el contenido de plomo en las muestras de agua ya que variaron de una repetición a otra. Los metales pesados en un ambiente desencadenan intoxicaciones irreparables en la salud humana y animal, como lo son los efectos teratogénicos, cáncer e incluso la muerte, a causa de que alteran los procesos bioquímicos y fisiológicos produciendo diversas patologías (Londoño *et al.*, 2016).

Los metales pesados encontrados en el río Cañipía entre ellos el plomo, posee diversos orígenes como industrial, tecnológica, agropecuaria, minera y procedentes de los fertilizantes químicos quienes poseen metales pesados y sus efluentes desembocan a los ríos, llegando a afectar a los vegetales, animales y alimentos, la alterando la sostenibilidad de la cadena trófica, en la naturaleza y en la sociedad, mediante problemas serios en la salud humana y animal (Waisberg *et al.*, 2013). La población que consume el agua con altos niveles de plomo traería consigo retraso en el desarrollo mental e intelectual de los



niños, hipertensión y afecciones cardiovasculares en adultos; en el caso de los animales sufrirían intoxicaciones por ingestión mediante forrajes regados con dichas aguas del río (ATSDC, 2011).

Por la semejanza con el calcio, el plomo se absorbe y distribuye en riñón, hígado, encéfalo y huesos, la población que consumió las aguas del río Cañipía sufriría la inhibición de la síntesis de hemoglobina llegando a causar daño neurológico (IPCS, 1998), en el sistema nervioso central se originaría parestesia, dolor y debilidad muscular, crisis hemolítica anemia grave y hemoglobinuria, afectando los riñones se iniciaría procesos de oliguria y albuminuria, muchas veces la intoxicación aguda puede terminar en la muerte, pero en caso de intoxicación crónica se presentaría daño gastrointestinal, neuromuscular, nervioso, hematológico, renal y reproductivo (McCrill *et al.*, 2013). En los humanos, el plomo traería la esterilidad y muerte neonatal, de similar forma en animales tiene un efecto tóxico sobre los gametos y el incremento de plomo en sangre materna, reduciría el tiempo de la gestación y el peso de las crías en el nacimiento (Tavakoly *et al.*, 2011).

La OPS (1998), manifiesta que el plomo del agua es muy tóxico y acumulativo en músculos, hígado, bazo, pudiendo pasar a través de cadenas tróficas, tal como lo demostró Bustamante (1978) quien determinó que una solución con 65.67 mg/l de plomo produjo una mortalidad del 50% de *Chryphiops caementarius* “camarón de río”, asimismo, registró que el período medio de supervivencia de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” en aguas conteniendo plomo en 1.6 mg/l, incrementó su toxicidad aunado a una reducción de la concentración de oxígeno presente en el agua.

En plantas, el riego con agua del río con altos niveles de plomo, traería consigo efectos en la imbibición y la germinación de maíz y frijol, limitando su crecimiento limitando también el crecimiento de hiervas cercanas al ribera del río y en zonas donde no se presenta crecimiento alguno (Wierzbicka & Obidzińska, 1998), generalmente a causa de que el plomo se acumula en forma de plomo – fosfato, estimulando el engrosamiento de la pared celular (Malkowski *et al.*, 2005), claro existiendo especies vegetales más resistentes al plomo, pero originan estrés en procesos fisiológicos importantes como la fotosíntesis, desencadenando la disminución del crecimiento y su producción de frutos Wang *et al.* (2007).

4.2.2 Arsénico

La concentración de arsénico en el agua en las tres zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 0.0076 mg/l y 0.0151 mg/l en las zonas Z1 y Z6 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z6 con 0.0151 mg/l, cuyos valores oscilaron entre 0.0230 y 0.0072 mg/l y el menor la zona Z1 con un promedio de 0.0076 mg/l, donde sus valores fluctuaron entre 0.0140 y 0.0012 mg/l (Tabla 12).

Tabla 12. Concentraciones de arsénico (mg/l) en aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

Metales	Zonas de muestreo	R1	R2	Prom	DE
As (mg/l)	Z1 – Huini	0.0140	0.0012	0.0076	0.01
Cat. 1, A1: 0.01	Z3 – San José	0.0190	0.0012	0.0101	0.01
Cat. 3, D1: 0.1 y D2: 0.2	Z6 – Pte. Cañipía	0.0230	0.0072	0.0151	0.01

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de As para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 0.01 mg/l,

riego de vegetales (categoría 3 – D1) con un valor de 0.1 mg/l y bebida de animales (categoría 3 – D2), con un valor de 0.2 mg/l. Las muestras de agua del río Cañipía estuvieron por debajo de los valores recomendados para riego de vegetales (0.1 mg/l) y bebida de animales (0.2 mg/l); mientras que, para ser potabilizadas con desinfección (0.01 mg/l), superaron los rangos recomendados por la norma ambiental, especialmente en el muestreo de la primera repetición, oscilando entre 0.0140 y 0.0230 mg/l, ello se debería como se mencionó anteriormente a que el muestreo se realizó probablemente a la presencia de lluvias que arrastran escombros y residuos de diferentes actividades antrópicas e industriales que poseerían metales pesados, mientras que en la segunda repetición las cifras de plomo estuvieron debajo de la norma vigente (Figura 20).

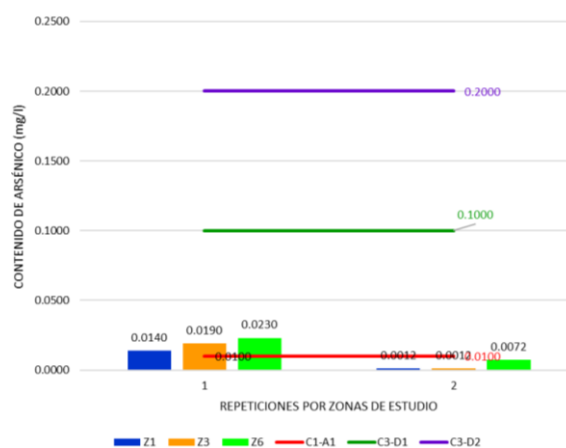


Figura 20. Valores de arsénico en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

La prueba de Kruskal Wallis realizada a los valores de As en las muestras de agua del río Cañipía en las tres zonas de estudio predeterminadas, no presentaron diferencia estadística significativa ($H=0.93$; $gl=2$; $P=0.7333$) (Tabla 25 – Anexos), pero según la prueba de Tukey el mayor promedio de concentración de As lo presentó la zona Z6, seguido de las zonas Z3 y Z1 respectivamente (Figura 21).

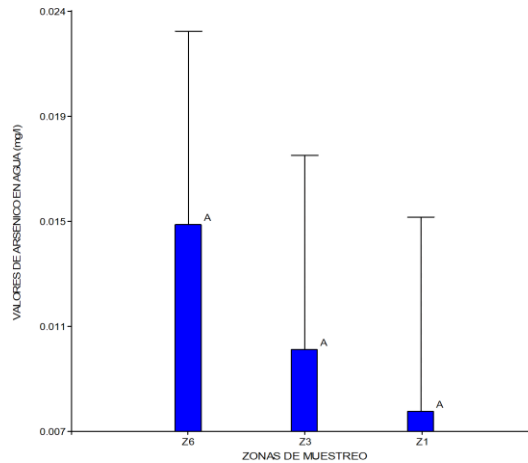


Figura 21. Prueba Tukey de concentraciones en arsénico de las aguas del río Cañipía, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

La concentración de arsénico en el agua del río Cañipía varió entre 0.076 mg/l y 0.0151 mg/l, estos fueron superiores a los obtenidos por Sarabia *et al.* (2011), quienes reportan en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), con contenidos de As de 0.003 mg/l e inferiores a los registrados por Huaranga *et al.* (2012), quienes determinaron en agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), valores de As de 9.000 mg/l.

Bueno se debe tener cuidado con el uso de agua del río Cañipía tanto para consumo humano, para riego de vegetales y bebida de animales, en razón de que, consumido por las poblaciones ribereñas, posiblemente sufra de manifestaciones clínicas como incoordinación y ataxia, mientras que en animales como cerdos y aves estarían paralizados, aunque continuarán comiendo y bebiendo, asimismo presentarán ceguera y eritema cutáneo en animales albinos y en terneros poseerían síntomas gastrointestinales (Cintia, 2013). Adicionalmente, en los pobladores se mostraría como toxicidad crónica con arsénico origina lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis e hiperpigmentación) y vasos sanguíneos del sistema nervioso e hígado, cuando ya se complican pueden llegar a



la muerte, pero previamente fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia (Moreno, 2013) y llegar a procesos cancerígenos en la piel (basilioma y carcinoma de células escamosas), pulmón (carcinoma broncogénico), hemangiosarcoma hepático, linfoma y cáncer de vejiga, riñón y nasofaringe (Casey *et al.*, 2010).

Las plantas expuestas al arsénico mediante el riego con agua contaminada o suelo contaminado de un río que la posea, son transformadas y movilizadas a los tejidos de la planta, afectan el crecimiento, la germinación de las plantas, inician el estrés oxidativo, reduce la absorción de fósforo, inhibe la elongación radicular, disminuye la división celular, el número de hojas, la altura de la planta, el porcentaje de germinación, origina cambios morfológicos y alteran la fotosíntesis (Pérez & Fernández, 2014). La afectación del crecimiento y las características nutricionales de los forrajes, reducen la nutrición de los animales, disminuyendo su capacidad productiva, se debe tener en cuenta que el As una vez consumida no se excreta y se acumula en los tejidos (Rusu & Meghea, 2015).

4.2.3 Mercurio

La concentración de mercurio en el agua en las tres zonas de muestreo previamente establecidas tuvieron un valor de 0.00041 mg/l, en todas sus muestras (Tabla 13).

Tabla 13. Concentraciones de Mercurio (mg/l) en tres zonas de las aguas del río Cañipía, Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

Metales	Zonas de muestreo	R1	R2	Prom	DE
Hg (mg/l)	Z1 – Huini	0.00041	0.00041	0.00041	0.00
Cat. 1, A1: 0.001	Z3 – San José	0.00041	0.00041	0.00041	0.00
Cat. 3, D1: 0.001; D2: 0.01	Z6 – Pte. Cañipía	0.00041	0.00041	0.00041	0.00

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de mercurio para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) y riego de vegetales (categoría 3 – D1) en ambos con un valor de 0.001 mg/l, y bebida de animales (categoría 3 – D2), con un valor de 0.01 mg/l. Las muestras de todas las zonas de muestreo del río Cañipía, no superan ningún parámetro establecido en la norma ambiental vigentes (Figura 22).

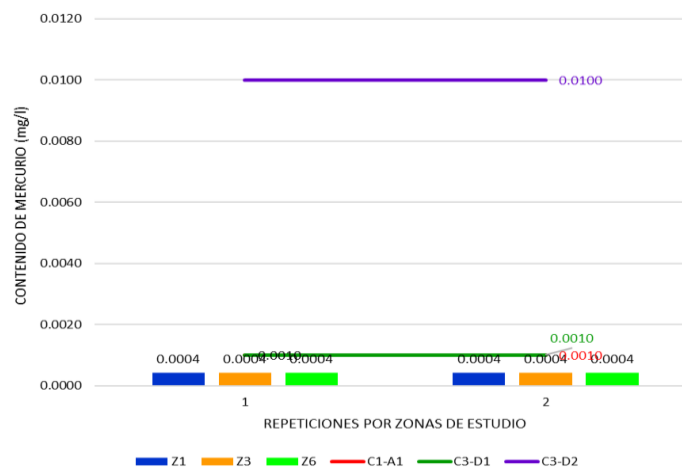


Figura 22. Valores de mercurio en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron superiores a los obtenidos por Chata (2015), quien obtuvo concentraciones de mercurio en agua del río Chata inferiores



a 0.00020 mg/l, los cuales no superaron los ECA para bebida de animales y riego de vegetales; asimismo fue superior a lo obtenido por Flores (2016), quien registró concentraciones de mercurio entre 0.0003 y 0.0004 mg/l en el agua del río Grande en Cajamarca (Perú); pero inferiores a los reportados por la DIGESA (2011), quien en el monitoreo del río Ramis y afluentes (Puno – Perú), reportó valores de mercurio entre 3.82 y 4.36 veces superiores a los recomendados en los ECA para agua categoría 4.

Como se observa en la Figura 22, las concentraciones de mercurio en las aguas del río Cañipía no originaría problemas en los animales, plantas y los humanos, a pesar de ello, el mercurio es un contaminante cosmopolita y posee efectos sobre la salud pública, sus fuentes pueden ser naturales y antropogénicas, donde la minería aurífera es la principal fuente de emisión y todas las formas del metal son tóxicas, pudiendo llegar a la muerte (Clakson *et al.*, 2003), así como los anteriores metales evaluados en la investigación, el mercurio es persistente y bioacumulativo, como en las plantas, ingresando así a la cadena trófica, traspasando a los animales y al hombre (Islam *et al.*, 2007). El ser humano puede adquirir al mercurio a partir del consumo de alimentos (alimentos vegetales, animales domésticos o peces), el consumo de agua y la respiración de aire con metales pesados (Gustin *et al.*, 1994). Los compuestos a base de mercurio se absorben fácilmente y son neurotóxicos, principalmente el metilmercurio es absorbido a través del tracto gastrointestinal (Goldman & Shannon, 2001).

Al igual que otros metales el metilmercurio está asociado a trastornos del cerebelo y teratogénesis, ya que se une a las proteínas mediante los grupos sulfhidrilos, y al originar especies reactivas de oxígeno originan su toxicidad, en razón de que actúan sobre las citoquinas (Aschner *et al.*, 2007). De similar forma atraviesa la placenta en unión mercurio – cisteína mediante el sistema de transporte activo para aminoácidos neutros, que es riesgo para el feto y traer problemas en los recién nacidos (Bocayuva *et al.*, 2005).



Entre los efectos del mercurio sobre las plantas, Sarkar & Jana (1986), afirman que concentraciones de mercurio disminuyen la clorofila, las proteínas y en el peso seco, debido a que incrementa la permeabilidad de los tejidos; pero a concentraciones menores a 1 mg/l de mercurio, los efectos son menores. Otra consecuencia del mercurio en las plantas acuáticas son la presencia de células meristemáticas con micronúcleos, producto de las aberraciones cromosómicas producidas por sustancias tóxicas Panda *et al.* (1988).

4.3 CARGA BACTERIANA DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES EN AGUAS DEL RÍO CAÑIPÍA, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO

4.3.1 Coliformes totales

El contenido de bacterias coliformes totales en el agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 22.33 NMP/100ml y 467.67 NMP/100ml en la zona Z5 y Z1 respectivamente; el más alto promedio se obtuvo en la zona Z1 con 467.67 NMP/100ml, cuyos valores oscilaron entre 93 y 1100 NMP/100ml y el menor la zona Z5 con un promedio de 22.33 NMP/100ml, donde sus valores fluctuaron entre 11 y 28 NMP/100ml (Tabla 14).

Tabla 14. Carga bacteriana de coliformes totales (NMP/100 ml) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Bacterias	Zonas de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Coliformes totales (NMP/100ml) Cat. 1, A1: 50 Cat. 3, D1 y D2: no aplica	Z1 – Huini	210	93	1100	467.67	550.73
	Z2 – Q'onco	11	460	21	164.00	256.39
	Z3 – San José	14	75	11	33.33	36.12
	Z4 – Atacally	150	20	11	60.33	77.78
	Z5 – Ccarachiana	28	11	28	22.33	9.81
	Z6 – Pte. Cañipía	75	1100	7	394.00	612.36

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de coliformes totales solo para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 50 NMP/100ml, mientras que no aplica para riego de vegetales (categoría 3 – D1) ni para bebida de animales (categoría 3 – D2). De los 18 muestreos realizados, ocho superaron los valores de la categoría 1 – A1, en la primera repetición estuvo elevado en las zonas Z1, Z4 y Z6, en la segunda repetición fue superior en las zonas Z1, Z2, Z3 y Z6, mientras que en la tercera repetición solo fue superior en la zona Z1 (Figura 23).

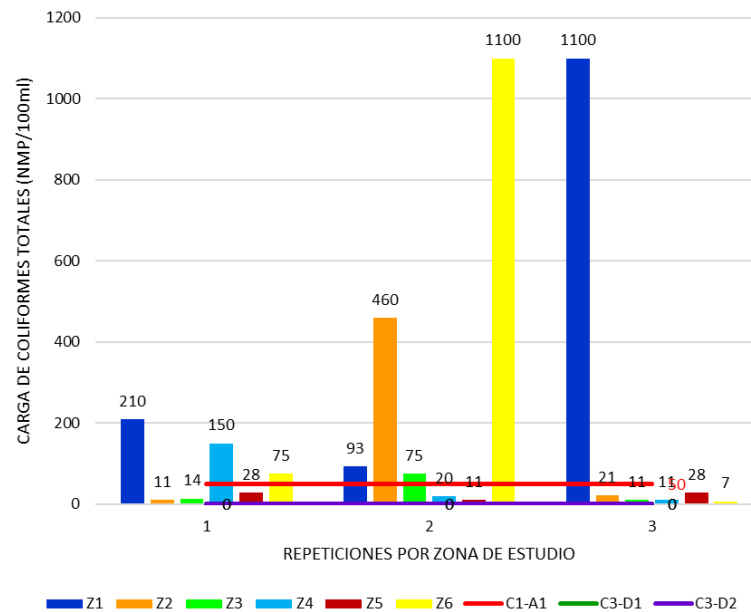


Figura 23. Carga bacteriana de coliformes totales en las aguas del río Cañipía según normas ECA para aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

La prueba de Kruskal Wallis realizado a los valores de coliformes totales de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, resultó que no presentaron diferencia estadística significativa ($H=4.68$; $gl=5$; $P=0.4474$) (Tabla 26 – Anexos), según la prueba de Tukey a pesar de que no hubo diferencia estadística, los mayores promedios de coliformes totales lo presentaron las zonas Z1 y Z6, y los menores promedios en las zonas Z3 y Z5 (Figura 24).

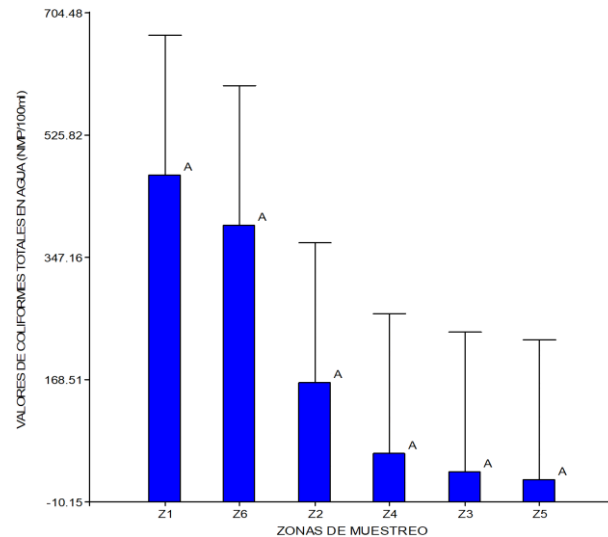


Figura 24. Prueba Tukey de coliformes totales de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Los datos de coliformes totales en las zonas evaluadas del río Cañipía llegaron a valores de 467.67 NMP/100ml, estos resultados fueron inferiores a los reportados por Sarabia *et al.* (2011), quienes en el agua de riego para suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí (México), reportaron valores de coliformes totales de 1085.70 NMP/100ml y la DIGESA & SEDAPAL (2011), que en río Rímac, provincias de Lima y Huarochirí, los recuentos de coliformes totales fueron de 49,000 NMP/100 ml.

En la investigación, los recuentos de coliformes totales superaron la normatividad vigente para la Categoría 1 (poblacional y recreacional), presumiblemente se debería a la proximidad con plantas de tratamiento de agua residual, tal como lo menciona Gil *et al.* (2013) al reportar fuentes de agua de Guarapiche (Venezuela) con altos valores de coliformes totales que superaban la norma vigente o por vertimientos directo de aguas residuales. Por otro lado, la presencia de coliformes totales en el agua del río Cañipía indica que habría la posibilidad de presencia de otras bacterias patógenas tales como *E. coli*, *Klebsiella sp*, *Serratia sp*, *Enterobacter sp*, *Providencia sp*, *Cedacea sp*, *Citrobacter*



sp, entre otras bacterias (Rivera *et al.*, 2006). Por lo tanto, utilizar el agua del río Cañipía para riego de vegetales, tendría su desventaja de uso debido al indicador de coliformes totales, que según Juárez (2012) representaría la presencia de bacterias, virus y parásitos procedentes de las aguas residuales, el cual sería un riesgo para la salud de los agricultores y las comunidades que poseerían contacto prolongado, así como los consumidores de las cosechas obtenidas con irrigación contaminada.

Los coliformes totales al ser indicadores microbiológico de contaminación de agua, mostraron que el río Cañipía contiene contaminación por presencia de flora saprófita intestinal, a ellas se adiciona *Bacteroides fragilis*, bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales (termotolerantes), *Escherichia coli* y *estreptococos fecales*, muchas tienen origen animal ya que proceden de explotaciones pecuarias y se constituyen en un potencial foco de enfermedades zoonóticas, entre ellos estreptococos fecales y parásitos como *Giardia intestinalis* y *Cryptosporidium spp.*, (Kim *et al.*, 2014).

Los valores de coliformes totales hallados en la investigación demostraría que el agua del río Cañipía, serían causados por la presencia de lixiviados, procedentes de la degradación de botaderos de residuos sólidos y al vertimiento de aguas residuales al río, en las proximidades las comunidades ribereñas no cuentan con tratamiento para sus aguas residuales y carecen del sistema de alcantarillado, por lo que vierten sus aguas directamente en los ríos, asimismo, posee un mala disposición de los residuos sólidos de la minera y sus lixiviados se infiltrarían en acuíferos produciendo la contaminación por coliformes (Castro & Meza, 2015)

4.3.2 Coliformes termotolerantes

El contenido de bacterias coliformes termotolerantes en el agua en las seis zonas de muestreo previamente establecidas oscilaron con promedios de 3.00 NMP/100ml y 9.67 NMP/100ml en las zonas Z2, Z4, Z5 y Z6; el más alto promedio se obtuvo en la zona

Z6 con 9.67 NMP/100ml, cuyos valores oscilaron entre 3 y 23 NMP/100ml y el menor en las zonas Z2, Z4 y Z5 con un promedio de 3.00 NMP/100ml, donde todos sus valores fueron iguales a 3.00 NMP/100ml (Tabla 15).

Tabla 15. Carga bacteriana de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) en aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Bacterias	Zonas de muestreo	Repeticiones			Prom	DE
		1	2	3		
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml) Cat. 1, A1: 20 Cat. 3, D1 y D2: 1000	Z1 – Huini	7	3	3	4.33	2.31
	Z2 – Q'onco	3	3	3	3.00	0.00
	Z3 – San José	9	3	4	5.33	3.21
	Z4 – Atacally	3	3	3	3.00	0.00
	Z5 – Ccarachiana	3	3	3	3.00	0.00
	Z6 – Pte. Cañipía	23	3	3	9.67	11.55

Las normas ECA de agua, consigna valores permitidos de coliformes termotolerantes para agua que pueden ser potabilizadas con desinfección (categoría 1 – A1) con un valor de 20 NMP/100ml, riego de vegetales (categoría 3 – D1) y bebida de animales (categoría 3 – D2), estos últimos con un valor de 1000 NMP/100ml. En tal sentido, de los 18 muestreos realizados, una muestra de la zona Z6 de la primera repetición superó el valor de la categoría 1 – A1, mientras que todas fueron inferiores a los recomendados para la categoría 3, subcategorías D1 y D2 (Figura 25).

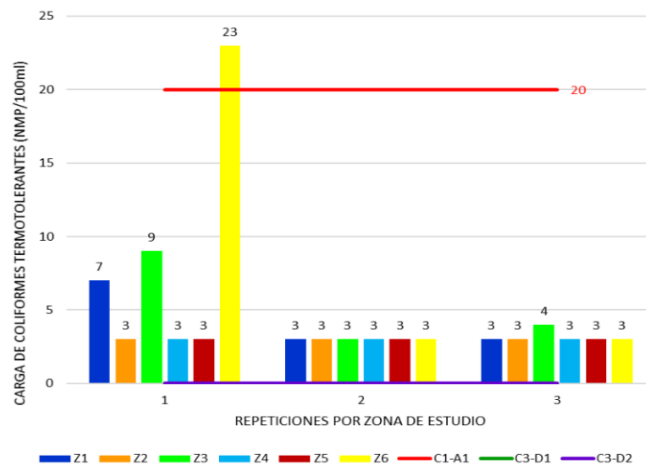


Figura 25. Carga bacteriana de coliformes termotolerantes en las aguas del río Cañipía según normas ECA de aguas, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

La prueba de Kruskal Wallis realizado a los valores de coliformes termotolerantes de las muestras de agua del río Cañipía en las seis zonas de estudio predeterminadas, no presentaron diferencia estadística significativa ($H=2.99$; $gl=5$; $P=0.3435$) (Tabla 27 – Anexos), según la prueba de Tukey el mayor promedio de coliformes termotolerantes se presentó en la zona Z6 y las menores en las zonas Z2, Z5 y Z4 (Figura 26).

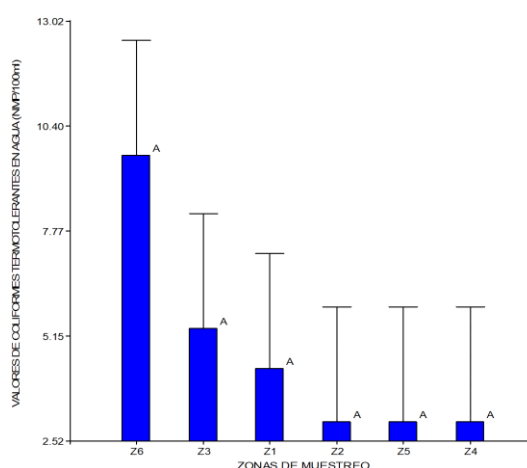


Figura 26. Prueba Tukey de coliformes termotolerantes de las aguas en el río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019



Los valores obtenidos de recuento de coliformes termotolerantes en la investigación, llegaron a un promedio superior de 9.67 NMP/100ml, éstos fueron inferiores a los mencionados por Romeu *et al.* (2012), quienes en el río Luyanó (La Habana – Cuba), cuantificaron coliformes termotolerantes entre 1.1×10^4 y 5.7×10^6 UFC/100ml, siendo catalogadas como no adecuadas para realizar actividades recreativas ni riego agrícola; a los registrados por DIGESA & SEDAPAL (2011), quienes determinaron en el río Rímac, provincias de Lima y Huarochirí, valores de coliformes termotolerantes de 23,000 NMP/100ml; y a los citados por Fuentes *et al.* (2008), quienes indicaron que el río Manzanares (Sucre – Venezuela), presentó coliformes termotolerantes de 1 a 2.4×10^7 NMP/100ml.

Como se observa en el trayecto del río Cañipía, en varios puntos de muestreo, las aguas son utilizadas para el riego de vegetales y bebida de animales, ante la presencia de las bacterias coliformes termotolerantes, constituiría una fuente de contaminación microbiana para los cultivos a causa de la presencia de vertederos de aguas residuales los cuales se vierten al río Cañipía, tal como se presenta en las periferias de Cajamarca donde riegan con aguas contaminadas (Pajares, 2004).

A pesar de que el agua de estudio no superan los valores recomendados en la norma vigente, la presencia de coliformes termotolerantes indicaría contaminación, en razón de que los organismos coliformes de origen fecal como *Escherichia coli*, sólo residen en el intestino humano o animal, su hallazgo indicaría también la presencia de microorganismos entéricos patógenos que originan el cólera, la fiebre tifoidea, la shigelosis, la amebiasis e inclusive la hepatitis (Vega *et al.*, 2004), muchos de estos tienen la capacidad de sobrevivir por largos períodos de tiempo, en especial en las hortalizas frescas, incluso se multiplican durante su almacenamiento (López *et al.*, 2003), en caso el río Cañipía mostrara altos recuentos de coliformes termotolerantes estarían expuestos



a la propagación de enfermedades diarreicas bacterianas (Rubeglio & Tesone, 2007).



V. CONCLUSIONES

- En las aguas del río Cañipía se determinaron que los parámetros alcalinidad, cloruros, sulfatos, conductividad y pH, no se encuentran dentro de los valores permitidos por la categoría 1 - A1 (poblacional y recreacional), asimismo los parámetros alcalinidad, cloruros y pH superan los valores permitidos por la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), y los restantes parámetros evaluados cumplen con la normatividad vigente, por lo tanto las aguas no cumplen con las características de calidad para su uso poblacional, recreacional, riego de vegetales y bebida de animales.
- En las aguas del río Cañipía se determinaron que las concentraciones de plomo y arsénico supera los valores recomendados para la categoría 1 - A1 (poblacional y recreacional), mientras tanto que las concentraciones de plomo y mercurio se encuentran en el rango establecido para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), por lo tanto, las aguas no cumplen con las características de calidad para el uso poblacional y recreacional.
- En las aguas del río Cañipía se determinaron que los recuentos de coliformes totales y termotolerantes sobrepasan los valores recomendados para la categoría 1 - A1 (poblacional y recreacional), mientras tanto que los recuentos de coliformes totales y termotolerantes se encuentran dentro del rango establecido para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), por lo tanto, las aguas no cumplen con las características de calidad para su uso poblacional y recreacional.



VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar microalgas y macroinvertebrados como posibles bioindicadoras ambientales que corroboren los resultados de los valores fisicoquímicos, en razón de que entre repetición y repetición se encontró mucha variabilidad de resultados.
- Se recomienda continuar con los estudios de investigación de la calidad de agua, en el río Cañipía en diferentes estaciones del año, para mostrar en cuál es la mayor contaminación o si es por arrastre de la lluvia.
- Realizar evaluaciones de contenido de metales pesados en macrófitas presentes en el río Cañipía para determinar la contaminación por efluentes mineros, los cuales poseen metales pesados.



VII. REFERENCIAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. & Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*. Vol. 119: 177.
- Álvarez, J., Panta J., Ayala C. & Acosta E. (2008). Calidad integral del agua superficial en a la cuenca hidrológica del río Amajac. *Información Tecnológica*. Vol. 19 (6): 21 – 32.
- Alzieu, C. & Maggi P. (1974). Le milieu naturel et ses variations. En: la conchiculture francaise. Les alterations du mulieu natural. Les pollutions. Cap. III, 85 – 121. Institut SCientifique et Technique des Peches Maritimes. Nantes.
- Alzieu, C. (1984). Efectos de la contaminación química de las aguas sobre la ostricultura. IV Jornadas Técnicas sobre la “ostra”, Pontevedra, octubre (1984). Asociación de Científicos y Tecnólogos de Alimentos de Galicia. *Alimentaria*. Vol. 158: 95 – 100.
- Angelova V., Ivanova R., Delibaltova V. & Ivanov K. (2004). Bio – accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*. Vol. 19: 197–205.
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia: Ed. McGraw Hill. p. 31.
- Arcos, Y., Betancur J., Peñuela G. & Aguirre N. (2010). Relación entre las formas solubles de hierro y manganeso y la presencia de bacterias oxidadoras de ambos elementos en el embalse Riogrande II – Don Matías (Antioquía, Colombia). *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. No. 55: 45 – 55.
- Asano, T. & Levine, D. (1998). Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse. Takashi Asano (editor). Technomic Publishing. Lancaster. 1528 p.
- Asano, T. (1998). Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management Library. Vol. 10. Technomic Publishing Company. Lancaster. PA. USA.
- Aschner, M., Syversen T., Souza D., Rocha J. & Farina M. (2007). Involvement of glutamate and reactive oxygen species in methylmercury neurotoxicity. *Braz J Med Biol Res*. Vol. 40: 285 – 291.
- Atlas, R. & Bartha R. (2002). *Microbiology Ecology Fundamentals and Applications*. 4ta. ed. Ed. Addison Wesley Longman. Madrid. p 441-446.



- ATSDC, Agency for Toxic Substances and Disease Control. (2011). División de Toxicología y Medicina Ambiental. Departamento de Salud y Servicios humanos de los EEUU. Washington (USA): Servicio de Salud Pública. 269 p.
- Ayers, R. & Westcot. (1987). La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Trad. Al español por J.F. Alfaro de: Water Quality and use agricultura.
- Baccaro, K., Degorgue M., Lucca M., Picone L., Zamuner E. & Ancheoli Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata. Rev. RIA. Vol. 35, No. 3: 95 – 110.
- Barceló, J. & Poschenrieder C. (2003). Phytoremediation: principles and perspectives. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. Contributions to Science. Vol. 2 (3): 333 – 344.
- Beita W. (2008). Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciado en Química. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Costa Rica. 95 p.
- Benoit, D. & Stephan Ch. (1988). Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Chloride. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Duluth, Minnesota, EEUU.
- Bocayuva, L., Magalhães V., Malm O. & de Oliveira E. (2005). Performance on neurological development tests by riverine children with moderate mercury exposure in Amazonia, Brazil. Cadernos de Saúde Pública. Vol. 21 (4): 1160 – 1167.
- Bohn, L., McNeal B. & O'Connor A. (1985). Soil Chemistry Wiley-InterScience Publications, NY, USA.
- Boyd, C. (1990). Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University, Alabama. 482 p.
- Bustamante, L. (1978). Bioensayos de contaminantes metálicos y su efecto en el camarón juvenil *Cryphiops caementarius* M. Tesis Ingeniero Pesquero. UNLM. Lima - Perú. 91 pp.
- Campos, N. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María, Caribe Colombiano. Rev. Caldasia. Vol. 16: 231 - 144.
- Casey, E., Smith A. & Zhang P. (2010). Microminerals in human and animal milk. In: Handbook of milk composition. 1 ed. New York (USA): Academic Press. 543 – 575.



- Castro, S. & Meza K. (2015). Evaluación de la calidad del agua del acuífero de Morroa – Sucre, mediante análisis fisicoquímico y microbiológico: plan de seguimiento y monitoreo ambiental. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias – Colombia.
- Chata, A. (2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata 2015. Tesis de Licenciada en Nutrición Humana. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 57 p.
- Chiang, A. (1989). Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos, Santiago. Serie CPPS. 205 - 215 p.
- Christian, G. (2009). Química Analítica. Editorial McGraw-Hill. Sexta edición. México.
- Cintia, S. (2013). Estudio de acumulación de metales pesados en los sedimentos de jaulas de peces de crianza y en puertos de la isla de Tenerife. Tesis de Ph. D. en Agronomía. Facultad de Agronomía, Universidad de la Laguna. 165 p.
- Clarkson, T., Magos L. & Myers G. (2003). The Toxicology of Mercury - Current Exposures and Clinical Manifestations. The New England Journal of Medicine. Vol. 349: 1731 – 1737.
- Contreras, J., Mendoza L., Gómez A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina. Revista Ciencia y Sociedad. República Dominicana. Vol. 29 (1): 38 – 71.
- Cordón, R. (1985). Estudio comparativo de la contaminación por metales pesados en aguas, sedimentos y tres especies animales (*Crassostrea angulata*, *Dicentrarchus labrax* y *Mugil auratus*) en los estuarios de los ríos Guadal – Quivir y Barbate. Tesis de Licenciado en Ciencias Biológicas. Universidad de Córdoba. Argentina. 210 p.
- Cordova, M. (2017). Calidad del agua en la microcuenca del río Challhuahuacho comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para riego y bebedero (ECA 3) en la zona de Challhuahuacho, Cotabamba – Apurímac. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Cajamarca – Perú.
- Corzo, R. (1986). El problema de los residuos mineros en el Perú. Encuentro Latinoamericano sobre Residuos Peligrosos y Residuos Mineros. Ministerio de Salud, Dirección Técnica de Saneamiento Ambiental. Lima, Perú. 15 p.



- Crites, R. & Tchobanoglous G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo 1. Editorial McGraw – Hill Interamericana. Santafé de Bogotá
- Dávila, J. (2011). *Diccionario Geológico*. Perú: INGEMMET.
- De la Garza, J., Morales, B., & González, A. (2013). Análisis Estadístico Multivariante. Editorial McGraw Hill. México
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Normas Legales. Diario Oficial El Peruano. Lima – Perú.
- Demiral, A. (2005). Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. Vol. 29 (4): 267 – 274.
- DIGESA & SEDAPAL. (2011). Evaluación de muestras de agua del río Rímac. Lima – Perú. 120 p.
- DIGESA (2011). Informe N° 001193-2011/DEPA-APRHI/DIGESA. Cuarto monitoreo y vigilancia sanitaria participativa del río Ramis y efluentes. Evaluación de resultados. Puno – Perú. 10 p.
- Doria, C., Daza A., Deluque H., López A. & Serna J. (2009). Caracterización físico – química y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del Complejo Carbonífero Cerrejón, La Guarija – Colombia. Documento de Investigación. G. I. Territorios semiáridos del Caribe y Fundación Carrejón para el agua en la Guarija. 7 p.
- Ehlig, C. (1960). Effects of salinity four varieties of table grapes grown in sand culture. Proceedings, American Society of Horticulture Science. Vol. 76: 323 – 331.
- Environment Canada. (1998). Canadian sediment quality guidelines for lead: Supporting document. Environmental Conservation Service.
- EPA US, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2004). Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-R-04- 005.
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2003). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Experiencias, asuntos relevantes y alineamientos (p. 312). Italia – Roma.
- Fernández, A., Schenone N., Volpedo A. & Pérez A. (2010). Calidad de agua para la producción de especies tradicionales y no tradicionales en Argentina. AUGM DOMUS. Vol. 1: 45-66.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Química Viva. Buenos Aires –



- Argentina. Vol. 11 (3): 147 – 170.
- Fernández, M. & Fernández O. (2007). Evaluación de la calidad físico – química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. Rev. de Minería y Geología. Vol. 23 (4).
- Flores, I. N. (2009). Agua subterránea: el agua que no vemos. La ciencia y el hombre, Volumen XXII (1), 1-4.
- Flores, H. (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. Tesis de Maestría en Ciencias mención Planificación para el Desarrollo. Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. 116 p.
- Forero, G. (2015). Caracterización físico – química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Vol. 6 (2): 119 – 144.
- Freitas, M., Brilhante O. & Almeida L. (2001). The importance of watertestuiq for public health in two regions in Río de Janeiro: a focus on fecal Coliformes, nitrates, and aluminum. Cad Sande Pública. Vol. 17 (3): 651-60.
- Fuentes, M., Senior W., Fermín I. & Troccoli L. (2008). Estudio fisicoquímico y bacteriológico del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Vol. 47 (2): 149 – 158.
- Gamboa N. (2018). Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, Región Ayacucho, Perú. Tesis de Magíster en Química. Escuela de Posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. 118 p.
- Gao, Z. & Lips S. (1997). Effects of increasing inorganic carbon supply to roots on net nitrate uptake and assimilation in tomato seedlings. *Physiol. Plant.* Vol. 101: 206-212.
- García, I. & Dorronsoro C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es>.
- García, J. C., Plaza, C., Muñoz, F. & Polo A. (2000). Evaluation of heavy metals pollution on barley crop by agricultural use of municipal solid waste compost. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Madrid (Spain).
- Geraldson, C. (1954). The control of black heart of celery. Proceedings. American Society of Horticulture Science. Vol. 63: 353 – 358.



- Gil, J., Vizcaino, C., & Montaña, N. (2018). Evaluacion de la calidad del agua superficial utilizando el indice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *La Molina*, 1(79), 111-119. doi:10.21704/ac.v79i1.1146
- Gil, J., Belloso G., Vizcaíno C., Maza I., Sánchez M., Bolívar C. & Martínez P. (2013). Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Manogas, Venezuela. *Rev. Científica UDO Agrícola*. Vol. 13 (1): 154 – 163.
- Goldman. L. & Shannon M. (2001). The Committee on Environmental Health. Technical Report. Mercury in the environment: Implications for pediatricians. *Pediatrics*. Vol. 108 (1): 197 – 205.
- González, O., Aguirre, J., Saugar, G., Orozco, L., Álvarez, G., Palacios, K. & Guevara, O. (2007). Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural nor este del municipio de León, Nicaragua. *Rev. Universitas*. Vol. 1 (1).
- Grant, R. (1966). waters quality and requirements for dairy cattle. University of Nebraska, Institute of Agriculture and Natural resources. Obtenido de <http://ianrpubs.unl.edu/dairy>.
- Gupta, S., Gupta R. & Seth A. (2000a). Methemoglobinemia in areas with high nitrate concentration in drinking water. *Natl Med J India*. Vol. 13 (2): 58-61.
- Gupta, S., Gupta R., Gupta A., Seth A., Bassin J. & Gupta A. (2000b). Recurrent acute respiratory tract infections in areas with high nitrates concentrations in drinking water. *Environ Health Perspect*. Vol. 108 (4): 363 - 366.
- Gustin, M., Taylor G. & Leonard T. (1994). High Levels of Mercury Contamination in Multiple Media of the Carson River Drainage Basin of Nevada: Implications for Risk Assessment. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 102 (9): 772 – 778.
- Guzmán, G. (2011). Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. México: *Rev. Int. Contam. Ambient*. Vol. 27 (2).
- Halwani, J., Baroudi B. & Wartel M. (1999). Nitrate contamination of the ground water of the AKKAR Plain in northern Lebanon. *Sante*. Vol. 9 (4): 219-23.
- Huaranga, F., Méndez E., Quilcat V. & Huaranga F. (2012). Contaminación por metales pesados en la cuenca del río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*. Vol. 3: 235 – 247.
- IDEAM. (2001). *El Medio Ambiente en Colombia*, Bogotá.



- Infante, L., & Sosa S. (1994). Cuantificación espectrofotométrica de arsénico en aguas de consumo humano en la vertiente del Río Rímac. Tesis de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.
- Intawongse, M. & Dean J. (2006). Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract; Food Additives and Contaminants. Vol. 23: 36–48
- IPCS, International Programme on Chemical Safety. (1998). Environmental health criteria: Copper. Geneva (Suiza): World Health Organization. 104 p.
- Islam, E., Yang X., He L. & Mahmood Q. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. Journal of Zhejiang University. Vol. 8 (1): 1 – 13.
- Islam, S., Edwards G. & Asher J. (1980). pH optima for crop growth. Plant and Soil. Vol. 54 (3): 339 – 357.
- Jimeno, E. (1998). Análisis de aguas y desagües. Editorial W. H. Editores. Ediciones Banco de libros, Oficina Central de Bienestar Universitario, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú. 248 p.
- Juárez, H. (2012). Contaminación de río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima Metropolitana. Investigación auspiciada por el Programa de Becas de Investigación Urbana (Agropolis) del programa Urban Poverty & Environment Program (UPE) del IDRC – Canadá y la Global Initiative on Urban Harvest. Lima – Perú. 87 p.
- Kim, M., Gutiérrez D., Schriewer A., Rajal V. & Wuertz S. (2014). Evaluation of detachment methods for the enumeration of *Bacteroides fragilis* in sediments via propidium monoazide quantitative PCR, in comparison with *Enterococcus faecalis* and *Escherichia coli*. J Appl Microbiol. Vol. 117: 1513 – 1522.
- Larios, L. (2008). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. Artículo de revisión. Archivo Médico Camaguey. Scielo – Cuba. 9 p.
- Lassiter, M., Owens E., Patel M., Kirrane E., Madden M., Richmond J., Hines E., Davis A., Vinikoor L. & Dubois J. (2015). Cross-species coherence in effects and modes of action in support of causality determinations in the U.S. Environmental Protection Agency’s Integrated Science Assessment for Lead. Toxicology. Vol. 330: 19-40.
- Lenntech. (2020). Water Treatment. Sulfatos. Página web:



- <https://www.lenntech.es/sulfatos.htm>. Fecha de revisión: 15 enero 2020.
- Londoño, L., Londoño P. & Muñoz F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 14 (2): 145 – 153.
- López, L., Romero J. & Duarte F. (2003). Calidad microbiológica y efecto del lavado y desinfección en vegetales petrozados expendidos en Chile. *Arch. Latinoam. Nutr.* Vol. 53 (4): 383 – 388.
- Lucho, A., Prieto F., Del Razo L. & Rodríguez R. (2005). Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 108: 57 – 71.
- Lucho, A., Álvarez M., Beltrán I., Prieto F. & Poggi H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*. Doi: 10.1016/j.envint.2004.08.002.
- Malca, L. (1998). Macroinvertebrados bénticos como indicadores de contaminación por metales pesados en el río Moche. Tesis de Maestro en Ciencias, Mención Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo - Perú. 70 p.
- Mamani, M. (2019). Parámetros fisicoquímicos, metales pesados (As y Pb), bacteriológicos y alternativas de saneamiento ambiental de fuentes de agua de la comunidad Suches, distrito Caracoto Provincia San Román, Región Puno, 2018. Tesis de Magister Scientiae en Ecología. Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 109 p.
- Mapanda, F., Mangwayana E., Nyamangara J. & Giller K. (2005). The effect of longterm irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 107: 151 – 165.
- Martín, W. (2000). Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena*. Vol. 39: 53 – 68.
- Martínez, A., Fonseca, K., Ortega, J. García, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8 (1), 35-47p.
- Martínez, L. (2006). Ecología de los sistemas acuícolas. AGT Editor S. A. Primera reimpresión. México. 227 p.
- Mau, Y. & Porporato A. (2015). A dynamical system approach to soil salinity and sodicity. *Advances in Water Resources*. Vol. 83: 68 – 76.



- Mcrrill, C., Boyer V., Flood J. & Ortega L. (2013). Mercury toxicity due to the use of a cosmetic cream. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Vol. 3 (3): 4 – 7.
- Medina, E., Mancilla O., Larios M., Guevara R., Olgún J. & Barreto O. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxsacuescto, Jalisco. *Rev. IDESIA (Chile)*. Vol. 34 (6): 51 – 59.
- Méndez, F. & González J. (2009). Evaluación de la calidad del agua de riego usada en los cultivos de arroz de la zona alta de la meseta de la ciudad de Ibagué (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga*. Vol. 4: 73 – 84.
- MINAGRI – ANA, Ministerio de Agricultura y Riego – Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Editorial Gráfica Industrial Alarcón S. R. L. Lima – Perú. 92 p.
- MINAM, Ministerio del Ambiente. (2010). Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas. *Diario Oficial El Peruano*.
- Miranda, N. (2000). *Tecnología de Aguas – Control de Calidad*. Primera edición. Texto Universitario. Facultad de Ingeniería Química, UNA – Puno. 153 p.
- Moreno, D. (2013). *Toxicología Ambiental*. 1 ed. Madrid (España): Interamericana de editores. 361 p.
- Murphy, C. & Spiegel S. (1982). Bioacumulación and toxicity of heavy metals and related trace elements. *Journal of the Water Pollution Control Federation*. Vol. 54: 849 – 854.
- Mushak, P. (2011). *Lead and Public Health: Science, Risk and Regulation*. Elsevier. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=T5HcahQSOofAC&pgis=1>.
- Nagpal, K., Levy D. & MacDonald D. (2003). *Ambient water quality guidelines for chloride*. V́ictoria, Columbia Británica, Canadá.
- Neira, M. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación*. Estudio de caso: Chile. Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias F́isicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago de Chile. 95 p.
- Nieves M., Orozco C., Pérez A., Alfayate J. & Rodríguez F. (2011). *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo SA. 31 – 86 p.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. (2001). *Análisis de agua, determinación de metales, método espectrofotométrico de absorción atómica*,



- SEMARNAT. México.
- OPS, Organización Panamericana de la Salud (1998). Guías para la calidad del agua potable. Publicación científica No 508. Washington. EE.UU. 132 p.
- Ordoñez, J. (2011). Aguas Subterráneas – Acuíferos. Primera edición. Z. I. Novoa, Editorial. Lima – Perú. Sociedad Geográfica de Lima.
- Otzen, T. & Manterola C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.* Vol. 35 (1): 227 – 232.
- Pacori, K. (2018). Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua en la zona de captación de la comunidad Hercca – Sicuani – Canchis – Cusco. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 103 p.
- Pajares, C. (2004). Impacto de la actividad humana y agropecuaria en la calidad sanitaria del agua del río Porcón (Cajamarca). Tesis de Maestría. Escuela de Post Grado, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Panda, B., Das L., Lenka M. & Panda K. (1988). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to biomonitor genotoxicity of low levels of mercury in aquatic environment. *Mutat Res.* Vol. 206 (2): 275-279. (Abstract).
- Parbery, D. (1981). Pollutants and plant health. En: *Air pollution control.* (Ed. G. M. Bragg). John Wiley & Sons, Inc.
- Paredes, A. (2013). Calidad fisicoquímica y biológica de agua en la zona de captación – Chimu, del lago Titicaca destinada para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Puno. Tesis de Licenciatura. Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú. 119 p.
- Parés, J. & Basso C. (2013). Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional de plantas de papaya. *Rev. Bioagro.* Vol. 25 (2): 109 – 116.
- Parra, S., Lara P., Villarreal M. & Hernández S. (2012). Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato / amonio y concentraciones de bicarbonato. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 (2): 143 – 153.
- Pascual, M. & Calderón V. (2000). *Microbiología Alimentaria.* 2ª Ed. Diaz de Santos. Madrid, España.
- Peñaloza, A. (2012). Contaminación: Contaminación y tipos de contaminación. *Revista Desarrollo Local Sostenible.* Vol. (13) 6.
- Pérez, L. & Fernández A. (2014). Arsenic biotransference to alfalfa (*Medicago Sativa*). *Int J Environ Health.* Vol. 7 (1): 31 – 40.
- Poma, P. (2008). Lead effects on humans. *Anales de La Facultad de Medicina.* Vol. 69



- (2): 120–126.
- Posada, I. & Arroyave, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA Número*. Vol. 6: 1794–1237.
- Prescott, L., Harley J. & Klein D. (2004). *Microbiología*. Quinta Edición. Editorial McGraw.
- Prieto, F., Báez O. Scoot W., Gaytán C. & Zúñiga A. (2006). Acumulación, toxicidad y teratogénesis provocada por presencia de arsénico en aguas en el pez cebra (*Danio rerio*). *Revista Aqua T.I.C, Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura*. Vol. 24: 72-85.
- Prieto, J., González C., Román A. & Prieto F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Universidad Autónoma de Yucatán – México. Vol. 10 (19): 29 – 44.
- Ramírez, A.& Benítez N. (2013). Tolerancia y reducción de cromo (VI) por *Bacillus cereus* B1, aislado de aguas residuales de una curtiembre. *Revista de Ciencias, Universidad del Valle*. Vol. 17 (2): 51 – 63.
- Real Instituto de Tecnología de Suecia. (1973). Las aguas residuales en la industria minera metálica. *Misión Minera del Perú*. Tomo I. Estocolmo - Suecia. 1 – 12 p.
- Rivera J., Cedillo L., Guzmán M., Giono S. (2006). Diagnóstico de Enterobacterias en el río Alseseca. *Rev. Facul. Medicina*. Vol. 49 (1): 20 – 22.
- Robinette H. (1976). Effect of selected sublethal levels of ammonia on the growth of cannel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Prog. Fish – Cult*. Vol. 38: 26 – 29.
- Robles, E, Ramírez E., Durán A., Martínez M. & Gonzales M. (2013). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo – Axochiapan, Morelos México. Vol. 4 (1): 19 – 18.
- Rodier, J. (1990). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar; química, fisicoquímica, bacteriología, biología*. 15ava edición. Editorial Omega. España.
- Rodríguez, C., Rodríguez H., Lira G., De la Cerda M., Lara L. (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos Contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 29: 239-245.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.
- Rolim S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización*. Primera Edición. Editorial



- McGraw Hill.
- Romero, J. (2009). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera edición. Bogotá – Colombia. 483 p.
- Romero, M., Santamaría D. & Zafra A. (2009). Bioengineering and soil: microbiological abundance, pH and electrical conductivity under three strates of erosion. *Umbral Científico*. Vol. 15: 67 – 74.
- Romeu B., Larrea J., Lugo D., Rojas N. & Heydrich M. (2012). Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba. *Rev. CENIC Ciencias Biológicas*. Vol. 43 (3).
- Rosales R., & Flores H. (2017). Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en durango. México: CEVAG.
- Rubeglio, E. & Tesone S. (2007). Escherichia coli O157 H7: presencia en alimentos no cárnicos. *Arch. Argent. Pediatr*. Vol. 105 (3): 193 – 94.
- Rusu, N. & Meghea A. (2015). Bioaccumulation of toxic metals in fish oils capsules. *Ecosystems*. Vol. 1, 2.
- Sadiq, M. (1992). Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker, Inc. New Cork. p. 389
- Sager, L. (2001). Calidad de Agua De Bebida. Relación Con La Suplementación Mineral Y Problemas Sanitarios. Conferencia en el Congreso de Ganadería de Zonas Áridas y Semiáridas (p. 1-5). Argentina. www.produccion-animal.com.ar.
- Samillán D. (2014). Evaluación físico – química y microbiológica de las aguas del río Reque – Chiclayo 2014. Tesis de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. 125 p.
- Sanchez, D. (2015). Calidad del agua y su control. Universidad de Castilla la Mancha, Escuela de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos, Real-España.
- Sarabia, I., Cisneros R., Aceves de Alba J., Durán H. & Castro J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*. Vol. 27 (2): 103 – 113.
- Sarkar, A. & Jana S. (1986). Heavy metal pollutant tolerance of *Azolla pinnata*. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 27 (1-2): 15-18 (Abstract).
- Sauquillo, A., Rigol A. & Rauret G. (2003). Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*. Vol. 22: 152 – 159.
- Sauve, S., Henderson W. & Allen H. (2000). Solid-solution partitioning of metals in



- contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 34: 1125 – 1131.
- SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2007). Monitoreo de la calidad de agua en los ríos del Perú. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos, Perú.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. 1era edición. Digiprint Editores E. U. Bogotá – Colombia. 457 p.
- Smith, R. (1996). *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment.*, Wallingford, UK.
- Sukreeyapongse, O., Panichsakpatana S. & Thongmarg J. (2001). Nitrogen leaching from soil treated with sludge. *Water Sci Technol.* Vol. 44 (7): 145-50.
- Tavakoly, B., Sulaiman H., Monazami H. & Salleh A. (2011). Assessment of Sediment Quality According to heavy metal status in the West Port of Malaysia. *Engineering and Technology.* Vol. 3 (2): 633 – 637.
- Torres, P., Cruz C., Patiño P. (2009). Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, No. 15 especial, pp. 79-94 - ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2009/150 p. Medellín, Colombia.
- Turhan, E. & Eris A. (2007). Growth and stomacal behavior of two strawberry cultivars under long – tern salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry.* Vol. 31 (1): 51 – 61.
- Universidad Nacional de San Luis. (2005). Efluentes Líquidos. *ESTRUCPLAN*. p. 7 – 8. www.ugr.unsl.edu.ar.
- Varian (1989). *Analytical Methods. Flame Atomic Absorption Spectrometry.* Australia.
- Vega, M., Jiménez M., Salgado R. & Pineda G. (2004). Determinación de bacterias de origen fecal en hortalizas cultivadas en Xochimilco de octubre de 2003 a marzo de 2004. *Invest. Univ. Multidisciplinaria.* Vol. 4 (4): 21 – 25.
- Veiga, M., & Baker, R. (2004) *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-scale Gold Miners.* Published by GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project. Vienna. 289 p.
- Vélez, V., Ortiz C., & Vargas C. (2011). *Las aguas subterráneas* (1 ed.). Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- Vilca, C. (2011). *Calidad Bacteriológica y Físico – química del agua de consumo humano en la localidad de Vilque.* Tesis de Licenciado en Biología, Facultad de Ciencias



- Biológicas Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Vitoria, H. & Natera M. (2007). Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Vol. 39 (2): 91 – 100.
- Waisberg, M., Joseph P., Hale B. & Beyersmann D. (2013). Molecular and celular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*. Vol. 3 (4): 95 – 117.
- Wang, H., Shan X., Wen B., Owens G., Fang J. & Zhang S. (2007). Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays L.*) seedlings and the relevant antioxidant response. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 61 (3): 246 – 253
- Wang, P. & Chao C. (1992). Effects of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizae and Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal Uptake by Soybean in Major Soil Groups of Taiwan. *Journal Agricultural Association China New Series*. Vol. 157: 6 – 20.
- Warren, L. (1981). Contamination of sediments by lead, zinc and cadmium: a review. *Environmental Pollution (Series B)*. Vol. 2: 401 – 436
- Wetzel, R & Likens G. (2001). *Limnological Analysis*. 3a ed. Ed. Springer Science. New York (USA). p.289-304.
- WHO. (2017). Mercurio. [online]. En internet (Consultada el 09/01/2021)
- WHO. (1992). Arsenic and Arsenic Compounds. *Environmental Health Criteria*. 224 p.
- Wierzbicka, M. & Obidzińska J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science*. Vol. 137 (2): 155 – 171
- Wilson, D., Fernández A. & Zayas Y. (2007). Desarrollo y validación de un método de valoración anemométrica para la determinación del ion sulfato en muestras de aguas naturales y residuales. *Cuba: Rev. Cub. Qca*. Vol. 19 (2).
- Zhu, J. (2001). Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science*. Vol. 6: 66 – 71.

ANEXOS

Tabla 16. Análisis de varianza de los valores de dureza de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dureza	18	0.75	0.64	13.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	66259.11	5	13251.82	7.10	0.0026
Zonas	66259.11	5	13251.82	7.10	0.0026
Error	22388.67	12	1865.72		
Total	88647.78	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=118.46161

Error: 1865.7222 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.			
Z2	404.33	3	24.94	A		
Z1	377.00	3	24.94	A	B	
Z3	306.67	3	24.94	A	B	C
Z5	298.33	3	24.94	A	B	C
Z6	261.33	3	24.94		B	C
Z4	231.00	3	24.94			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 17. Análisis de varianza de los valores de alcalinidad de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alcalinidad	18	0.78	0.68	7.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	62206.28	5	12441.26	8.33	0.0013
Zonas	62206.28	5	12441.26	8.33	0.0013
Error	17918.67	12	1493.22		
Total	80124.94	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=105.97816

Error: 1493.2222 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.			
Z1	575.33	3	22.31	A		
Z3	570.33	3	22.31	A		
Z2	526.00	3	22.31	A	B	
Z5	456.33	3	22.31		B	
Z4	444.00	3	22.31		B	
Z6	433.67	3	22.31		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 18. Análisis de varianza de los valores de cloruros de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cloruros	18	0.87	0.81	8.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	84205.83	5	16841.17	15.47	0.0001
Zonas	84205.83	5	16841.17	15.47	0.0001
Error	13062.67	12	1088.56		
Total	97268.50	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=90.48559

Error: 1088.5556 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.		
Z6	526.67	3	19.05	A	
Z4	465.33	3	19.05	A	B
Z5	404.33	3	19.05		B C
Z2	373.00	3	19.05		C
Z3	355.67	3	19.05		C
Z1	326.00	3	19.05		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 19. Análisis de varianza de los valores de sulfatos de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sulfatos	18	0.82	0.75	17.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	75626.00	5	15125.20	11.12	0.0004
Zonas	75626.00	5	15125.20	11.12	0.0004
Error	16328.00	12	1360.67		
Total	91954.00	17			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=101.16494

Error: 1360.6667 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.		
Z1	326.67	3	21.30	A	
Z2	245.67	3	21.30	A	B
Z6	245.00	3	21.30	A	B
Z3	195.00	3	21.30		B C
Z4	149.67	3	21.30		B C
Z5	136.00	3	21.30		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 20. Pruebas de Kruskal Wallis y Tukey de los valores de nitratos de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Nitratos	Z1	3	7.67	4.04	10.00	5	8.65	0.0456
Nitratos	Z2	3	3.67	2.31	5.00			
Nitratos	Z3	3	5.33	4.51	5.00			
Nitratos	Z4	3	1.00	0.00	1.00			
Nitratos	Z5	3	1.00	0.00	1.00			
Nitratos	Z6	3	1.00	0.00	1.00			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.25158

Error: 3.6667 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.	
Z3	8.33	3	1.11	A
Z1	8.33	3	1.11	A
Z2	3.67	3	1.11	A B
Z5	1.00	3	1.11	B
Z4	1.00	3	1.11	B
Z6	1.00	3	1.11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 21. Análisis de varianza de los valores de hierro de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Hierro	Z1	3	0.15	0.05	0.15	5	12.63	0.0092
Hierro	Z2	3	0.05	0.00	0.05			
Hierro	Z3	3	0.05	0.00	0.05			
Hierro	Z4	3	0.02	0.03	0.00			
Hierro	Z5	3	0.05	0.00	0.05			
Hierro	Z6	3	0.15	0.05	0.15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08551

Error: 0.0010 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.	
Z6	0.15	3	0.02	A
Z1	0.15	3	0.02	A
Z5	0.05	3	0.02	B
Z2	0.05	3	0.02	B
Z3	0.05	3	0.02	B
Z4	0.02	3	0.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 22. Análisis de varianza de los valores de conductividad de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad	18	0.77	0.67	29.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1716532.67	5	343306.53	7.88	0.0017
Zonas	1716532.67	5	343306.53	7.88	0.0017
Error	522871.33	12	43572.61		
Total	2239404.00	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=572.48081

Error: 43572.6111 gl: 12

Zonas	Medias	n	E.E.			
Z1	1094.33	3	120.52	A		
Z3	1008.67	3	120.52	A	B	
Z2	950.33	3	120.52	A	B	
Z4	495.33	3	120.52		B	C
Z5	451.33	3	120.52		B	C
Z6	304.00	3	120.52			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 23. Análisis de varianza de los valores de pH de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	18	0.07	0.00	10.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.62	5	0.12	0.18	0.9645
Zonas	0.62	5	0.12	0.18	0.9645
Error	8.28	12	0.69		
Total	8.90	17			

Tabla 24. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de plomo de las aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad UCSM-Arequipa, setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Plomo	Z1	2	0.01	0.02	0.01	2	0.50	0.8667
Plomo	Z3	2	0.01	0.02	0.01			
Plomo	Z6	2	0.01	0.01	0.01			

Tabla 25. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de arsénico de las aguas del río Cañipía en tres zonas de muestreo, Laboratorios de Ensayo y Control de Calidad UCSM - Arequipa y los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Arsénico	Z1	2	0.01	0.01	0.01	2	0.93	0.7333
Arsénico	Z3	2	0.01	0.01	0.01			
Arsénico	Z6	2	0.02	0.01	0.02			

Tabla 26. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de coliformes totales de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Col. Totales	Z1	3	467.67	550.73	210.00	5	4.68	0.4474
Col. Totales	Z2	3	164.00	256.39	21.00			
Col. Totales	Z3	3	33.33	36.12	14.00			
Col. Totales	Z4	3	60.33	77.78	20.00			
Col. Totales	Z5	3	22.33	9.81	28.00			
Col. Totales	Z6	3	394.00	612.36	75.00			

Tabla 27. Prueba de Kruskal Wallis de los valores de coliformes termotolerantes de las aguas del río Cañipía en seis zonas de muestreo, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

Variable	Zonas	N	Medias	D.E.	Medianas	gl	H	p
Col. Termotolerantes	Z1	3	4.33	2.31	3.00	5	2.99	0.3435
Col. Termotolerantes	Z2	3	3.00	0.00	3.00			
Col. Termotolerantes	Z3	3	5.33	3.21	4.00			
Col. Termotolerantes	Z4	3	3.00	0.00	3.00			
Col. Termotolerantes	Z5	3	3.00	0.00	3.00			
Col. Termotolerantes	Z6	3	9.67	11.55	3.00			

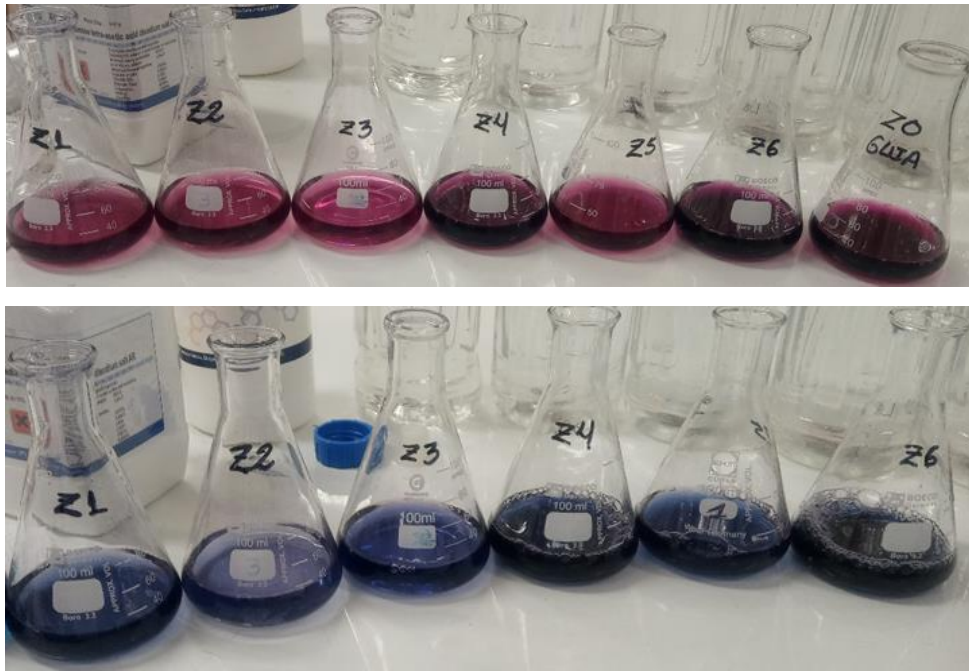


Figura 27. Determinación de la dureza en muestras de aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

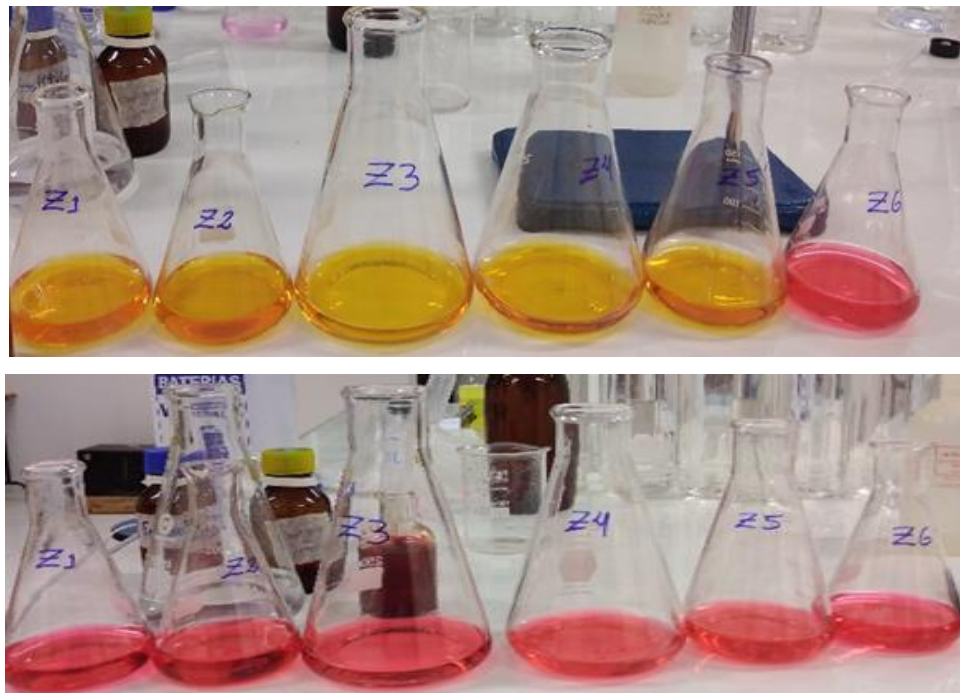


Figura 28. Determinación de la alcalinidad en muestras de aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

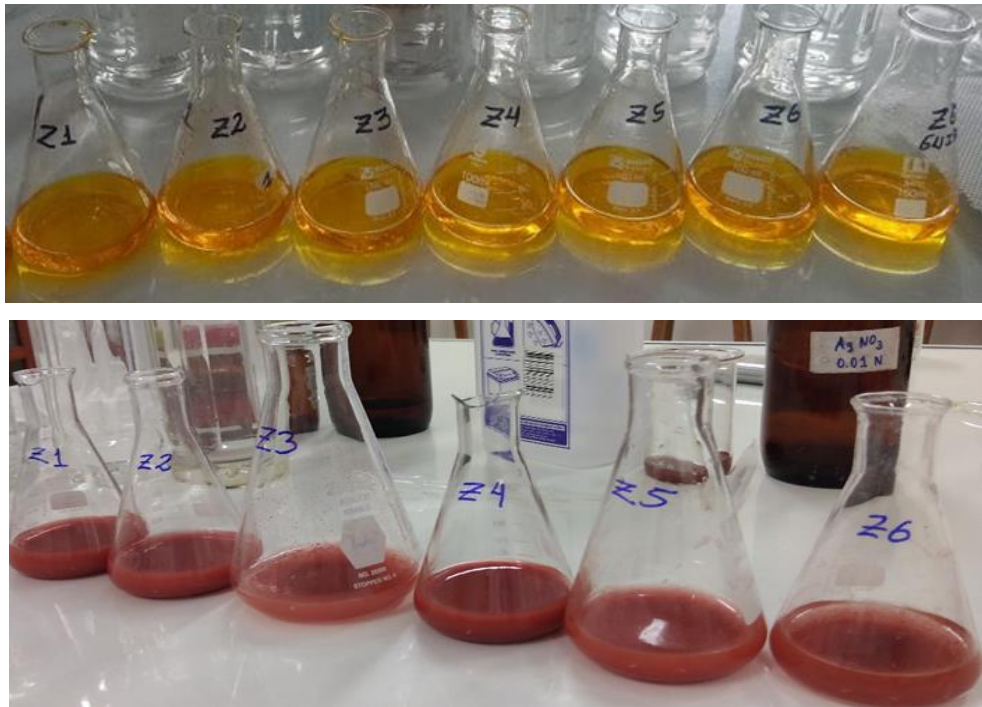


Figura 29. Determinación de cloruros en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

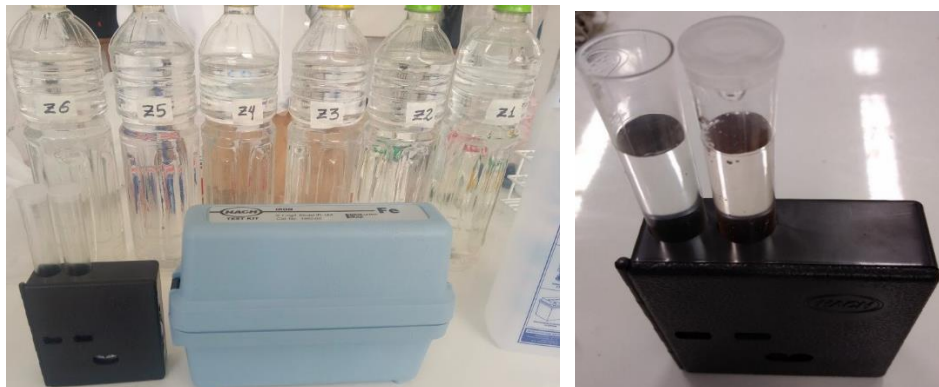


Figura 30. Determinación de hierro en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Figura 31. Determinación de nitratos en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

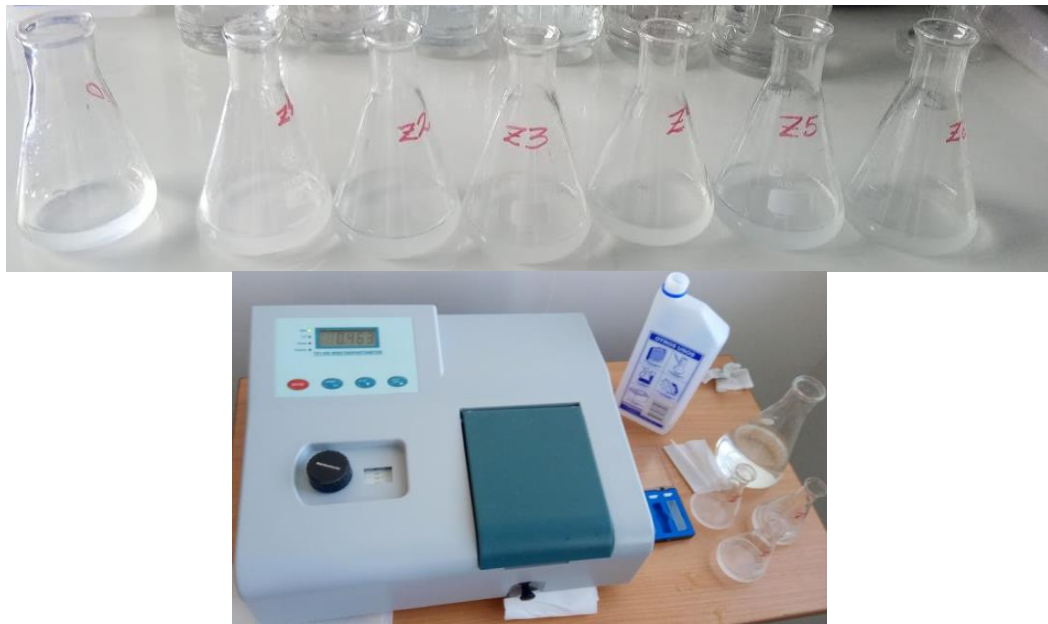


Figura 32. Determinación de sulfatos en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Figura 33. Determinación de conductividad en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Figura 34. Determinación del pH en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.

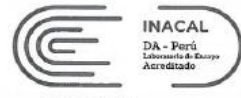


Figura 35. Determinación de la coliformes totales y termotolerantes en muestras de las aguas del río Cañipía, Laboratorio de Botánica y Biotecnología, FCCBB – UNA Puno, setiembre – noviembre 2019.



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00535

Fecha de emisión : 24/10/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	900	
		Hg	mg/L
AG19000980	Z1- RIO CAÑIPIA	b<0,00041	
AG19000981	Z2- RIO CAÑIPIA	b<0,00041	
AG19000982	Z3- RIO CAÑIPIA	b<0,00041	


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00614

Fecha de emisión : 30/11/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796	800
		As	Hg
		mg/L	mg/L
AG19001120	Z-1 RIO CAÑIPIA	b<0,0012	b<0,00041
AG19001121	Z-3 RIO CAÑIPIA	b<0,0012	b<0,00041
AG19001122	Z-6 RIO CAÑIPIA	0,0072	b<0,00041


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 114426



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apldo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA18J19.004333A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Guido Néstor Chullo Huamani
Dirección del cliente : Cal. Leoncio Prado N° 306 Espinar Cusco
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Guido Néstor Chullo Huamani
Descripción de la muestra : Muestra Z1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO


Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1000 mL
Fecha de recepción : 18/10/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 18/10/2019 al 25/10/2019
Fecha de emisión de informe : 26/10/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES		
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7		
Arsénico (As)	mg/L	0,014
Plomo (Pb)	mg/L	0,026

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00024
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA18J19.004333B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Guido Néstor Chullo Huamani
Dirección del cliente : Cal. Leoncio Prado N° 306 Espinar Cusco
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Guido Néstor Chullo Huamani
Descripción de la muestra : Muestra Z3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO


Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1000 mL
Fecha de recepción : 18/10/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 18/10/2019 al 25/10/2019
Fecha de emisión de informe : 26/10/2019
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES		
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7		
Arsénico (As)	mg/L	0,019
Plomo (Pb)	mg/L	0,023

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA18J19.004333C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Guido Néstor Chullo Huamani
Dirección del cliente : Cal. Leoncio Prado N° 306 Espinar Cusco
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Guido Néstor Chullo Huamani
Descripción de la muestra : Muestra Z6

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1000 mL
Fecha de recepción : 18/10/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 18/10/2019 al 25/10/2019
Fecha de emisión de informe : 26/10/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES		
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7		
Arsénico (As)	mg/L	0,023
Plomo (Pb)	mg/L	0,018

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Univesito CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 30238 ANEXO 1186
SQ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apúto. 1390
ANEQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA20K19.004383

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Guido Néstor Chullo Huamani
Dirección del cliente : Cal. Leoncio Prado N° 306 Espinar Cusco
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Guido Néstor Chullo Huamani
Descripción de la muestra : Agua residual

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1000 mL
Fecha de recepción : 20/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 20/11/2019 al 27/11/2019
Fecha de emisión de informe : 05/12/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE PLOMO		
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revision 4.4	UNIDADES	RESULTADO
Z1	mg/L	0,000
Z3	mg/L	0,001
Z6	mg/L	0,000

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


R. Ricardo A. Abril Ramírez
CQPDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC





Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Facultad de Ciencias Biológicas
Escuela Profesional de Biología
Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico
Laboratorio de Botánica y Biotecnología



Registro: 010-2020

CONSTANCIA

AUTORIDAD QUE SUSCRIBE, **DECANO** DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO – PERÚ.

HACE CONSTAR:

Que el (la) Bachiller **GUIDO NESTOR CHULLO HUAMANI**, egresado (a) de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ha realizado los análisis fisicoquímicos y bacterianos de su trabajo de investigación (Tesis) titulado: **EFFECTO SOBRE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS DEL RÍO CAÑIPIA TRAS SU PASO POR LA ZONA MINERA DE ANTAPACAY EN LA PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO**, en el laboratorio de Botánica y Biotecnología, del Programa Académico de Microbiología y Laboratorio Clínico de la Escuela Profesional de Biología, entre los meses de setiembre a noviembre del 2019.

Se le expide la presente Constancia a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 28 de diciembre del 2020.



UNA
PUNO

Firmado digitalmente por LAURA
CHAUCA DE MEZA Eva FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 28.12.2020 21:27:33 -05:00

**M. Sc. EVA LAURA CHAUCA
DECANO
FCCBB – UNA Puno**