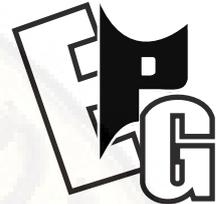




“AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(CREADA POR LEY N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO

TESIS

**“PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN AGUA, SUELO Y SU
ACUMULACIÓN EN PASTOS NATURALES DE LAS BOCAMINAS SAN
ANTONIO Y TANGANA DE LA COMUNIDAD DE HUACHOCOLPA
HUANCVELICA-2018”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
AGUA, SUELO Y SOSTENIBILIDAD**

**PRESENTADO POR:
M.Sc. Luz Marina Acharte Lume**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN:
CIENCIAS AMBIENTALES**

**HUANCVELICA - PERÚ
2020**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

UNIDAD DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Dr. Fernando Martín TORIBIO ROMAN**, **Dr. Manuel Jesús BASTO SAEZ**, **Dr. Jorge Washington RODRIGUEZ DEZA**.

Asesor: **Dr. Amadeo ENRIQUES DONAIREZ**

De conformidad al Reglamento Único de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH y modificado con Resolución N° 1195-2019-CU-UNH, y la Directiva de la Sustentación Síncrona de Tesis de los Estudiantes de Maestría y Doctorado de las Unidades de Posgrado de las Facultades Integrantes de la Universidad Nacional de Huancavelica en el Marco al estado de emergencia COVID 19, aprobado mediante Resolución Directoral N° 340-2020-EPG-R/UNH.

La candidata al **GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Doña, **Luz Marina ACHARTE LUME**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "**PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN AGUA, SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN PASTOS NATURALES DE LAS BOCAMINAS SAN ANTONIO Y TANGANA DE LA COMUNIDAD DE HUACHOCOLPA – HUANCVELICA - 2018**".

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Con el calificado

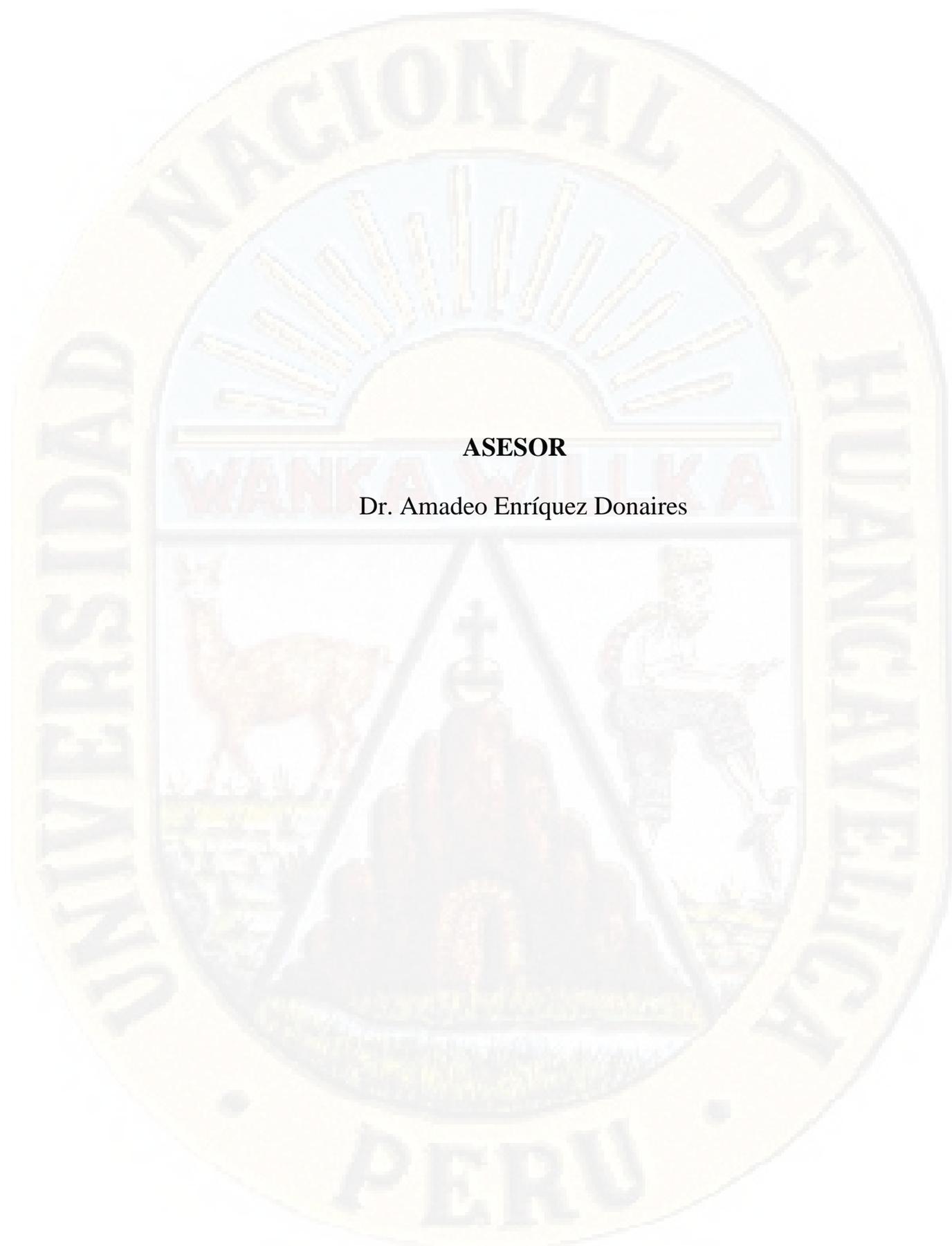
APROBADO POR
MAYORÍA

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los diecisiete días del mes de noviembre del año 2020.

.....
Dr. Fernando Martín TORIBIO ROMAN
Presidente del Jurado.

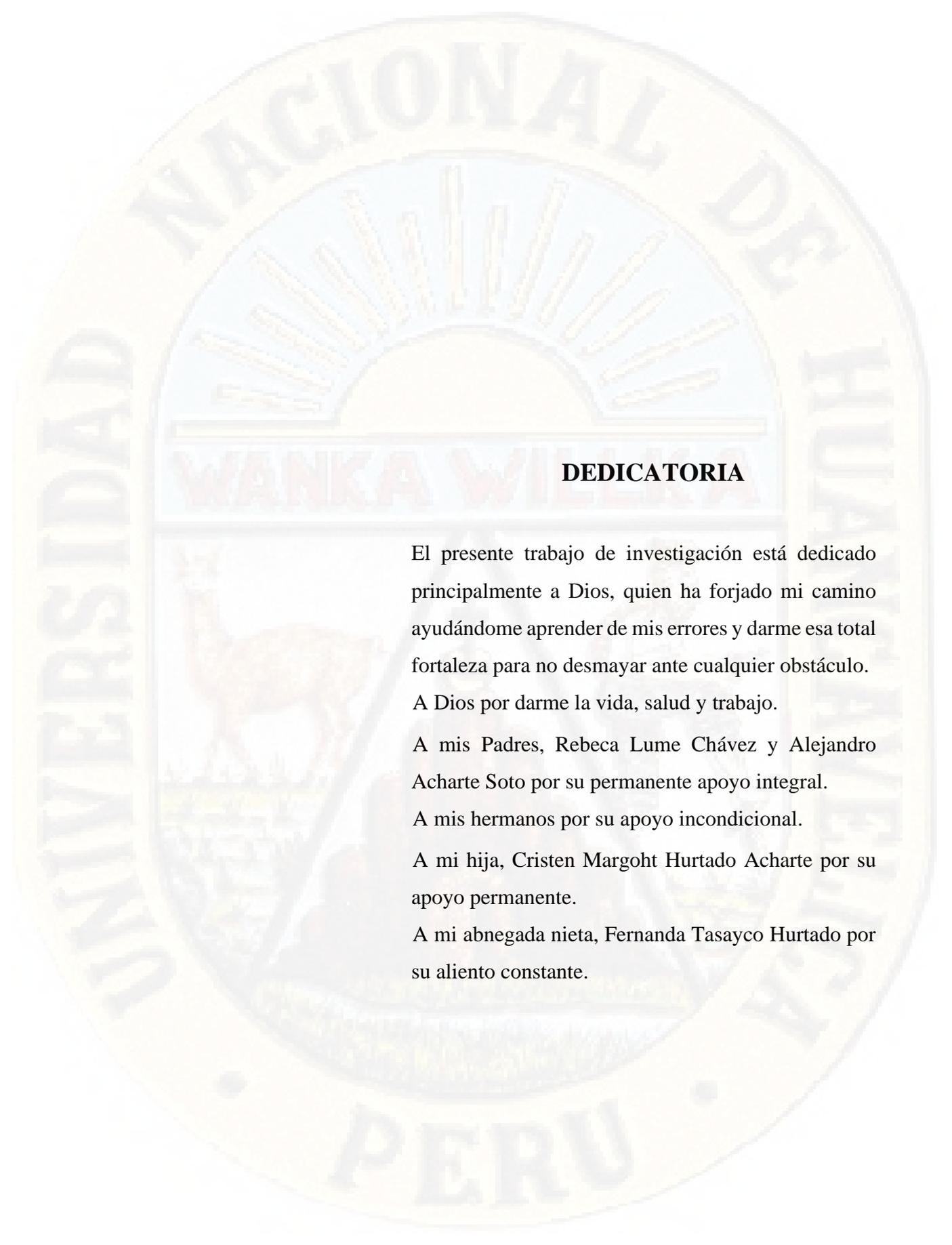
.....
Dr. Manuel Jesús BASTO SAEZ
Secretario del Jurado

.....
Dr. Jorge Washington RODRIGUEZ DEZA
Vocal del Jurado



ASESOR

Dr. Amadeo Enríquez Donaires



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, quien ha forjado mi camino ayudándome aprender de mis errores y darme esa total fortaleza para no desmayar ante cualquier obstáculo.

A Dios por darme la vida, salud y trabajo.

A mis Padres, Rebeca Lume Chávez y Alejandro Acharte Soto por su permanente apoyo integral.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mi hija, Cristen Margoht Hurtado Acharte por su apoyo permanente.

A mi abnegada nieta, Fernanda Tasayco Hurtado por su aliento constante.

Índice

ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
Abstract.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I.....	19
EI PROBLEMA	19
1.1. <i>Planteamiento del problema.....</i>	<i>19</i>
1.2. <i>Formulación del problema</i>	<i>21</i>
1.3. <i>Objetivos de la investigación.....</i>	<i>21</i>
1.4. <i>Justificación.....</i>	<i>22</i>
1.5. <i>Limitaciones.....</i>	<i>23</i>
CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. <i>Antecedentes de la investigación.....</i>	<i>24</i>
2.2. <i>Bases teóricas</i>	<i>46</i>
2.3. <i>Marco conceptual</i>	<i>66</i>
2.4. <i>Marco filosófico.....</i>	<i>69</i>
2.5. <i>Formulación de hipótesis.....</i>	<i>74</i>
2.6. <i>Definición de términos.....</i>	<i>75</i>
2.7. <i>Identificación de variables.....</i>	<i>79</i>

2.8.	<i>Definición operativa de variables e indicadores</i>	79
CAPÍTULO III.....		67
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		67
3.1.	<i>Tipo de la investigación</i>	67
3.2.	<i>Nivel de investigación</i>	67
3.3.	<i>Método de investigación</i>	68
3.4.	<i>Diseño de investigación</i>	68
3.5.	<i>Población, muestra y muestreo</i>	69
3.6.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	70
3.7.	<i>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</i>	73
CAPÍTULO IV		75
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		75
4.1.	<i>Presentación e interpretación de datos</i>	75
4.2.	<i>Discusión de resultados</i>	112
4.3.	<i>Proceso de prueba de hipótesis</i>	116
Conclusiones		156
Recomendaciones		157
Referencias bibliográficas		158
ANEXOS.....		171
Anexo 1: Matriz de consistencia		171
Anexo 2: Protocolo de Análisis de plantas por Absorción Atómica		178
Anexo 3: Protocolo de Análisis de suelo por Absorción Atómica.....		182
Anexo 4: Protocolo de Análisis de agua por Absorción Atómica		186
Anexo 5: Protocolo del equipo de Absorción Atómica (EAA)		189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud.</i>	48
Tabla 2. <i>Límites máximos permisibles de concentración de metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) en agua, suelo y alimentos de consumo humano</i>	54
Tabla 3. <i>Límites de concentración de plomo y cadmio en hierbas</i>	57
Tabla 4. <i>Límite de plomo y cadmio en vegetales</i>	59
Tabla 5. <i>Taxonomía de Muehlenbeckia s.p.</i>	60
Tabla 6. <i>Taxonomía de Calamagrostis vicunarum</i>	61
Tabla 7. <i>Taxonomía de Carex ecuadorica</i>	62
Tabla 8. <i>Taxonomía de Azorella diapensioides</i>	63
Tabla 9. <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	65
Tabla 10. <i>Unidades de concentración y volumen de estándares de los metales cadmio y plomo</i>	91
Tabla 11. <i>Parámetros de lectura con el equipo de Absorción Atómica de los metales cobre, cadmio y plomo</i>	92
Tabla 12. <i>Muestra de agua de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio λ = 228.8 nm</i>	95
Tabla 13. <i>Muestra de agua de la bocamina San Antonio, concentración de plomo λ = 217.0 nm</i>	96
Tabla 14. <i>Muestra de agua de la bocamina Tangana, concentración de cadmio λ = 228.8 nm</i>	97
Tabla 15. <i>Muestra de agua de la bocamina Tangana, concentración de plomo λ = 217.0 nm</i>	98
Tabla 16. <i>Muestra de pastos de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio λ = 228,8 nm</i>	100
Tabla 17. <i>Muestra de pastos de la bocamina San Antonio, concentración de plomo λ = 217.0 nm</i>	102

Tabla 18. <i>Muestra de pasto de la bocamina Tangana, concentración de cadmio λ</i> <i>= 228,8 nm</i>	104
Tabla 19. <i>Muestra de pasto de la bocamina Tangana, concentración de plomo λ</i> <i>= 217.0 nm</i>	106
Tabla 20. <i>Muestra de suelo de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio λ</i> <i>= 228,8 nm</i>	108
Tabla 21. <i>Muestra de suelo de la bocamina San Antonio, concentración de plomo λ</i> <i>= 217.0 nm</i>	109
Tabla 22. <i>Muestra de suelo de la bocamina Tangana, concentración de cadmio λ</i> <i>= 228,8 nm</i>	110
Tabla 23. <i>Muestra de suelo de la bocamina Tanga, concentración de plomo λ</i> <i>= 217.0 nm</i>	111
Tabla 24. <i>Pruebas de normalidad de agua-cadmio y crespillo-cadmio de San Antonio</i>	118
Tabla 25. <i>Pruebas de normalidad de agua-cadmio y estrella-cadmio de San Antonio</i>	119
Tabla 26. <i>Pruebas de normalidad de agua-plomo y crespillo-plomo de San Antonio</i>	119
Tabla 27. <i>Pruebas de normalidad de agua-plomo y estrella-plomo de San Antonio</i>	119
Tabla 28. <i>Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y crespillo-cadmio de San Antonio</i>	120
Tabla 29. <i>Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y estrella-cadmio de San Antonio</i>	120
Tabla 30. <i>Pruebas de normalidad de suelo-plomo y crespillo-plomo de San Antonio</i>	121
Tabla 31. <i>Pruebas de normalidad de suelo-plomo y estrella-plomo de San Antonio</i>	121
Tabla 32. <i>Correlaciones de r de Pearson para agua y crespillo de la bocamina San Antonio</i>	124
Tabla 33. <i>Prueba de muestras emparejadas de agua-estrella respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio</i>	128

Tabla 34. <i>Prueba de muestras emparejadas de agua-crespillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio</i>	132
Tabla 35. <i>Prueba de muestras emparejadas de suelo-esterlla respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio</i>	135
Tabla 36. <i>Prueba de muestras emparejadas de suelo-crespillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio</i>	137
Tabla 37. <i>Pruebas de normalidad de agua-cadmio y huacchor-cadmio de Tangana</i>	137
Tabla 38. <i>Pruebas de normalidad de agua-cadmio y mullaca-cadmio de Tangana</i>	137
Tabla 39. <i>Pruebas de normalidad de agua-plomo y huacchor-plomo de Tangana</i>	138
Tabla 40. <i>Pruebas de normalidad de agua-plomo y mullaca-plomo de Tangana</i>	138
Tabla 41. <i>Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y huacchor-cadmio de Tangana</i>	139
Tabla 42. <i>Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y mullaca-cadmio de Tangana</i>	139
Tabla 43. <i>Pruebas de normalidad de suelo-plomo y huacchor-plomo de Tangana</i>	139
Tabla 44. <i>Pruebas de normalidad de suelo-plomo y mullaca-plomo de Tangana</i>	140
Tabla 45. <i>Prueba de muestras emparejadas de agua-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana San Antonio</i>	144
Tabla 46. <i>Prueba de muestras emparejadas de agua-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana</i>	148
Tabla 47. <i>Prueba de muestras emparejadas de suelo-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana</i>	151
Tabla 48. <i>Prueba de muestras emparejadas de suelo-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana</i>	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Planta mullaca</i>	59
Figura 2. <i>Pasto crespillo</i>	61
Figura 3. <i>Pasto huacchor</i>	62
Figura 4. <i>Pasto estrella</i>	63
Figura 5. <i>Mapa de ubicación de la bocamina Tangana en la comunidad de Huachocolpa</i>	75
Figura 6. <i>Bocamina Tangana de la comunidad Huachocolpa</i>	76
Figura 7. <i>Animales en los pastizales aledaños a la bocamina Tangana</i>	76
Figura 8. <i>Toma de muestra de agua de la bocamina Tangana</i>	77
Figura 9. <i>Obtención de muestras de suelo</i>	78
Figura 10. <i>Muestra de mullaca y huacchor</i>	79
Figura 11. <i>Mapa de ubicación de la bocamina San Antonio en la comunidad de Huachocolpa</i>	80
Figura 12. <i>Bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa</i>	80
Figura 13. <i>Animales en los pastizales aledaños a la bocamina San Antonio</i>	81
Figura 14. <i>Muestra de agua de la bocamina San Antonio</i>	82
Figura 15. <i>Obtención de muestras de suelo de la bocamina San Antonio</i>	83
Figura 16. <i>Muestra de pasto estrella y crespillo</i>	84
Figura 17. <i>Proceso de digestión de agua de las bocaminas San Antonio y Tangana</i>	85
Figura 18. <i>Secado del pasto natural</i>	86
Figura 19. <i>Proceso de molienda de los pastos naturales</i>	87
Figura 20. <i>Lavado, secado y pesado inicial de los crisoles</i>	88
Figura 21. <i>Pesado de muestras de pasto natural</i>	88
Figura 22. <i>Calcinación de muestra</i>	89
Figura 23. <i>Digestión en el HOT PLATEE de las cenizas</i>	89
Figura 24. <i>Lavado y filtrado de muestras digeridas</i>	90
Figura 25. <i>Muestra digestada para análisis</i>	90
Figura 26. <i>Curva de calibración en el equipo de Absorción</i>	92
Figura 27. <i>Análisis de las muestras en el equipo de Absorción</i>	94
Figura 28. <i>Estandarización del equipo con estándar cobre (Cu)</i>	94
Figura 29. <i>Concentración de cadmio en muestra de agua de la bocamina</i>	96

Figura 30. <i>Concentración de plomo en muestra de agua de la bocamina</i>	97
Figura 31. <i>Concentración de cadmio en muestra de agua de la bocamina San Antonio</i>	98
Figura 32. <i>Concentración de plomo en muestra de agua de la bocamina San Antonio</i>	99
Figura 33. <i>Concentración de cadmio en muestra de planta de la bocamina Tangana</i>	101
Figura 34. <i>Concentración de plomo en muestra de planta de la bocamina Tangana</i>	103
Figura 35. <i>Concentración de cadmio en muestras de plantas de la bocamina San Antonio</i>	105
Figura 36. <i>Concentración de plomo en muestras de plantas de la bocamina San Antonio</i>	107
Figura 37. <i>Concentración de cadmio en muestra de suelo de la bocamina Tangana</i>	108
Figura 38. <i>Concentración de plomo en muestra de suelo de la bocamina Tangana</i>	109
Figura 39. <i>Concentración de cadmio en muestra de suelo de la bocamina San Antonio</i>	110
Figura 40. <i>Concentración de plomo en muestra de suelo de la bocamina San Antonio</i>	111
Figura 41. <i>Objetivo comparativo</i>	116
Figura 42. <i>Diagrama de la prueba r para la docimasia de la hipótesis</i>	125
Figura 43. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	129
Figura 44. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	133
Figura 45. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	136
Figura 46. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	142
Figura 47. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	145
Figura 48. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	149
Figura 49. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	152
Figura 50. <i>Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis</i>	155

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de resolver la siguiente interrogante: ¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y en qué concentración se habrá acumulado en pastos naturales de las bocaminas San Antonio (BSA) y Tangana (BT) de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018? y el objetivo fue determinar la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y su acumulación en pastos naturales en las bocaminas mencionadas. En el desarrollo de esta investigación se cuantificó cadmio y plomo mediante la metodología analítica de espectrofotómetro de absorción atómica de flama por ser una técnica sensible y específica. Para la BSA, se realizó el análisis de la concentración de los metales en el agua obteniendo como resultados: cadmio (Cd) 0,0786 mg/L y plomo (Pb) 0,2340 mg/L. En muestras de la BT, los resultados para Cd 0,0455 mg/L y Pb 0,0583 mg/L, determinando que las concentraciones de Cd y Pb exceden los ECA. Los resultados de análisis de muestras de suelo en la BSA son: Cd 1,4067 mg/Kg y Pb 4,3973 mg/Kg; de la BT, Cd 0,0269 mg/Kg y Pb 3,9003 mg/L, con ello se evidenció que las concentraciones están por debajo de los ECA. Finalmente, se realizó el análisis en las muestras de pastos naturales de la BSA: pasto estrella, Cd 0,4274 mg/Kg y Pb 0,3101 mg/Kg y crespillo, Cd 5,3495 mg/Kg y Pb 7,7008 mg/Kg, y en la BT: mullaca, Cd 0,2287 mg/Kg y Pb 0,2274 mg/Kg, y huacchor, Cd 0,1578 mg/Kg y Pb 0,0565 mg/Kg. En conclusión, teniendo en cuenta el contenido de cadmio y plomo en los pastos naturales de las bocaminas en estudio, y, las concentraciones de dichos metales en agua; se arribó que la relación de Cd y Pb en agua es significativa en los pastos naturales aledaños a ambas bocaminas antes mencionadas según la prueba de T de Student de muestras relacionadas con el P valor y la significancia $\alpha = 5\%$, sin embargo con la prueba de r de Pearson, solo existe relación la concentración de cadmio en agua frente al pasto mullaca ($r = 0,858$) y una significancia de 0,003. Por otro lado, considerando el contenido de cadmio y plomo en los pastos naturales de las bocaminas en estudio, y, las concentraciones de dichos metales en suelo; se llegó a la conclusión que la relación de Cd y Pb en suelo no es significativa en los pastos naturales aledaños a ambas bocaminas antes.

Palabras clave: pastos nativos, espectrofotometría, bocamina

Abstract

The present investigation was carried out with the purpose of solving the following question: What is the concentration of cadmium and lead in water and soil and in what concentration will it have accumulated in natural pastures of the San Antonio (BSA) and Tangana (BT) mines? of the community of Huachocolpa-Huancavelica-2018 ?, and the objective was to determine the concentration of cadmium and lead in water and soil and its accumulation in natural pastures in the mentioned mine holes. The instrumental analytical method used was the flame atomic absorption spectrophotometer. For the BSA, the analysis of the concentration of the metals in the water was performed, obtaining as results: cadmium (Cd) 0.0786 mg / L and lead (Pb) 0.2340 mg / L. In BT samples, the following results were obtained: Cd 0.0455 mg / L and Pb 0.0583 mg / L, determining that the concentrations of Cd and Pb exceed the ECA. The results of analysis of soil samples in the BSA are: Cd 1.4067 mg / Kg and Pb 4.3973 mg / Kg; of BT, Cd 0.0269 mg / Kg and Pb 3.9003 mg / L, with this it was shown that the concentrations are below the ECA. Finally, the analysis was performed on the natural grass samples of the BSA: star grass, Cd 0.4274 mg / Kg and Pb 0.3101 mg / Kg and curl, Cd 5.3495 mg / Kg and Pb 7.7008 mg / Kg, and in BT: mullaca, Cd 0.2287 mg / Kg and Pb 0.2274 mg / Kg, and huacchor, Cd 0.1578 mg / Kg and Pb 0.0565 mg / Kg. In conclusion, taking into account the cadmium and lead content in the natural pastures of the mine openings under study, and the concentrations of said metals in water; It was found that the relationship of Cd and Pb in water is significant in the natural pastures adjacent to both of the aforementioned mines according to the Student's T test of samples related to the P value and the significance $\alpha = 5\%$, however with the test of Pearson's r, there is only a relationship between the concentration of cadmium in water versus the mullaca grass ($r = 0.858$) and a significance of 0.003. On the other hand, considering the cadmium and lead content in the natural pastures of the mine openings under study, and the concentrations of these metals in the soil; It was concluded that the relationship of Cd and Pb in soil is not significant in the natural pastures adjacent to both mine openings before.

Keywords: native grasses, Spectrophotometry and bocamina

INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de la actividad minera principalmente. Estos compuestos representan una amenaza y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan. (Padmavathiamma y Li, 2007)

La contaminación ambiental se empodera como uno de los problemas más importantes que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente. (Chen et al., 2013)

El estilo de vida de la sociedad actual ha conllevado al impulso de las diversas actividades antropogénicas generando un aumento en la emisión de sustancias contaminantes, los cuales se acumulan en suelos, agua y plantas, que están íntimamente relacionados con las especies animales; facilitando la entrada de dichas sustancias tóxicas a las redes tróficas. Dentro de los contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados, algunos de estos metales pueden ser muy tóxicos o inclusive letales en concentraciones muy bajas. (Cobb et al., 2000; Rascio & Navari, 2011; Bonanno et al., 2017)

La contaminación del ambiente, es uno de los problemas más evidenciados por la sociedad a nivel mundial y que ocupa un lugar importante en los problemas sociales y políticos, por la progresiva degradación de los recursos naturales causada por los diferentes contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos presentes en la atmósfera, agua, suelo y subsuelos procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas, lo cual genera un irremediable deterioro del ambiente. (Pineda, 2004)

La limpieza de suelos contaminados por la actividad minera requiere cuantiosas inversiones y la fitorrestauración con plantas es una alternativa adecuada en algunos casos. En esta técnica se concentran compuestos y elementos contaminantes de metales pesados como el cadmio y el plomo en la especie vegetal,

para metabolizarlo y transformarlo en otros compuestos y elementos. Este procedimiento natural puede tomar mayor tiempo que otras técnicas, pero lo importante es que reduce impactos ambientales y costos.

El Perú ocupa un lugar muy importante en Latinoamérica y el mundo por su producción y potencial minero, sin embargo, las actividades antropogénicas no son sostenibles. Entre ellas están la práctica de metodologías inadecuadas en la disposición de relaves que han provocado la contaminación de las fuentes hídricas (ríos, lagos y/o lagunas), siendo tradicionalmente los recursos naturales más afectados por la contaminación de las actividades mineras.

La minería polimetálica se ha practicado desde tiempos ancestrales, principalmente en el Departamento de Huancavelica. El mayor problema ambiental de la minería polimetálica, está relacionado con el nivel de metales residuales sin valor económico que contamina el suelo, ya sea físicamente afectando la textura, estructura, estabilidad y disponibilidad de agua y plantas, o químicamente con alteración de pH, déficit de nutrientes y exceso de metales tóxicos.

En el Distrito de Huachocolpa, de la Provincia y Departamento de Huancavelica, existen pequeñas mineras explotadas por la comunidad, entre ellas las bocaminas de Tangana y San Antonio ubicadas a una altura de 4,799 y 4,349 m.s.n.m. respectivamente, cuyo proceso de explotación liberan compuestos y elementos contaminantes en el suelo y agua, consecuentemente afectando en las especies vegetales y sus efectos sobre el medio ambiente permanecen ignorados. Los metales pesados como el cadmio y plomo constituyen un grave problema de toxicidad en el pastoreo de especies animales y es de gran interés el control de su contenido, estos metales pesados son contaminantes que necesitan especial atención porque pueden permanecer varias décadas en el suelo y concentrarse en la cadena trófica.

La acumulación de metales pesados en pastos naturales (mullaca, huacchor, crespillo y estrella) inhibe y/o activa algunos procesos enzimáticos que perjudican su producción tanto cualitativa como cuantitativamente. Los metales pesados como: plomo (Pb) y cadmio (Cd) son los metales más comunes que están presentes en los

suelos de yacimientos mineros.

La interrogante a resolver en la presente investigación fue: ¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y en que concentración se habrá acumulado en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica? Dicha interrogante conllevó a validar la hipótesis central, que es: la concentración de cadmio (mgCd/L) y plomo (mgPb/L) en agua y suelo influyen significativamente en la acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica. El objetivo central del estudio se basa en determinar la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y su acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica, mediante el método analítico instrumental con el uso de espectroscopía de absorción atómica de flama.

Para llevar a cabo la investigación, el trabajo se ha estructurado en 4 capítulos: En el capítulo I, se describe la problemática existente, planteando específicamente el problema, formulación del problema, los objetivos de la investigación y la justificación de la investigación realizada.

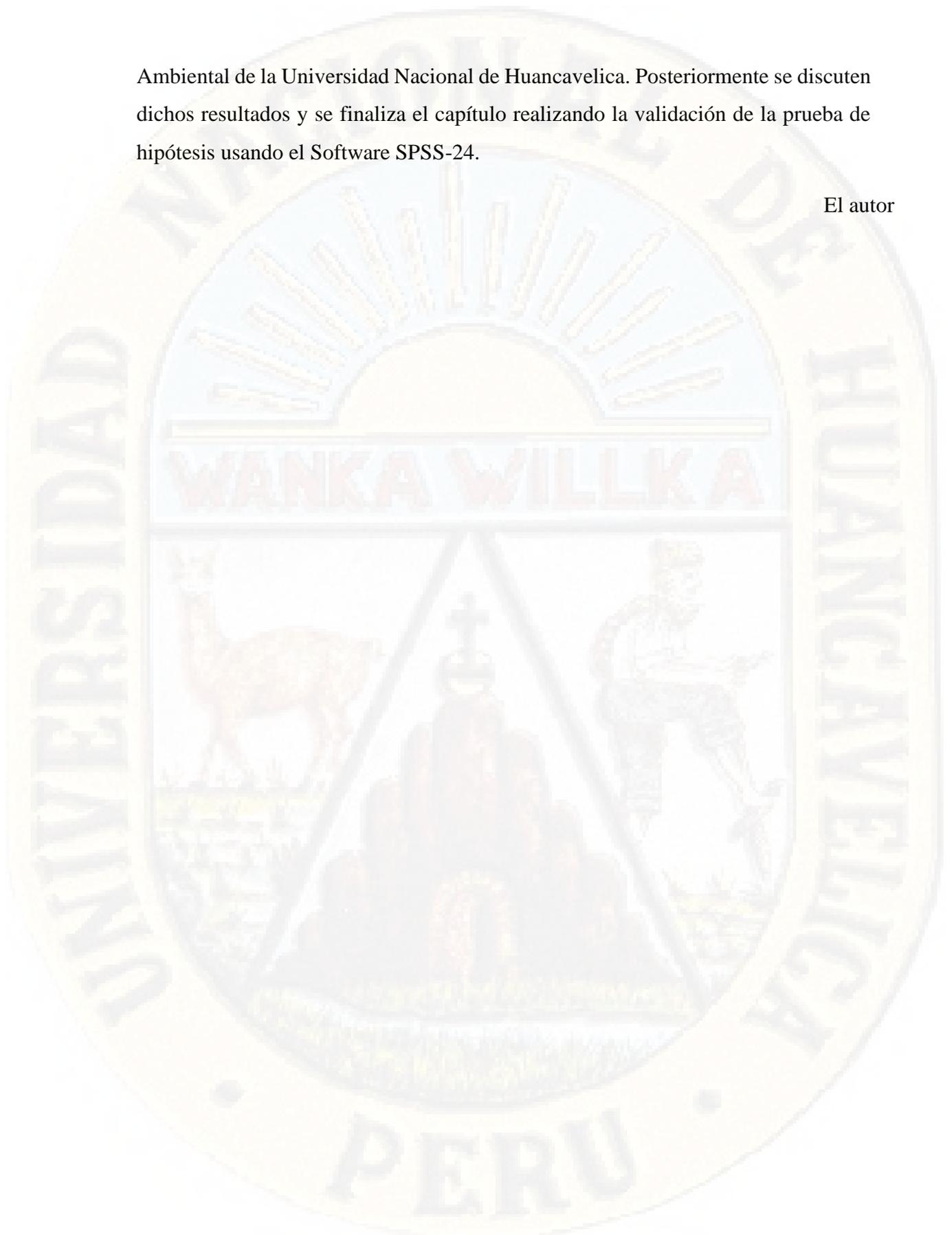
En el capítulo II, se muestra el marco teórico, que consta de antecedentes de la investigación, bases teóricas, marco conceptual, marco filosófico, formulación de hipótesis, identificación de variables y definición de variables e indicadores.

En el capítulo III, se plantea la metodología de la investigación como tipo de investigación, nivel, método, diseño de investigación. Asimismo, se determina la población, muestra y muestreo a realizar. Por otro lado, se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de datos usados, y las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Finalmente, en el capítulo IV, se presentan e interpretan los resultados de la determinación de concentraciones de cadmio y plomo en agua, suelo y pastos naturales, por el método químico instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) de flama, llevado a cabo en el Laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil

Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica. Posteriormente se discuten dichos resultados y se finaliza el capítulo realizando la validación de la prueba de hipótesis usando el Software SPSS-24.

El autor



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La generación de aguas ácidas surge por la limitada, poca o ausencia de control practicada por las industrias extractivas mineras, con lo cual se genera la contaminación a los recursos hídricos, suelo, flora y fauna del ecosistema.

Las aguas ácidas según Weibel (2009) pueden presentar en forma natural, y son incluso utilizadas como una herramienta de exploración, ya que permiten evidenciar la presencia de sulfuros en el entorno, en el caso particular de Chile, muchos yacimientos pórfidos cupríferos se caracterizan por presentar ésta condición en forma natural debido a su mineralogía, sin embargo, cuando el drenaje ácido es originado por una actividad productiva, como la minería, dicha intervención favorece e intensifica aún más la generación de este proceso, denominándose “drenaje ácido de mina”.

Las aguas ácidas es un fenómeno que se genera en forma natural, derivado del llamado “drenaje ácido de roca”. Este proceso se origina en depósitos no explotados y que pueden estar expuestos en la superficie en forma natural, y cuya mineralogía se caracteriza por la presencia de sulfuros (como la pirita y la arsenopirita) que, al entrar en contacto con el aire y el agua, en forma de lluvia o deshielos, terminan produciendo la acidificación del recurso hídrico (Revista Chilena, 2013). Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino et al., 2002).

El estilo de vida de la sociedad actual ha conllevado al impulso de las diversas actividades antropogénicas e industriales y, por ende, a un aumento en la emisión de sustancias contaminantes, generando la acumulación de éstas en suelos, agua y plantas, que están íntimamente relacionados con las especies animales; lo cual, facilita la entrada de dichas sustancias tóxicas a las redes tróficas. Dentro de los contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados. Algunos de estos metales son benéficos, debido al papel que desempeñan en las funciones bioquímicas y fisiológicas

en los seres vivos y otros pueden ser muy tóxicos o inclusive letales en concentraciones muy bajas.

Minkina et al., (2014) nos dicen que la propagación de los metales pesados en la cadena alimenticia, constituye un riesgo serio para el medio ambiente y la salud de plantas, animales y humanos, puesto que son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación y no son metabolizados por los seres humanos, generan bioacumulación y biomagnificación de su concentración en la red trófica (Navarro F. 2005 y Kabata A. 2000). Dentro de los metales que representan serios problemas medioambientales, se encuentran el mercurio (Hg), molibdeno (Mo), plomo (Pb), cadmio (Cd), talio (Tl), vanadio (V) y algunos metaloides como selenio (Se) y arsénico (As) por esta razón, en los últimos años se ha despertado el interés de su estudio y regulación.

Las especies vegetales, incluido algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata, 2000).

En el distrito de Huachocolpa, de provincia y departamento de Huancavelica, país Perú; el mayor porcentaje de área geográfica es yacimiento minero polimetálico y específicamente las bocaminas San Antonio y Tangana. La minería es la actividad de mayor importancia económica en dicho sector, causando un fuerte impacto ambiental, a través de drenajes de aguas, que son fuentes de contaminación a las cuencas hidrográficas y a los pastizales de las pequeñas ganaderías, y ello motiva investigar a fin de conocer la concentración en partes por millón (ppm) o mg/L de los metales pesados cadmio y plomo que contiene el agua y el suelo de las bocaminas en mención que pueden ser causales de acumulación en los pastos naturales, poniendo en peligro la red trófica (plantas, herbívoros y los carnívoros).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y en qué concentración se acumuló en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?

1.2.1. Problemas específicos

- a. ¿Cuánto es la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?
- b. ¿Cuánto es la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?
- c. ¿Cuánto es la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y la concentración de acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.
- b. Determinar la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.
- c. Determinar la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

La presente investigación, desde el punto de vista teórico, es de vital importancia, por que permitió aplicar y desarrollar los conocimientos adquiridos en aulas durante mi formación profesional y a su vez en el desarrollo del ejercicio de docencia formando a profesionales mineros desde mi especialidad. Es por ello que se usó el método analítico de Espectrofotometría de Absorción Atómica para determinar las concentraciones de cadmio y plomo en agua y suelo y su acumulación en pastos naturales.

1.4.2. Justificación práctica

El presente estudio contribuirá a la aplicación de nuevas técnicas constructivas, en el control de cadmio y plomo del agua drenada, suelo y pastos naturales de las bocaminas antes mencionadas, siendo este método aplicable en similares problemas.

1.4.3. Justificación social

Asimismo, la presente investigación tiene una justificación social debido a que se dio a conocer a la población los resultados del estudio de los pastos naturales de las bocaminas de Tangana y San Antonio, en relación a la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo, con la finalidad de prevenir la contaminación de la cadena trófica de la Comunidad de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica.

1.4.4. Justificación metodológica

La presente investigación tiene una utilidad metodológica porque a través del estudio que se realizó se determinaron las concentraciones de cadmio y plomo en agua y suelo para evaluar la significancia que ello representa en los pastos naturales aledaños, se utilizó el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica, mismo que permitió calificar la significancia entre agua y suelo con pastos naturales, desde una perspectiva cuantitativa.

1.4.5. Justificación legal

El presente estudio tiene como marco legal las reglamentaciones del Ministerio de Trabajo, normativas ambientales, normativas del agua (Autoridad Local del Agua (ALA), Autoridad Nacional del Agua (ANA)), Decreto Supremo N° 004-2017-

MINAM para agua, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM para suelo, Ley Universitaria N° 30220, Estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica, Reglamento para trabajos de investigación científica y tecnológica.

Además, la Ley General del Ambiente N° 28611, en su Artículo I del derecho y deber fundamental menciona: Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

1.5. Limitaciones

El trabajo de investigación denominado “Presencia de cadmio y plomo en agua, suelo y su acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica-2018” no presentó limitaciones que impliquen su desarrollo, porque existen fuentes académicas como artículos de investigación, tesis que son similares a las variables de la hipótesis de la tesis, se tiene acceso a la toma de muestra. Asimismo, se cuenta con los equipos, materiales y reactivos en el laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica. Por este motivo y de acuerdo a lo mencionado, se reitera que no hubo limitaciones en la ejecución del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Ramírez et al. (2019) en su trabajo de investigación *Potencial fitorremediador de la chicura (Ambrosia ambrosioides) en suelos contaminados por metales pesados*, para optar el grado de maestría en Ciencias Agrarias-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, mencionan que:

Tienen como objetivo evaluar el potencial fitorremediador de suelo de *Ambrosia ambrosioides* y determinar la absorción de metales pesados (cadmio, cobre y plomo) en la planta bajo diferentes concentraciones 0, 20, 40, y 60 ppm aplicadas en el agua de riego. Los análisis se realizaron mediante absorción atómica, y con los datos obtenidos se calculó el factor de traslocación y factor de bioconcentración. El desarrollo del experimento y análisis de laboratorio se realizaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en el año 2018. Se utilizó un diseño factorial 3 por 4 con 4 repeticiones, siendo el factor A el metal pesado y el B la concentración del metal. Se tuvieron en total 12 tratamientos. Los resultados mostraron que en raíz, tallo y hoja las mayores concentraciones se presentaron en el tratamiento de cobre a 20 ppm con valores de 15 827.2, 13 030.9 y 4 979.4 mg /kg respectivamente. El cobre fue el metal que más absorbió la planta seguido por cadmio y plomo. En los materiales y métodos se desarrolló de esta investigación, así como los análisis de laboratorio se realizaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) (25° 33' 12.53'' latitud norte, 103° 22' 32.07'' longitud oeste) en la ciudad de Torreón Coahuila, arribando a las conclusiones: El cobre es el metal pesado que más absorbió la *Ambrosia ambrosioides*. El cobre a una concentración 20 (mg L⁻¹) presentó la mayor acumulación en raíz, tallo y hoja con 15827.2, 13030.9 y 4979.4 (mg kg⁻¹) respectivamente. El cadmio y cobre mostraron una tendencia de disminución en su acumulación al aplicarlos en concentraciones mayores de 40 y 60 (mg L⁻¹) respectivamente. El factor de traslocación biológico indicó que el cadmio es

el metal pesado que la planta trasloca hacia sus hojas con mayor facilidad. El plomo es un metal que la planta no puede traslocar. El factor de bioconcentración en Cd, Cu y Pb señala que se llevó a cabo una alta fitoextracción al superar todos los tratamientos el valor comparativo de 1. (p. 1)

Rodríguez (2017) en su investigación titulada *Potencial de fitoremediación de metales pesados por dos plantas de pasto nativo (Eucalyptus grandis y Ailanthus altissima) asistidas con AMF y minerales fibrosos en regiones mineras contaminadas*, tiene como objetivo:

Evaluar el efecto de las enmiendas de los minerales de arcilla fibrosa y la incubación de micorrizas arbusculares en la captación y translocación de metales pesados en las plantas de *Eucalyptus grandis* y *Ailanthus altissim*. Para lo cual cultivó árboles de eucalipto y ailanto en una muestra de suelo, contaminados con minería de mineral de hierro de metales pesados y recolectados del sur de Irán. El área que se estudió es árida, con la mayoría de los árboles como ailanto y eucalipto. Las cantidades de Cd, Pb, Zn, Cu y Mn han estado inicialmente en niveles tóxicos que disminuyeron después del cultivo. Se agregó minerales arcillosos fibrosos a los suelos como absorbentes naturales para absorber metales pesados como Pb, Cd, Zn y Mn. La acumulación de los elementos en las raíces y brotes fue en el siguiente orden: Cu > Zn > Mn > Cd > Pb > Fe. Las concentraciones de órganos metálicos no fueron translocadas estadísticamente de las raíces a los brotes de las plantas, a excepción de Zn y Cu, cuyas concentraciones han sido significativamente más altas en las raíces. El eucalipto es muy capaz de extraer elementos de suelos contaminados, en comparación con el ailanto, particularmente en el caso de Cu y Cd.

El porcentaje de colonización micorrízica fue mayor en macetas con plantas de ailanto cultivadas en suelo contaminado, lo que sugirió un mayor efecto de altas concentraciones de metales en la infección de las plantas por *G. mosseae*. AMF ayudó a la remediación del suelo al mejorar el crecimiento y la retención de elementos tóxicos por ailanthus, mientras que AFM no ha observado cambios sustanciales entre las plantas de eucalipto inoculadas y no inoculadas, con

respecto a la translocación de elementos a plantas. La posibilidad de aumentar la acumulación de metales en las raíces es interesante para fines de fitorremediación, ya que la mayoría de las plantas de biomasa de alta producción, como el eucalipto, retienen metales pesados en las raíces.

Bakırdere et al., (2016) en su tesis *Determinación de los niveles de contaminación de Pb, Cd, Cu, Ni y Mn causados por la antigua galería de minería de plomo*, tienen como objetivo:

Determinar los niveles de contaminación por metales causados por la antigua área minera de plomo. Para dicho objetivo, Pb, Cd, Cu, Ni y Mn se determinaron no solo en muestras de sedimentos tomadas de diferentes lugares del área minera, sino también en algunas plantas tomadas alrededor del lugar de la mina. En la digestión de muestras de plantas, aplicaron el procedimiento de incineración en seco. Usó un espectrofotómetro de absorción atómica de llama (FAAS) en la determinación de analitos de interés. Todos los parámetros en los procedimientos de digestión y detección fueron optimizados para obtener una digestión eficiente y altas sensibilidades para los analitos. Por otro lado, en cuanto a los materiales y métodos se aplicaron métodos estándar de adición y calibración directa para determinar si había alguna interferencia de la matriz que afectara la determinación de los analitos. Finalmente, la conclusión fue que la concentración de Mn era la más alta para cada muestra analizada. Encontraron que la concentración de plomo estaba entre 41 y 249 mg / kg en muestras de suelo / sedimento y entre 2.2 y 1003 mg / kg en muestras de plantas. Los niveles de contaminación más altos para todos los analitos con la excepción de Cd se encontraron en la muestra de sedimento. (p. 132)

Correa (2016) en su tesis *Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio*, de la Universidad Complutense, afirma que:

El cadmio es un metal pesado asociado a importantes problemas de salud. Su existencia en el suelo, ya sea por causas naturales o antrópicas, genera gran preocupación a nivel ambiental, principalmente por su facilidad para ser absorbido por las plantas como por su facilidad para ser movilizado, pudiéndose incorporar a la cadena trófica. Con este trabajo, la autora pretendió

conocer, a través de revisiones bibliográficas, la toxicidad del cadmio, su distribución en suelos con diferentes características y su importancia y repercusión a nivel ambiental y, por otro, las posibles estrategias para reducir su biodisponibilidad y movilidad en suelos contaminados. (p. 3)

Coyago & Bonilla, (2016) en su trabajo de investigación *Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano*, trabajo de fin de grado Facultad de Farmacia Universidad Complutense, tiene como objetivo:

Evaluar la capacidad de absorción de plomo de tres especies vegetativas: *Amaranto hybridus* (amaranto), *Beta vulgaris* (acelga) y *Medicago sativa* (alfalfa); las tres especies fueron replantadas en suelos contaminados artificialmente con concentraciones de 2,5, 5 y 10% de plomo. Cuyo objetivo era determinar la cantidad absorbida en diferentes tiempos, la evolución de la absorción de plomo en las diferentes especies vegetativas fue medida utilizando la técnica de digestión ácida y cuantificada en un espectrofotómetro de absorción atómica a 0, 20, 30, 45, 60 y 90 días de exposición. La absorción de plomo se vio influenciada directamente por la biomasa generada. El amaranto presentó desintoxicación, mientras que la alfalfa y acelga presentaron una absorción continua, este factor involucra un problema potencial en seguridad alimentaria ya que se evidencia una retención del contaminante en la estructura vegetativa, provocando la contaminación de animales y humanos por consumo directo de estas plantas. Arribando a las siguientes conclusiones: 1) El Cadmio es un metal cuya presencia en el medio ambiente puede proceder tanto de fuentes naturales como de la actividad del ser humano, siendo el suelo uno de los principales receptores y, por tanto, una posible vía de intoxicación para el hombre y los animales, dando lugar a diferentes patologías. Es considerado uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental. 2. Los suelos agrícolas son los que más sufren la contaminación por Cadmio debido al gran uso de fertilizantes y abonos, por ello, es necesario realizar un seguimiento del contenido de Cadmio en los suelos agrícolas ya que el uso de fertilizantes fosfatados o ricos en Zinc podría suponer, con el paso del tiempo, un incremento en los niveles de Cadmio, lo cual es importante por la peligrosidad del cadmio para la salud humana a través de la ingestión de

alimentos. El pH y la cantidad de materia orgánica son los factores más influyentes en la movilidad del Cadmio en el suelo. Aquellos suelos con mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico y de textura más fina, el Cadmio, se fija con mayor facilidad. A nivel legislativo, la importancia de proteger los suelos frente a la contaminación hace que comiencen a desarrollarse medidas para definir límites de concentración de Cadmio en los suelos y, en general, de cualquier elemento que suponga un riesgo para la salud. (p.35)

Según García et al., (2016) en su trabajo de investigación denominado *Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para determinación de metales pesados en pastos*, tiene como objetivo:

Desarrollar y validar un método ambientalmente amigable para la digestión y extracción de Cd^{+2} y Pb^{+2} en pastos, utilizando ultrasonido y espectroscopia de absorción atómica. Se evaluaron diferentes variables que afectan la digestión, como posición en el ultrasonido, peso de muestra, solvente, volumen del solvente, tiempo de sonicación y tipo de recipiente, en muestras de pastos dopadas con los metales, teniéndose como variable de respuesta, el porcentaje de recuperación. Las condiciones para extraer Cd^{+2} y Pb^{+2} en estas pasturas, fueron: 0,50g de tejido vegetal; 3,00mL de HCl: HNO_3 (3:1) expuestos 60 min al ultrasonido, en tubos de vidrio cónicos. Este procedimiento mostró un comportamiento lineal en el rango de 0,50 - 8,00mg/Kg con R^2 de 0,99 tanto para Cd como para Pb. Los límites de detección y cuantificación, fueron 0,25 y 0,43 mg/Kg para Cd; 0,22 y 0,37 mg/Kg para Pb. En la metodología, se comparó con la técnica clásica y permitió determinar niveles trazas de estos metales tóxicos, en forraje proveniente del Magdalena medio, con porcentajes de recuperación de 97,54 y 98,62%, respectivamente. (p. 3)

Según Reyes et al., (2016) en su trabajo de investigación titulado *“Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria”*, mencionan que:

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos,

suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. En dicha revisión, se aborda el problema específico de contaminación por mercurio (Hg), Arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en ambiente y alimentos. Presentan una descripción sobre las fuentes de contaminación y exposición en seres vivos, así como la incorporación y retención en alimentos y productos de consumo humano. Abordaron casos de estudio y resultados obtenidos en algunos países del mundo incluido Colombia. Los estudios realizados por dichos autores demostraron que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne. De igual manera, las condiciones de cultivo influyen en la concentración de metales pesados sobre las diferentes matrices. (aire, agua, suelo y plantas) (p. 66)

Según Ríos et al., (2016) en su investigación titulada *Determinación de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales urbanos de Ciudad Juárez, Chihuahua, México*, tiene como objetivo:

Determinar cuantitativamente la presencia de los metales y/o metaloides mencionados, así como establecer su posición dentro de los rangos que establecen los límites permisibles en áreas urbanas. El material recolectado fue tratado con técnicas específicas (USEPA, 2002) y analizado por medio de plasma inductivamente acoplado con un espectrómetro de emisión óptica (ICP-OES). Los resultados obtenidos revelaron que el suelo superficial de una casa-habitación ubicada en la colonia Mariano Escobedo (ME) presentó la cantidad más elevada tanto de cadmio como de cromo. No obstante, los valores reportados no superaron los establecidos por la normatividad mexicana. Específicamente para el caso del cromo, se presentó una concentración dentro de los valores naturales que normalmente contiene el suelo (< 70 ppm). El cadmio mostró concentraciones elevadas (> 1 ppm) en todos los sitios de muestreo, las cuales sobrepasan las establecidas como límite en la normatividad de algunos países europeos. (p. 54)

Según Zhan et al., (2016) en su tesis *Acumulación de cadmio y plomo y ácidos orgánicos de bajo peso molecular secretados por las raíces en un cultivo intercalado de un acumulador de cadmio *Sonchus asper* L. con *Vicia faba* L.*, mencionan que:

Sonchus asper L. y *Vicia faba* L. son un acumulador local de cadmio (Cd) y una cosecha principal de invierno, respectivamente, que se encuentran en el área de minería de plomo y zinc de Huize en la provincia de Yunnan, sur oeste de China. La biomasa y los ácidos orgánicos de bajo peso molecular (LMWOA) secretados por las raíces de estas plantas, el contenido de Cd y plomo (Pb) y su acumulación en un monocultivo de *S. asper*, monocultivo de *V. faba* y *S. asper* / *V. faba*. Los cultivos intercalados de faba se investigaron en un experimento de campo a 35, 80 y 180 días después de la siembra. Los resultados mostraron que el cultivo intercalado no tuvo influencias notables en la biomasa vegetal y los rendimientos de grano de *V. faba*, pero condujo a un aumento significativo en la cantidad de biomasa de tallo y hoja de *S. asper* a los 180 días después de la siembra. Los principales LMWOA secretados por las raíces de *V. faba* y *S. asper* fueron ácido oxálico, ácido tartárico y ácido cítrico. El cultivo intercalado resultó en un aumento y una disminución en los contenidos de LMWOA secretados por *V. faba* y *S. asper* raíces, respectivamente. Junto con el crecimiento de las plantas, el contenido de Cd disponible disminuyó y los contenidos de Pb disponibles no exhibieron cambios obvios en las muestras de suelo de un monocultivo de *V. faba*. La cantidad de Cd y Pb disponibles aumentó en el suelo del monocultivo de *S. asper*, pero disminuyó en el del *S. asper* / *V. faba* intercrop. El cultivo intercalado dio como resultado una disminución en el contenido y la acumulación de Cd y Pb en plantas de *V. faba*, pero un aumento tanto en el contenido como en la acumulación de Cd y Pb en plantas de *S. asper*. Además, el cultivo intercalado mejoró los coeficientes de enriquecimiento y traducción de Cd para *S. asper*. La eficiencia de remediación fue la más alta a 180 días después de la siembra. Hubo correlaciones negativas significativas entre el contenido de ácido cítrico, ácido málico (secretado por las raíces de *V. faba*), ácido oxálico y ácido tartárico (secretado por las raíces de *S. asper*) y el contenido de Cd disponible en las muestras de suelo. Además, hubo una correlación positiva significativa entre el contenido de Cd disponible en el suelo y el contenido de Cd en las raíces y granos de *V. faba*. El cultivo intercalado redujo el contenido de Cd en las plantas y los granos de *V. faba* y estuvo estrechamente relacionado con la disminución del contenido de Cd disponible en las muestras de suelo, que fue mediado por las raíces de las plantas que secretaban LMWOA. (p. 40)

Según Niño & Ramírez, (2015) en su trabajo de investigación titulado *Análisis de metales pesados en suelos irrigados con agua del río Guatiquía*, desarrollado en el país de Colombia, tiene como objetivo:

Analizar muestras de suelos usados principalmente para el cultivo de arroz, en la vereda La Esperanza, del municipio de Villavicencio. Estos suelos son regados con aguas del río Guatiquía, que atraviesa la ciudad de Villavicencio. Se tomó como base para la extracción y cuantificación de metales en suelos la metodología descrita en la Norma Técnica Colombiana 3388 y 3934, respectivamente. Se utilizó una norma internacional para poder determinar el grado de contaminación de los suelos. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de los metales analizados (cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc) se encuentran por debajo de los parámetros internacionales permitidos. (p. 167)

Según Camarillo, (2014). En su trabajo de investigación *Tolerancia a metales pesados y oxianiones de plantas que crecen en suelo contaminado con jales en Zimapán, Hidalgo*, Proyecto de Integración en Ingeniería Ambiental, de la Universidad Autónoma Metropolitana, realizado en México, Distrito Federal, menciona que:

En dicho proyecto se utilizó un suelo limpio (control positivo) proveniente de la UAM-A y jales (control negativo) provenientes del municipio de Zimapán, Hidalgo, los cuales presentaban un alto estado de intemperismo, con un pH ácido (2.37), con elevadas concentraciones solubles de Cd, Zn y As (24 mg/kg, 2225 mg/kg y 778 mg/kg respectivamente) y que representaron un caso extremo al que podría enfrentarse una cubierta vegetal conforme transcurre el tiempo de intemperización. Además, se experimentó también con dos mezclas de jales/suelo limpio al 80% y 50% respectivamente para evaluar el crecimiento de una mezcla de pasto (posible cobertura vegetal); epazote y acelga (como especies vegetales comestibles) en rizotrones por triplicado, en un invernadero donde se monitorea la temperatura y humedad relativa con sensores Lascar EasyLog USB Data Logger. (p. 3)

Según Peláez et al., (2014) en su trabajo de investigación *Tóxicidad de cadmio y plomo en Pasto Tanner Brachiaria arrecta*, tiene como objetivo:

Describir síntomas crecientes por intoxicación con el diseño de una escala valorativa de daños crecientes, adicionalmente se evaluaron cambios histológicos de raíz tallo y hojas mediante microscopía de luz de alta resolución (MLAR). Las plantas fueron sometidas a estrés abiótico con los tratamientos de sales de CdCl₂ en concentración de 10 ppm, y de Pb (NO₃)₂ 500 ppm, respectivamente. Los resultados principales mostraron un mayor detrimento cuando las plantas fueron expuestas al metal plomo que al cadmio en las raíces, tallos y hojas. Se apreciaron deformaciones extremas en paredes celulares de las células del córtex y en la endodermis de la raíz; en las hojas los daños fueron notorios para ambos metales sobre todo en el parénquima clorofílico y en la deformación de paredes de la epidermis tanto en haz como envés; en los tallos aparecen deformaciones de las células del parénquima de relleno cuando ocurre bioacumulación intensa de plomo. Estos resultados sugieren que la bioconcentración en los tejidos vegetales ocasiona trastornos histológicos, que pueden involucrar una red trófica y por consiguiente consecuencias en la Salud Pública. (p. 3)

Según Balderas et al., (2013), en su trabajo de investigación *Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho*, tiene como objetivo:

Determinar el grado de contaminación por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho en suelos agrícolas que se encuentran en la periferia de éstos. Las muestras de suelo (0 a 10 y 10 a 30 cm de profundidad) se tomaron a lo largo de un trayecto a intervalos regulares de 5 m, hasta una distancia de 25 m. Se observó que, en el suelo estudiado, en el tejido de San Gabriel Jilotepec (ESAJ), los contenidos de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn presentan una distribución homogénea y la concentración más elevada de ellos se tuvo en la capa superficial del suelo (0 a 10 cm), localizada en el punto inicial del trayecto donde se tomaron las muestras. El índice de "Zn equivalente", criterio empleado para determinar el potencial tóxico del suelo, señala que el suelo del sitio de ESAJ puede considerarse como potencialmente tóxico, por presentar valores de Zn equivalente superiores a 250 µg g⁻¹. La presencia de Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn en el suelo del sitio estudiado, en concentraciones superiores

a las detectadas en el suelo control, indica un aporte de estos elementos a partir del depósito de vehículos de desecho. Además, se realizó una evaluación del riesgo de la contaminación por metales pesados en pasto ryegrass (*Lolium multiflorum*) en condiciones controladas. Aun cuando las concentraciones detectadas en las plantas de los tratamientos en los que se les adicionaron 300 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Cu (Cu300) y 600 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Zn (Zn600) al suelo, superaron los valores permisibles para esta especie, no se observaron efectos nocivos en su desarrollo; sólo en las plantas del tratamiento Cu300, se presentaron algunos síntomas indicadores de las altas concentraciones de Cu a las que se expusieron las plantas. (p.449)

Wang et al. (2006) en su trabajo de investigación *Transfiera las características del cadmio y el plomo del suelo a las partes comestibles de seis especies vegetales en el sureste de China*, mencionan que:

Las características de transferencia del Cd y Pb de los suelos a las partes comestibles de seis especies vegetales se calcularon a partir de plantas y muestras de suelo de superficie correspondientes que fueron recolectadas de los campos en la provincia de Fujian, sureste de China. Los factores de transferencia de suelo a planta (TF) calculados a partir de Cd y Pb extraíbles totales y DTPA en los suelos disminuyen con el aumento de Cd y Pb total o extraíble con DTPA, lo que indicó que los valores de TF de Cd y Pb dependen del suelo contenido de metal. Para la mayoría de las plantas estudiadas, hubo una relación significativa entre los valores de TF y las concentraciones de metales del suelo correspondientes (total o extraíble con DTPA) que se describió mejor mediante una ecuación exponencial ($y = axb$). Finalmente, los investigadores recomendaron que el valor representativo de TF, para un sistema de cultivo-metal determinado, se calcule a partir de los modelos de regresión entre los factores de transferencia y las concentraciones de metal en el suelo correspondientes y a una concentración de metal en el suelo dada. (p. 127)

Acosta & Montilla, (2012) en su trabajo de investigación titulado *Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de*

impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá, de la Universidad de la Salle mencionan que:

El objetivo de su estudio fue establecer el estado actual de los recursos agua, suelo y sedimentos en la subcuenca del río Subachoque, enfocado principalmente en el análisis de las concentraciones de metales pesados (cadmio y plomo); así como analizar los impactos ambientales generados por las actividades económicas desarrolladas en la zona con relación a los mismos recursos. Se realizó análisis de la contaminación del agua, suelo y sedimento, donde se evaluaron parámetros físico – químicos de cada componente, así como la concentración de cadmio y plomo para cada punto de muestreo planteado. Los resultados obtenidos fueron analizados con respecto al Acuerdo 043 de 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). El desarrollo de estos análisis permitió evaluar el grado de contaminación del agua, suelo y sedimentos a lo largo del cauce del río Subachoque. (p. 124)

Chambi et al., (2012), en la publicación de su trabajo de investigación denominado *Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó*, tiene como objetivo:

Determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd, Zn) y As en suelos agrícolas y cultivos representativos en tres Microcuencas del municipio Poopó; divididas en tres partes (alto, medio y bajo). Se muestrearon suelos de parcelas agrícolas y cultivos fracción comestible (Papa, Haba, Cebada y Alfalfa), en puntos previamente seleccionados, según la disponibilidad, en la microcuenca de: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3). Las muestras con pequeñas concentraciones se determinaron mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica en llama y horno de grafito, en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas de La Paz (UMSA). La concentración de metales se evaluó con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo, propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador, los cultivos agrícolas se evaluaron con los contenidos máximos propuesto por Kabata-Pendias, 2000. Los resultados muestran que los suelos agrícolas de las tres Microcuencas en estudio se encuentran contaminados por arsénico, superando el nivel peligroso de (55 mg/kg de suelo), vía mineralización natural de la zona como por el aporte de la minería circundante en la

región (desmontes, aguas de copajira echadas a la intemperie y a los ríos), situación que merece una remediación inmediata, para poder evitar la intensidad de acumulación. El cultivo de haba fracción comestible presentan tendencias de mayor acumulación de arsénico, llegando en algunos casos a superar el contenido máximo en cultivos (1,7 mg/kg de muestra). (Chambi et al., 2012). (p.111)

Según Lara & Luis, (2012) en su investigación *Determinación de la eficacia de Azolla caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados*, nos dicen que:

Los metales pesados constituyen un riesgo grave de salud porque se acumulan en los suelos, el agua y los organismos. Uno de los métodos de eliminación de estos contaminantes del agua y el suelo es el uso de plantas (fitorremediación). Hay muchas plantas (hiperacumuladoras) que tienen la capacidad de acumular grandes cantidades de metales pesados. Uno de ellos es el helecho acuático *Azolla caroliniana*, planta usada para el desarrollo de la investigación de los autores antes mencionados. El objetivo de este estudio fue verificar la capacidad de *Azolla caroliniana* Willd como matriz hiperacumuladora de metales pesados como Pb y Cd en aguas contaminadas. Durante el experimento, la *Azolla caroliniana* fue cultivada en una solución de agua enriquecida con Pb y Cd, cada uno a concentraciones de 1, 2, 3 y 4 partes por millón respectivamente, además se le proporcionó condiciones ambientales modificadas como intensidad de luz, temperatura y humedad. La presencia de plomo y cadmio causó una inhibición del crecimiento de la *Azolla caroliniana* por acerca de 20 % y 70 % respectivamente. Al finalizar el experimento, el contenido de los metales de la prueba fue determinado tanto en el medio acuoso como en la biomasa. En el agua, la disminución de Pb fue de 85% y la de Cd de 75%. En los tejidos de la *Azolla caroliniana*, el factor de bioconcentración de plomo fue de hasta 6,50, y de cadmio hasta 4,45. (p. 15)

Ortiz et al., (2009) en su trabajo de investigación denominado *Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas, las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Comarca Lagunera, México*, tiene como objetivo:

Evaluar la capacidad extractora de plomo (Pb) y cadmio (Cd) del quelite (*Amaranthus hybridus* L.) al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares

(*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) al sustrato contaminado con Pb o Cd. Los autores realizaron dos experimentos. En el primero se adicionaron tres cantidades de micorrizas (0, 2.5 y 5.0 g/kg) en suelos con 300 mg/kg de Pb. En el segundo experimento, las mismas cantidades de micorrizas fueron probadas en suelos contaminados con 15 mg/kg de Cd. Las concentraciones de Pb y Cd en raíz, hoja y tallo a los 65, 95 y 125 días de edad de la planta se determinaron con un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados indican que la adición de micorrizas incrementó significativamente ($P < 0.05$) la concentración de Pb y Cd en raíz, tallo y hoja de quelite. (p. 661)

2.1.2. A nivel nacional

Chilicaus & Christiam, (2019) en su estudio titulado *Influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación de relave de la empresa minera Paredones*, de la Universidad Nacional de Huancavelica, tiene como objetivo principal:

El tratamiento de suelos contaminados y eliminación de metales pesados, como el plomo presente en relaves de mina de la empresa minera Paredones. Para la remoción de este metal pesado, los autores usaron el proceso de electroremediación, colocando como variables en este proceso la densidad de corriente de 10, 20 y 30 mA/cm² y con concentraciones de ácido oxálico de 5, 10, 15 mol/L y con un tiempo de residencia de 24 horas como mínimo y según antecedentes. Realizaron mediciones de pH, entre la distancia de los electrodos, observando que el pH se incrementa del ánodo hacia el cátodo, considerando una distancia de 10 cm entre ambos. Por otra parte, antes y después del proceso de electroremediación, realizaron un análisis de contenido de plomo (ppm), siendo el contenido de plomo inicial de 4641.80 ppm. De los resultados obtenidos de la investigación de dichos autores, se concluyó que la eficiencia máxima en la remoción de metal pesado de Pb, presentes en relave fue del 83.77%, con variables de 30 mA/cm² densidad de corriente y de ácido oxálico al 15M, y por último el análisis estadístico confirmó que la variable de mayor influencia en el proceso de tratamiento de suelo, fue la densidad de corriente. (p. 5)

Orellana et al., (2019) en el estudio que realizaron, titulado *Plomo en suelos agrícolas y pasturas cultivadas regadas con agua de río contaminada por la actividad minera*, nos mencionan que:

Los suelos agrícolas que se han regado con el agua contaminada de las actividades de minería metalúrgica durante más de 70 años constituyen un problema ambiental, así como una preocupación por la seguridad alimentaria y la salud humana. La presencia de plomo en el suelo y en los pastizales cultivados es altamente peligrosa, debido a su toxicidad, persistencia y acumulación en plantas y animales (ganado). Este elemento entra en la cadena trófica de los humanos debido a la ingesta de carne, leche y sus derivados. La concentración de plomo se determinó en el suelo y en los pastizales cultivados con *Lolium x hybridum* Hausskn y *Medicago sativa* L. Las muestras de suelo y pastos recolectadas en parcelas regadas con agua de río contaminada con metales pesados a una profundidad de 0-20 cm. El contenido de Pb fue determinado por la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados mostraron las concentraciones de plomo en el suelo en el rango de estándares de calidad ambiental para suelos de acuerdo con las regulaciones peruanas. En el suelo con *L. x hybridum* y *M. sativa*, el contenido promedio de plomo fue 57.17 ± 6.29 mg.kg⁻¹ y 57.19 ± 8.99 mg.kg⁻¹; en los tejidos por encima del suelo fueron 1.17 ± 0.69 mg.kg⁻¹ y 1.62 ± 0.68 mg.kg⁻¹, respectivamente. Además, no se observaron diferencias significativas en el contenido de Pb en el suelo y los tejidos vegetales. El factor de bioconcentración (FBC) en los tejidos sobre el suelo de *L. x hybridum* y *M. sativa* fue menor que uno y no fueron significativos. Por lo tanto, concluyeron que el riego con agua contaminada a largo plazo no es una preocupación para los agricultores en el Valle del Mantaro. (p. 14)

Recines & Carlos, (2019) en su trabajo de investigación *Evaluación de la capacidad de asimilación y concentración de metales pesados utilizando Beta vulgaris var. cicla para un proceso de restauración de suelo contaminado en la E.E.A Mantaro – Junín*, Universidad Nacional de Centro del Perú, menciona que:

En la absorción de metales pesados por el vegetal de *Beta vulgaris* var. Cicla,

la asimilación en las raíces, tallos y hojas, fueron insuperables en la descontaminación de metales pesados. Trabajaron con especímenes de tres lotes diferentes de cultivo, mencionados A, B y C, con una extensión de 125 m², cada lote equitativamente. En cada uno se recopiló muestras al azar de suelo de 1,0 Kg aproximadamente. El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina siendo los resultados: pH (7.48, 7.77, 7.66), textura, (Franco arcillosa), Capacidad de intercambio catiónico (16.00,12.80, 14.56), conductividad eléctrica (0.75, 0.63, 0.70 dS/m), masa orgánica (2.76, 1.31, 1.07), CaCO₃ (1.70 %, 10.50 %,7.10 %). Las concentraciones químicas en partes por millón (ppm) de los metales pesados detectados en el Lote A (antes, durante y después): arsénico (44.72, 35.37, 24.79), cadmio (4.38, 3.38, 1.83), cromo (19.37, 18.11, 11.01) y plomo (93.58, 73.23, 19.02); Lote B arsénico (40.79, 27.08, 27.76), cadmio (4.36,2.68, 1.71), cromo (19.90, 15.21, 13.03) y plomo (70.56, 32.40, 27.08); Lote C arsénico (47.32, 34.32, 29.27), cadmio (3.87, 2.78, 1.62), cromo (16.79, 17.17, 13.14) y plomo (117.4, 62.60, 41.01). Todo lo antes mencionado fue analizado por el procedimiento de “Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo” (ICP- MS), en el laboratorio autorizado CERPER S.A. Las semillas que se utilizó fue de la variedad var. cicla. Las muestras de la especie vegetal desecas, se remitieron al Laboratorio Acreditado de CERPER S.A. para investigar la presencia de metales pesados, mediante el procedimiento de ICP – MS. Lote A: raíces y hojas: arsénico (6.04 y 5.35 ppm), cadmio (0.47 y 2.14 ppm), cromo (2.97 y 2.84 ppm), y plomo (19.02 y 21.02 ppm). Lote B: raíces y hojas: arsénico (5.97 y 4.31 ppm), cadmio (0.57 y 1.25 ppm), cromo (1.82 y 2.79 ppm), y plomo (13.87 y 17.72 ppm). Lote C: raíces y hojas: arsénico (5.04 y 3.27 ppm), cadmio (0.63 y 0.92 ppm), cromo (1.67 y 1.80 ppm), y plomo (12.80 y 16.80 ppm). (p. 11)

Anticona & Arteaga, (2018) en su trabajo de investigación *Niveles de acumulación de cadmio y plomo por el tallo de Cortaderia rudiusscula Stapf (cortadera)*, Universidad Nacional de Trujillo-Perú; tienen como objetivo:

Determinar los niveles de acumulación de cadmio 4.0, 8.0, 12.0, 16.0, 20.0 ppm y plomo 20.0, 40.0, 60.0, 80.0, 100.0 ppm por el tallo de *Cortaderia rudiusscula* Stapf “*cortadera*”, para ello el material biológico fue recolectado en el distrito de Agallpampa, Otuzco, La Libertad; en una zona exenta de actividad minera. El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de Genotoxicidad Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, teniendo dos sistemas, plomo y cadmio respectivamente y dos grupos control. Luego de un periodo de adaptación del vegetal, la investigación se realizó en un entorno de foto iluminación de luz blanca durante 8 días, para lo cual se aplicó un diseño experimental de estímulo creciente, completamente aleatorizado, con seis tratamientos y tres repeticiones para cada sistema. La toma de muestra de los tallos, se realizó cada 48 horas en un periodo de 8 días de trabajo, las muestras se analizaron con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos se analizaron mediante el programa InfoStat, donde se obtuvo que el tallo de *C. rudiusscula* evidencia capacidad acumuladora para el plomo con 0.4780 ppm, con cual los autores sugirieron que podría usarse en planes de fitorremediación ambiental; sin embargo, para el cadmio se obtuvo un valor de 0.0462 ppm. (p. 12)

Dextre (2017) en su tesis denominada *Acumulación de metales pesados en Senecio rufescens* DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Perú, nos comenta lo siguiente:

En el desarrollo de su investigación determina la concentración de arsénico, cadmio, cobre y plomo en la parte aérea (tallos + hojas) y las raíces de *Senecio rufescens*. Asimismo, establece qué parte de la planta acumula más que la otra y lo relaciona con los contenidos respectivos de metales en los suelos. Evaluó la posibilidad de emplear esta especie para propósitos de remediación mediante el cálculo del factor de bioconcentración (FBC) y de traslocación (FT). Los ejemplares de *S. rufescens* se colectaron en dos localidades altoandinas: laguna Churuca (de suelos contaminados por minería) y laguna Ticticocha (de suelos aparentemente sin contaminación). Posteriormente analizó el contenido de metales totales de las plantas y sus suelos asociados mediante ICP-AES (espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma acoplado inductivamente). Los resultados indican que la concentración de cobre y arsénico en la parte aérea de las plantas de *S. rufescens* de Churuca es

significativamente superior al de la población de Ticticocha ($p \leq 0.05$), a pesar de que los contenidos de metales pesados en los suelos de ambas localidades no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), mientras que las cantidades de cadmio y plomo registradas en la parte aérea y la raíz de *S. rufescens* no muestran diferencias entre ambas localidades ($p > 0.05$). El análisis de los FBC y los FT reveló que *S. rufescens* acumula eficientemente arsénico y plomo en sus raíces, pero la acumulación de los demás metales en la parte aérea es limitada. Por lo tanto, se propuso a *S. rufescens* como una especie excluyente de arsénico y plomo, potencialmente útil para estudios de Fito estabilización de suelos contaminados en la zona de estudio. (p. 9)

Jara et al., (2017) en su trabajo de investigación denominado *Acumulación de metales pesados en Calamagrostis rigida (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y Myriophyllum quitense Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú*, mencionan que:

Las causas principales de la contaminación del agua son originadas principalmente por la industria, la minería y la agricultura. Uno de los ecosistemas acuáticos más vulnerables son los humedales altoandinos debido a la contaminación por metales pesados. El estudio fue realizado en las lagunas de Yanamate y Quiulacocha (región Pasco), Ticticocha y Yuracmayo (región Lima), en el centro del Perú. En *Calamagrostis rigida* y en *Myriophyllum quitense*, se encontró una mayor acumulación de metales pesados en los tejidos de las raíces que en la biomasa aérea. La mayor acumulación de cadmio (7,93 ppm materia seca) fueron obtenidas en las raíces de *C. rigida* procedente de la laguna Yuracmayo. Una mayor acumulación de cobre (96,43 ppm MS) fue registrada en *C. rigida* de la laguna Quiulacocha. Las mayores concentraciones de plomo (160,15 ppm MS) y de zinc (597,40 ppm MS). Finalmente, los autores concluyeron que las concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en el agua y en los sedimentos de las lagunas superaron ampliamente los estándares ambientales nacionales de calidad de agua. (p. 584)

Sancho y Nilo, (2017) en su tesis titulada *Suelos contaminados con plomo en la ciudad de la Oroya - Junín y su impacto en la calidad del agua del río Mantaro*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Perú evalúan:

La contaminación con plomo del aire y suelos de la Oroya por más de 90 años.

Como resultados de su estudio, han comprobado que los suelos de la ciudad de La Oroya que están frente al complejo metalúrgico están impactados con plomo, sobrepasando en muchos casos los 1200 mg/Kg. que es el estándar de calidad para suelos industriales comerciales y extractivos y superando en todo sentido el estándar de calidad del suelo peruano para vivienda que es de 140 mg/Kg. Por otro lado, mencionan que el contenido de plomo en el agua del río Mantaro sobrepasa los 0.05 mg Pb/L en épocas de lluvias (estándar de calidad de agua para riego y bebida de animales), lo que demuestra que hay impacto de los suelos hacia el río y que dicho impacto está relacionado con las precipitaciones pluviales. Dada la capacidad de dilución del río Mantaro, los contenidos de plomo en el río bajan a valores < 0.01 mg/L en épocas secas, sin embargo, el daño ambiental se da cada vez que se presentan las lluvias. (p. 48)

Luna y Rodríguez, (2016) en su investigación titulada *Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Perú, tiene como objetivo:

Determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Recolectaron un total de 40 muestras de papa de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta. La concentración media de cadmio en las muestras de papa para la cuenca del río Mashcón fueron de $0.3095 \text{ ppm} \pm 0.0078 \text{ ppm}$ y para la cuenca del río Chonta fueron de $0.3078 \text{ ppm} \pm 0.0223 \text{ ppm}$, evidenciándose que el 100% de las muestras de papa para ambas cuencas presentaron concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible (0.1 ppm, según lo indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el Codex Alimentarius). (p. 13)

Cáceres y Lourdes, (2015) en su tesis titulada *Remoción de cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante*, Universidad Nacional de Ingeniería-Perú, tiene como objetivo:

Asegurar la entrega de agua a las comunidades en la calidad y cantidad comprometidas. La Planta de Tratamiento de Agua procesa el agua de mina obtenida por bombeo de los pozos de desaguado del fondo del tajo, las aguas

captadas por los taladros horizontales y cualquier filtración o afloramiento de la zona. Estas aguas luego de su tratamiento son captadas por las comunidades, cuyo uso es para riego de vegetales y bebida de animales, el exceso de agua es aprovechada para el riego de vías y accesos dentro de las operaciones mineras. El sistema de tratamiento es a través de una neutralización mediante la dosificación de lechada de cal. Con la actualización y publicación de la norma referente a los Límites Máximos Permisibles (LMP), el D.S. N° 010-2010-MINAM, incluyó el monitoreo de cadmio (II) y otros metales. Según esta norma el valor de la concentración de cadmio total (II) debe ser de 0.05 mg/L, pero con el proceso mencionado anteriormente sólo llega a remover hasta un máximo de 0.1 mg/L de cadmio total (II). La característica principal del agua neutralizada obtenida en la Planta de Tratamiento de Agua es el valor de la concentración de cadmio total (II) el cual supera el límite máximo permisible de descarga, condición tal que la hace imposible de poder ser descargada a cursos de agua que utilizan las comunidades. Es por ello que los autores evaluaron la elección del reactivo Secuestrante TMT que es una sal trisódica, Trimercapto-S-Triazina como una alternativa de tratamiento para su utilización en la Planta de Tratamiento de Agua, logrando valores de concentración de descarga del cadmio total (II) menores a 0.05 mg/L cumpliendo con el D.S. N° 010-2010-MINAM. (p. 12)

Corzo, (2015) en su tesis *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca Quebrada Parac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima*, Pontificia Universidad Católica del Perú, menciona que:

Los pasivos ambientales mineros es una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico porque exponen al ambiente los sulfuros y, como resultado, estos producen drenaje ácido de mina. Estas aguas ácidas liberan los metales y metaloides (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn y As) los cuales son transportados por los cursos de agua y pueden llegar hasta el hombre por medio de la bioacumulación en la cadena trófica. Este es el caso de los relaves de la antigua Compañía Minera Millotingo ubicados en el cauce del río Aruri en la parte alta de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, donde, aguas abajo, las comunidades de San José de Párac y San

Antonio utilizan este recurso para regar sus cultivos de papa y alfalfa en época de estiaje. Sin duda, el caso de estudio presentado resulta complejo, por ello, el autor lo abordó bajo un enfoque multidisciplinario. De esta manera, utilizó métodos físicos y químicos, como la microscopía y espectrometría, para verificar la existencia de sulfuros y medir la calidad de agua de los ríos Aruri y Rímac. Asimismo, adecuó el enfoque ecosistémico para levantar información socioeconómica de las comunidades estudiadas. Finalmente, mediante la evaluación social multicriterio, identificó a los diferentes actores y sus discursos frente a la problemática de los pasivos de la microcuenca quebrada Párac. Corzo encontró que los relaves contienen sulfuros, que aportan con elementos tóxicos a los ríos Aruri y Rímac. Estos superan los límites permisibles del estándar del Estado de Oregón, Estados Unidos que son más estrictos que el criterio peruano, sobre todo con el arsénico que es altamente tóxico. Asimismo, evidenció que ambas comunidades riegan papa y alfalfa, cultivos caracterizados por bioacumular metales y metaloides. No obstante, creyó necesario la comprensión del proceso toxicológico de estos elementos y su translocación en los cultivos a condiciones ambientales de la quebrada Párac, para conocer el riesgo al que se exponen las comunidades. Sobre la remediación de los relaves, pese a que están catalogados como riesgo muy alto para el ambiente, el Estado está impedido de remediarlo. Las razones son que otorgó derechos para su reaprovechamiento a la empresa Proemina S.A.C y el pleito judicial que mantiene esta empresa en el Tribunal Constitucional. (p. 4)

Graza y Quispe, (2015) en su tesis *Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en El Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, cuantificó:

Arsénico, cadmio y plomo en las aguas del río Santa en el tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay el cual forma parte del departamento de Ancash. Las muestras de agua, se tomaron en nueve (09) puntos consecutivos que están conformados además de tres (03) blancos (blanco viajero, blanco muestreo y blanco lago), analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La concentración de arsénico fue

0,0404 mg/L, del plomo 0,6402 mg/L y del cadmio 0,0396 mg/L; siendo todos ellos superiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente. Según los resultados obtenidos, el estudio comprueba que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa – Recuay), ya que usan el río Santa como vía de eliminación de sus residuos. En lo que respecta en los análisis de los sedimentos, los valores de concentración de los metales pesados se encuentran en niveles de concentración que evidencian diferentes grados de toxicidad tomadas en base a los límites permisibles. Los autores comprueban que la contaminación por Pb, Cd, y Ar, tienen origen minero, siendo estos vertidos en las aguas del río, siendo estas las principales fuentes de contaminación por metales pesados. Finalmente, concluyeron que el agua del río Santa, está contaminada y no es adecuada para el uso y consumo humano. (p. 6)

Palpán y Augusto, (2015) en su tesis *Determinación químico toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco*, Universidad Nacional Mayor San Marcos, determinaron:

La presencia de dos metales pesados (cadmio y plomo) en agua potable para consumo humano provenientes de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – Pasco. Para este trabajo, los autores hicieron una división geográfica de la zona de San Juan Pampa, delimitándose 3 zonas: Zona alta, media y baja. En cada zona se ubicó un hogar que tenga los servicios básicos de agua y desagüe con la finalidad de obtener muestras a partir de sus respectivos grifos de uso diario, obteniéndose 20 muestras de agua potable en frascos estériles. Los resultados obtenidos por el método de Espectrofotometría por Absorción Atómica con Horno de Grafito, fueron los siguientes: cadmio: La concentración máxima fue de 0,1076 mg/L y la concentración mínima fue de 0,0013mg/L. La concentración media total fue de 0,0155 mg/L. Asimismo la concentración media de cadmio en la zona baja es 0,024 mg/L, la concentración media de la zona media es de 0,0117 mg/L, la concentración media de la zona alta es de 0,0099 mg/L. plomo: La concentración máxima fue de 0,5504 mg/L y la concentración mínima fue de 0,002 mg/L y la concentración media fue de 0,2152

mg/L. Con respecto al plomo: la concentración media de la zona Baja es 0,2313 mg/L, la concentración media de la zona Media es de 0,1925 mg/L, la concentración media de la zona Alta es de 0,2228 mg/L. Con esta información obtenida, Palpán y Augusto evidenciaron la presencia de niveles altos de cadmio y plomo en el agua potable para consumo humano perteneciente a la zona de San Juan Pampa – Pasco, llegando a ser una fuente principal de contaminación de los pobladores y superando los límites permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS). (p. 7)

Moreno et al., (2012) en su trabajo de investigación *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú*, mencionaron que el objetivo de su estudio fue:

Mitigar el impacto de metales pesados presentes en aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche. Realizaron muestreos de agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos. Los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en el Cuenca Alta durante el año de 1980: hierro (557.500 ppm), plomo (100.375 ppm), cadmio (4.550 ppm), cobre (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) y arsénico (9.000 ppm); mientras que en los suelos las mayores concentraciones se encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1980: hierro (83.400 mg/Kg); plomo (0.820 mg/kg); cadmio (0.012 mg/Kg); cobre (1.240 mg/Kg); zinc (0.380 mg/Kg) y arsénico (0.016 mg/Kg); en relación con la acumulación de metales en los cultivos, el hierro (0.6525 mg/Kg) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihot esculentus*) el cultivo donde se presentó. Por último, concluyeron que la mayor contaminación a nivel del análisis de agua se presentó en la cuenca alta y durante el año de 1980; mientras que el margen derecho de la cuenca media presentó los mayores niveles de contaminación en las muestras de suelos. (p. 235)

Choque, (2010) en su trabajo de investigación *Cuantificación de la remoción de Pb y Cd mediante la lenteja de agua *lemnagibba* y azolla *azolla fuliculoides* de las aguas de la bahía interior de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano; concluye en que la investigación se presentó y se demostró:

Los beneficios de la biorremediación como método de limpieza de aguas contaminados y que es una alternativa viable, aunque aún está en proceso de desarrollo. Además, se demostró que la lenteja de agua y Azolla filiculoides tiene la capacidad de remover los metales pesados cadmio y plomo si las condiciones adecuadas se encuentran presentes. De los resultados obtenidos la mayor cantidad de % Remoción, bioadsorción del metales pesados cadmio, plomo para azolla se observó entre los 15 a 25 días ha sido un porcentaje bajo de remoción y bioadsorción de metales pesados, mientras para la lenteja de agua la más alta capacidad de remoción y bioadsorción fue entre los 15 a 30 días de tiempo de contacto en el agua contaminada, ha sido la mejor especie acuática de tres veces mejor que la azolla en biosorción de cadmio(II) y plomo(II) del presente trabajo de investigación, tal vez de más elementos que estarían considerados por estudiar en los próximos trabajos de investigación. (p. 9)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua y minería

Liang, (2011) manifiesta que el uso de agua en la minería tiene el potencial de afectar la calidad del agua superficial y subterránea de los alrededores es por ello que el agua contaminada con elevadas concentraciones de metales, minerales de sulfuro, sólidos disueltos, o sales puede afectar negativamente a la calidad del agua superficial, ecosistemas acuáticos así como la calidad de las aguas subterráneas.

2.2.1.1. El agua

El agua se encarga del transporte de los contaminantes de cadmio y plomo en la cual se producen la mayoría de las reacciones químicas:

Las condiciones hidrológicas afectan a muchos factores abióticos, entre ellos el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal y para completar el ciclo, los componentes bióticos actúan alterando la hidrología y otras características fisicoquímicas del humedal. (Estrada, 2010, p.59)

El agua contaminada con altas concentraciones de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Plomo, etc.), minerales de sulfuro, sólidos disueltos, o sales puede afectar negativamente a la calidad del agua superficial, los ecosistemas acuáticos, y la calidad de las aguas subterráneas. El agua contaminada en muchas ocasiones es utilizada para regar cultivos, provocando la acumulación de contaminantes en el suelo, la vegetación y a su vez la inminente contaminación de animales y humanos. (OMS, 2013; Krueger et al., 2013, p. 1614; Dueñas, 2014, p. 40)

2.2.1.2. Necesidades de calidad de agua

Los requisitos para la calidad del agua se establecen de acuerdo con el uso al que se destina la misma:

Por lo común su calidad se juzga como el grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario. La calidad no es tan fácil de medir como la cantidad de agua en virtud de las múltiples pruebas que se necesitan para verificar que se alcanzan estos estándares. Es importante conocer los requisitos de calidad para cada uso a fin de determinar si se requiere un tratamiento de agua y de ser así, que procesos se debe aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad del agua también son fundamentales para vigilar los procesos de tratamiento. (Glynn & Gary, 1999, p. 408)

2.2.1.3. La minería

La minería ha tenido un gran impacto en el suelo, el agua y la biota desde la antigüedad: La fundición de metales para separar los minerales ha introducido muchos contaminantes al suelo. Las instalaciones mineras y de fundición liberan enormes cantidades de metales pesados y otros elementos tóxicos al medio ambiente; éstos persisten durante periodos prolongados, mucho después del término de estas actividades (Ogunele et al., 2017). Los desechos tóxicos de la minería son almacenados en estériles, los cuales están formados principalmente por partículas finas que pueden tener diferentes concentraciones de metales pesados. Estas partículas contaminadas pueden ser dispersadas por la acción de la erosión hídrica y eólica, pudiendo alcanzar

suelos agrícolas, encontrando altos niveles de plomo y cobre en campos agrícolas. Las concentraciones tóxicas de cromo y níquel también fueron encontradas en suelos agrícolas cerca de los residuos de una mina abandonada de cromita y asbesto en la India y en las cosechas cultivadas en esos suelos, lo que resultó en un alto riesgo para la salud de humanos y ganad. (Kumar y Maiti, 2015)

2.2.1.4. Sustancias químicas de fuentes industriales

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006) establece que la contaminación del agua con sustancias químicas de fuentes industriales (ver Tabla 1), puede producirse directamente por vertidos de industrias o, indirectamente, por fuentes difusas derivadas del uso y disposición de materiales y productos que contienen las sustancias químicas. Algunas de estas sustancias químicas, sobre todo las inorgánicas, pueden también proceder de la contaminación natural, pero ésta puede también ser consecuencia de actividades industriales, como la minería, que modifican los sistemas naturales de drenaje. Muchos de estos productos se utilizan en pequeñas industrias en núcleos habitados, y pueden constituir una fuente significativa de contaminación, particularmente cuando las industrias están integradas en núcleos donde hay otras empresas similares. (pp. 188-213)

Tabla 1

Valores de referencia correspondientes a sustancias químicas de fuentes industriales y núcleos habitados cuya presencia en el agua de consumo humano puede afectar la salud.

Sustancia	Valor de referencia		Observaciones
	µg/l	mg/l	
Cadmio	3	0.003	
Plomo	10	0.01	
Mercurio	6	0.006	Para mercurio inorgánico

Fuente: OMS, 2006, p. 213

2.2.2. Suelo

2.2.2.1. Contaminación de suelos

Se define al suelo como un ente tridimensional vivo compuesto de materiales inorgánicos como:

Minerales, agua y aire, que contempla una fracción orgánica, además de micro y macrofauna encargados de la degradación de la materia en el suelo. Normalmente en el suelo se encuentran en equilibrio muchas sustancias orgánicas e inorgánicas que podrían considerarse peligrosas para el hombre, y sólo cuando estas sustancias alcanzan niveles que ponen en riesgo la salud humana y el de los ecosistemas, se habla de contaminación del suelo. Si bien muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse en forma natural en el suelo, muchas de ellas tienen como fuentes principales las actividades humanas como la minería, la explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, inclusive las actividades en las ciudades a través del mal manejo de los residuos sólidos y aguas residuales. Dentro de las principales sustancias contaminantes se incluyen a los metales pesados como el plomo, cromo, arsénico, zinc, cadmio, cobre, mercurio y níquel. (Rodríguez, 2006, p. 114)

“El suelo es el medio más estático donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo, esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados que no pueden ser degradados”. (Azpilicueta et al., 2010, p. 12; Martí et al., 2011, p. 203)

“Las actividades mineras depositan sus residuos con metales pesados en la superficie del entorno minero “causando la contaminación del suelo, y representando un problema ambiental de gran preocupación mundial”. (Alkorta et al., 2010, p. 135)

Los suelos originales de las minas se degradan o se pierden irreversiblemente, “generando nuevos suelos modificados formados por materiales poco aptos para el desarrollo de procesos biológicos”. (Becerril et al., 2007, p. 50)

En el suelo “el plomo y el cadmio pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, complejación y precipitación “lo cual perjudica porque la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos”. (Lora, 2010, p. 61)

2.2.2.2. Los impactos de la contaminación del suelo en la cadena alimentaria y los servicios ecosistémicos

Las proyecciones más recientes de la FAO indican:

Que la producción mundial de alimentos crecerá un 60 por ciento entre 2005/07 y 2050 de acuerdo con su escenario de referencia, lo que según datos e información actualizados representa un ajuste a la baja con respecto al incremento de 70 por ciento proyectado para el mismo periodo en 2009. La cantidad y la calidad nutricional de los alimentos contribuyen a la salud humana. El 95 por ciento de la producción de alimentos depende del suelo, pero sólo los suelos sanos pueden prestar los servicios ecosistémicos necesarios y asegurar el abasto de alimentos y fibra. La contaminación del suelo reduce la seguridad alimentaria al disminuir el rendimiento agrícola debido a los niveles tóxicos de contaminantes y al hacer que los cultivos producidos sean inseguros para el consumo. (Oliver y Gregory, 2015, p. 257; FAO, 2015)

El exceso de metales pesados y metaloides en el suelo, como:

Arsénico, cadmio, plomo y mercurio, también puede alterar el metabolismo de las plantas y disminuir la productividad de los cultivos, ejerciendo presión en última instancia en las tierras de labranza. Al ingresar a la cadena alimentaria, estos contaminantes también crean riesgos para la seguridad alimentaria, los recursos hídricos, los medios de vida rurales y la salud humana. Una vez que los metales penetran en los tejidos vegetales, pueden interferir con varios procesos metabólicos, reduciendo el crecimiento de la planta, causando toxicidad y por último la muerte de la misma. Altos niveles de plomo, por ejemplo, aceleran la producción de especies reactivas del oxígeno, causando daño a la membrana lipídica y a la clorofila, lo que conduce a la alteración de los procesos fotosintéticos y al crecimiento general de la planta (Najeeb et al.,

2017). El cadmio se puede acumular en diferentes tejidos comestibles (Baldantoni et al., 2016), provocando menor crecimiento de raíces, tallo y hojas, reduciendo la fotosíntesis neta y la eficiencia del uso del agua y alterando la absorción de nutrientes. (Rizwan et al., 2017, p. 90)

2.2.2.3. Los metales pesados en el suelo

Kabata, (2000) describe que el suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial:

El suelo dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera. Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad. (p. 413)

Los suelos interaccionan químicamente “con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobre todo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico”. (Doménech, 1995, p. 190)

Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo “por lo que es especialmente grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables”. (Bech et al., 1995, p. 11)

Los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos:

Pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación. Esta persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas. Por ejemplo, se ha observado que el Cd tiene una permanencia de 13 a 1100 años y el Pb de 1000 a 3000 años. Estos intervalos varían notablemente según los regímenes de humedad y temperatura del suelo. (Gulson, 1996, p. 306)

2.2.2.4. Dinámica de los metales pesados en el suelo

López y Grau, (2005), señalan que en el suelo los metales pesados pueden estar en seis compartimentos principales, asociados de formas diversas a los constituyentes del suelo:

- Dentro de las redes cristalinas de los minerales primarios (no alterados, heredados de la roca madre) y de constituyentes secundarios (minerales procedentes de la alteración edafogénica)
- Adsorbidos en las fases de hidróxido de hierro, aluminio y manganeso.
- Secuestrados o ligados a los restos vegetales y animales (que son liberado a medida que se van mineralizando estos residuos).
- Incluidos en las macromoléculas orgánicas
- En forma intercambiable (ión) asociados a la superficie de las arcillas minerales y a la materia orgánica
- En forma soluble, coloide o particulada, en la solución del suelo. (p. 24)

2.2.2.5. Movilización de metales pesados

En suelos contaminados, una gran proporción de metales pesados están:

Generalmente unidos a varios compuestos orgánicos e inorgánicos o en forma de precipitados, lo que disminuye la concentración de metales biodisponibles para las plantas. Los microorganismos asociados a plantas pueden potencialmente mejorar la fitoextracción por la alteración de la solubilidad, disponibilidad y transporte de metales pesados a través de procesos como la reducción del pH del suelo, protonación liberación de quelatos o cambios rédox. (Fomina et al., 2005, p. 851)

Los metabolitos producidos por los microorganismos, los sideróforos “juegan un rol importante en la movilización y acumulación de metales, debido a que, como mencionó anteriormente, pueden formar complejos con iones de metales pesados divalentes y así ser asimilados por las raíces de la planta”. (Seneviratne et al., 2015, pp. 23 - 29)

2.2.2.6. Toxicidad de los metales pesados

Álvarez (2004) establece que la importancia de estudiar los metales pesados en suelo se debe a:

La toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, sin embargo, tienen una incidencia muy importante en el largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, debido a que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que acaban manifestándose. La toxicidad de los metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica es absorbido más fácilmente que cuando se encuentra en su forma elemental. (p. 13)

Rosas (2005) describió que la concentración de metales pesados puede tener efectos positivos o negativos sobre los seres vivos considerando que:

Algunos de ellos, en determinadas concentraciones siempre menores al 0,01% de la masa total del organismo, son elementos esenciales para la vida, así el V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn lo son para el hombre, sin embargo, pequeñas variaciones de sus concentraciones, tanto disminuciones como incrementos, pueden producir efectos nocivos, a veces graves, crónicos e incluso letales sobre los seres vivos. (p. 75)

2.2.3. Agua y suelo

Con agua y suelo contaminados en muchos lugares “se genera temor en la población, ya que el espacio físico que posibilita su desarrollo les puede ocasionar problemas de salud e impedir que sigan desarrollando sus actividades agropecuarias”. (Sánchez et al., 2017, p. 3)

En la Tabla 2 se muestra los LMP de concentración de metales pesados en agua, suelo y alimentos de consumo humano.

Tabla 2

Límites máximos permisibles de concentración de metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) en agua, suelo y alimentos de consumo humano

Alimento	Unid.	Hg	As	Cd	Pb
Agua de consumo humano	mg/L	0.001	0.05	0.01	0.05
Agua de uso agrícola		0.001	0.1	0,01	0,05
Hortalizas de bulbo		--	--	0,05	0,1
Hortalizas de fruto (cucurbitáceas)	mg/kg	--	--	0,05	0,1
Hortalizas de hoja		--	--	0,1	0,3
Legumbres		--	--	--	0,2
Raíces y tubérculos		--	--	0,1	0,1

Fuente: Reyes Y., (2016)

2.2.4. Cadmio

Chira (2010) describe como un metal pesado de muy alta peligrosidad, dada su elevada capacidad de acumulación en los organismos y su fuerte toxicidad es:

Sensible al pH en la solubilidad del Cd; su retención, por la fase sólida, aumenta fuertemente al incrementarse el pH. Tiende a ser más móvil que la mayoría de los metales pesados. Al aumentar la materia orgánica y la capacidad de cambio del suelo se incrementa la adsorción del Cd. La forma más usual de presentarse el Cd disuelto en la solución del suelo es como Cd^{2+} . La forma más frecuente de precipitación es como otavita ($CdCO_3$). El origen más frecuente de Cd son los sulfuros de cinc, concretamente la esfalerita y la greenockita. (p. 184)

WHO (1992) en su investigación determina que:

El cadmio se encuentra presente en la mayoría de los alimentos siendo más abundante en moluscos bivalvos, y dentro de las carnes en hígados y en riñones. Lo que preocupa a las autoridades sanitarias es precisamente que el cadmio se encuentre en la mayoría de los alimentos pues si bien las cantidades son pequeñas, al tener la particularidad de que su eliminación es muy lenta del organismo. Los niveles máximos tolerables de consumo diario de cadmio son 68 μg /persona/día para un peso de 68 kg. (p. 224)

2.2.4.1. Cadmio en el suelo

Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo:

En los suelos ácidos se produce un incremento de Cadmio por parte de las plantas que, a la larga, supondrá un daño potencial en aquellos animales que se alimentan de ellas. Si las concentraciones de este metal en el suelo, en general, son elevadas, los procesos microbiológicos que tiene lugar en él podrían alterarse, viéndose amenazado, por tanto, el buen funcionamiento del medio. (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2007). El nivel promedio de Cadmio en suelos se encuentra entre 0.07-1.1 mg/kg. La contaminación por metales pesados en el suelo puede llegar a persistir cientos y miles de años, aunque su incorporación se haya detenido. En el caso del Cadmio, la vida media en el suelo es de 15 a 1100 años detenido. (Rueda et al., 2011, vol. 60 núm.3)

Marruecos et al., (1993) describieron que el cadmio forma parte de la composición natural de:

Las rocas y suelos de los cuales provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental. (p. 393)

La minería de metales no ferrosos es la principal fuente de liberación de Cadmio al medio acuático porque:

La contaminación puede provenir del agua de drenado de minas, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, de derrames de los depósitos de desechos del proceso mineral, etc. La susceptibilidad del Cadmio puede variar ampliamente entre los distintos organismos, ya que los de agua salada son más resistentes al envenenamiento que los de agua dulce. (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2007)

Metales como “el Cadmio entra en el organismo por vía oral a través del consumo de alimentos procedentes de zonas contaminadas y, en menor medida, por inhalación”. (Herrera, 2011, p. 42)

2.2.5. Plomo

El plomo es un elemento químico de:

Número atómico 82 con una masa atómica de 207.19 g/mol. Su símbolo es Pb.

El plomo es un metal pesado de color grisáceo que presenta un aspecto de color brillante al corte, y que se oxida rápidamente. Es muy dúctil y maleable, y sus aleaciones con el antimonio y estaño se remontan a la antigüedad”. (Prieto, 2011, p. 29; Rubio, 2009, p. 22)

El plomo se presenta en suelos de las formas siguientes:

Iones de Pb^{2+} y Pb^{4+} , especialmente el primero, su biodisponibilidad está fuertemente condicionada por el pH del suelo. Su movilidad se va volviendo cada vez más alta conforme va disminuyendo el valor del pH, siendo especialmente móvil para pHs extremadamente ácidos. Con la materia orgánica forma complejos más estables a pH altos. El plomo es la toxina más significativa de los metales pesados y sus efectos son de naturaleza toxicológica y neurotoxicológica, incluyendo daño irreversible al cerebro; ocurre naturalmente y puede encontrarse en formas orgánicas e inorgánicas. Las formas inorgánicas de Pb típicamente afectan el sistema nervioso central (CNS), el sistema nervioso periférico (PNS), renal, gastrointestinal, cardiovascular y sistema reproductivo. (Chira, 2010, p. 184)

2.2.5.1. Contaminación del agua con el plomo

En sales solubles en agua metales pesados como el plomo, son muy tóxicos y acumulables por los organismos, los cuales son fuente de contaminación de las redes tróficas al ser ingeridos por el hombre que provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte. (“Contaminación del agua por metales”, s. f.)

2.2.5.2. El plomo y el cadmio

Son metales que existen naturalmente en la corteza terrestre que:

La agricultura y sobre todo las industrias como las explotaciones mineras y las petroleras, los han diseminado a través del medio ambiente formando

compuestos como los óxidos de plomo, el tetraetilo de plomo, el sulfuro de cadmio, entre otros. Para el caso del plomo, éste puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo. (Pelaez et al., 2014, p. 9)

Según la OMS (1999) los límites para plomo y cadmio no deben exceder la dosis de 10 y 0.3mg/kg respectivamente en la forma final del material vegetal. Otros límites nacionales propuestos para metales tóxicos en varios tipos de productos de hierbas se ven en la Tabla 3.

Tabla 3

Límites de concentración de plomo y cadmio en hierbas

		Plomo	Cadmio
Para hiervas medicinales			
Canadá	Materia prima drogas vegetales	10ppm	0.3ppm
	Productos terminados a base de drogas Vegetales	0.02 mg/día	0.006 mg/día
China	Materia prima drogas vegetales	10 ppm	1cpm
Malasia	Productos terminados a base de drogas vegetales	10 mg/kg	--
Singapur	Productos terminados a base de drogas vegetales	20 ppm	--
Tailandia	Materia prima drogas vegetales	10 ppm	0.3 ppm
	Productos terminados a base de drogas vegetales		
OMS		10 mg/kg	0.3 mg/kg
Para otros productos herbarios			
Fundación Nacional de Saneamiento (documento de trabajo). (Materias primas de Suplementos dietarios)*		10 ppm	0.3 ppm
Fundación Nacional de Saneamiento (documento de trabajo) (Suplementos dietarios –producto terminado)*		0.02 mg/día	0.006 mg/día

*Dietary supplements - NSF International Draft Standard (Draft Standard NSF 173-2001), National Sanitation Foundation International, Ann Arbor, Michigan, USA, 2001.

Fuente: Muñoz N., (2007)

2.2.6. Plantas

“La acumulación de iones de Pb en plantas puede causar múltiples efectos, directos e indirectos. Puede causar efectos en el metabolismo que repercuten en el crecimiento, fotosíntesis y absorción de nutrientes”. (Díaz et al., 2001, p. 81)

“Existen plantas metalófitas, que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por actividades mineras”. (Becerril et al., 2007, p. 51)

“El uso de plantas hiperacumuladoras requiere extremo cuidado para evitar que se convierta en un medio a través del cual pueda incorporarse el Cadmio a la cadena trófica e incrementarse su concentración en el horizonte superficial”. (Perronnet et al., 2000, p. 1)

“La acumulación de metales pesados en las plantas inhibe o activa algunos procesos enzimáticos que afectan la productividad, dando como resultado una posible vía de entrada de estos metales en la cadena alimenticia”. (Mayank et al., 2011, p. 337)

Algunas plantas tienen la capacidad de “absorber metales pesados e incorporarlos en algunos órganos sin perjudicar la fisiología de las plantas silvestres y desarrollan una gran cantidad de biomasa independiente de la relación con el clima y las condiciones del suelo”. (Tlustos et al., 2006, p. 97)

2.2.6.1. Especies de la tolerancia a los metales

Se ha demostrado en numerosos estudios que “existe una gran diferencia en la absorción de metales de las diferentes especies de plantas, y también entre genotipos de especies”. (Brooks, 1998, p. 56)

Kabelitz y Sievers, (2004) encontraron que en Alemania:

Los límites para plomo, cadmio y mercurio son aplicados para la evaluación de las hierbas medicinales, los cuales fueron publicados en un proyecto por el Ministerio de Salud de Alemania en 1991 recomendando sobre metales pesados en drogas vegetales. Los límites provistos por la directiva 466/2001 de la

Comunidad Europea para cadmio en vegetales son equivalentes a los límites propuestos por la BAH para cadmio en hierbas medicinales. Un factor de secado de 5 debe ser aplicado para convertir los límites de alimento vegetal fresco en límites para hierbas medicinales secas. (p.430)

Tabla 4

Límite de plomo y cadmio en vegetales

Organizaciones	Plomo (mg/kg)	Cadmio mg/kg)
Ministerio de Salud de Alemania (1991) (1)	5.0	0.2
Asociación de Fabricantes Farmacéuticos de Alemania (BAH) (2002) (1)	10	1.0
Comunidad Europea EC/466/2001 vegetales (2)	--	0.3

(1) Límites referidos a producto seco (Droga vegetal medicinal).
 (2) Límites referidos a productos vegetales frescos, secados

Fuente: Muñoz N., (2007)

2.2.6.2. *Mullaca*

Nombre científico: *Muehlenbeckia volcánica*

Familia: Poligonáceas

Nombres comunes: mullaca en lengua aymara, laura, coca-coca, bejuquillo

Descripción botánica: Pequeño arbusto que crece preferentemente en las alturas andinas, es lampiño, muy ramoso y semitrepador, tiene hojas casi orbiculares de color verde intenso, y su denominación "volcánica", obedece al hecho de crecer entre rocas eruptivas. Florece en el mes de noviembre (Ver en la Tabla 1 la taxonomía). En la Figura 1 se observa la imagen del pasto mullaca en proceso de crecimiento.

Figura 1

Planta mullaca



Fuente: (Muehlenbeckia volcánica, s. f.)

Tabla 5*Taxonomía de Muehlenbeckia s.p.*

Reino	Vegetal
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Polygonales</i>
Familia	<i>Polygonaceae</i>
Género	<i>Muehlenbeckia</i>
Especie	<i>Muehlenbeckia volcánica</i>

Fuente: Muehlenbeckia,s.f

Crece en los andes entre 1,500 y 4,500 msnm. Se desarrolla en terrenos secos entre las rocas y piedras volcánicas, derivando de allí su nombre.

La mullaca es una planta, cuyo nombre es de origen aymara, ya que se desarrolló en zonas donde se asentaron grandes culturas como Wari, Tiahuanaco e Inca.

La flor de esta especie posee un tinte de color azul oscuro que se utilizó desde épocas milenarias para teñir las fibras que se emplearon en la confección de textiles. La mullaca también fue utilizada con fines medicinales para curar el afta, combatir el asma y controlar la fiebre.

Situación de la especie: La mullaca es una hierba o arbusto que crece silvestre en la sierra del Perú el potencial de las plantas tintóreas y medicinales es muy grande. (“Animales y Plantas de Perú”, 2008)

2.2.6.3. *Pasto crespillo*

Nombre científico: *Calamagrostis vicunarum*

Nombre común: crespillo

Descripción botánica: Es una especie perteneciente a la familia de las Poáceas. Planta perenne de 5-10 cm de altura, hojas filiformes, flexuosas o arqueadas, inflorescencia en forma de panícula densa espiciforme, espiguilla uniflora, lemma con arista dorsal geniculada en el dorso, raquilla con pelos cortos y escasos (Ver en la Tabla 2 la taxonomía).

En la Figura 2 se observa la imagen del pasto en mención. Se desarrolla desde los 3 900 hasta los 4 600 msnm. En suelos secos o algo húmedos, en vegetación tipo césped de puna.

Es poco deseable para ovinos y alpacas, así como vicuñas. Tiene bajo valor nutritivo, entre 9 % de proteína en etapa de elongación, y más de 60 % de fibra cruda. (“Animales y Plantas de Perú”, 2008)

Figura 2

Pasto crespillo



Fuente: (Calamagrostis vicunarum, s. f.)

Tabla 6

Taxonomía de Calamagrostis vicunarum

Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Angiospermas</i>
Subclase	<i>Monocotiledoneas</i>
Orden	<i>Graminales</i>
Familia	<i>Poáceae o Gramineae</i>
Género	<i>Calamagrostis</i>
Especie	<i>Calamagrostis vicunarum</i>

Fuente: (Calamagrostis vicunarum, s. f.)

2.2.6.4. *Pasto huacchor*

Nombre científico: *Carex ecuadorica*

Nombre común: huacchor

Hierbas muy importantes en zonas alto andinas; dominantes en humedales, vegas y sistemas acuáticos. Tallos normalmente se presentan como rizomas. Tallos reproductivos, cálamos, triangulares a semicirculares. Hojas en rosetas basales, envainadoras, ocasionalmente liguladas, nunca con aurículas, alternas y trísticas. Flores hermafroditas, plantas monoicas, de escaso tamaño, protegidas cada una por una bracteola que las cubre completamente. Inflorescencias complejas con unidades funcionales llamadas espiguillas, cada una con una bráctea que la protege (Ver en la Tabla 3 la taxonomía).

En la Figura 3 se observa la imagen del pasto huacchor (*Carex ecuadorica* (-) | SIB, Parques Nacionales, Argentina, s. f.).

Figura 3

Pasto huacchor



Fuente: (*Carex ecuadorica*, Parques Nacionales, Argentina, s. f.)

Tabla 7

Taxonomía de Carex ecuadorica

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Cyperaceae</i>
Género	<i>Carex</i>
Especie	<i>Carex ecuadorica</i>

Fuente: (*Carex ecuadorica*, Parques Nacionales, Argentina, s. f.)

2.2.6.5. *Pasto estrella*

Nombre científico: *Azorella dispensioides*

Nombre común: estrella, yareta

Cojín convexo y muy duro, hasta 2 m de diámetro y más de 1 m de alto. Tallos y ramas no visibles, altamente compactados (ver Figura 4); produce una resina amarillenta que puede encontrarse en la superficie, especialmente durante la época seca. Hojas muy pequeñas, que se observan en la superficie de forma estrellada, imbricada, duras y triangulares de 1 mm de largo x 1 mm de ancho, organizadas en pequeñas rosetas. Flores inconspicuas, amarillas. Fruto esquizocarpo que parece una pequeña bolita sobre el cojín. Hábitat: 3950 - 4800 m. Laderas rocosas y bosques de queñua. (Ver en la Tabla 4 la taxonomía).

Floración: Sep - Nov

Distribución: Desde Perú hasta Argentina y Chile. (El Parque Nacional Sajama y sus Plantas, 2010)

Figura 4

Pasto estrella



Fuente: (*Azorella diapensioides*, Parques Nacionales, s. f.)

Tabla 8

Taxonomía de Azorella diapensioides

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Apiales</i>
Familia	<i>Apiaceae</i>
Género	<i>Azorella</i>
Especie	<i>A.compacta</i>

Fuente: (*Azorella diapensioides*, Parques Nacionales, s. f.)

2.2.6.6. Absorción por plantas y cultivos, daños a los ecosistemas y al hombre

Como se analizó previamente, la acumulación de metales en las plantas “es un serio tema medioambiental, ya que la absorción de metales por éstas, es el proceso más importante por el cual los metales pueden entrar en la cadena alimentaria”. (Quian et al., 1996, p. 309)

Las plantas cultivadas en suelos contaminados “absorben, concentran y precipitan metales tóxicos en su biomasa y se convierten en la mejor alternativa para áreas con contaminación difusa, donde los polutantes se presentan en relativamente baja concentración y superficialmente”. (Rulknes et al., 1998, p. 27)

“La consecuente acumulación de estos metales en plantas vasculares provoca respuestas bioquímicas y fisiológicas significativas, modificando varios procesos metabólicos”. (MacFarlane et al., 2003, p. 139)

2.2.7. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Los ECA vienen a ser:

Las medidas que establecen el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. (OEFA, 2004, p. 3; Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente Artículo 31°.- Del Estándar de Calidad Ambiental)

2.2.7.1. Uso de los Estándares de calidad Ambiental

Los estándares de calidad ambiental sirven para “proteger el ambiente y la salud de las personas en tanto establecen las medidas de concentración máxima de elementos o sustancias en un componente ambiental”. Entre ellos D.S.004-2017-MINAM Cat. 3 riego de vegetales y D.S. 011-2017-MINAM suelo agrícola (mg/kg). (OEFA, 2004, p. 4)

2.2.8. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Son las medidas de concentración de “elementos, sustancias o parámetros

físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente”. (OEFA, 2004, p. 4)

2.2.9. Diferencia entre los Estándares de calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP)

Los ECA y los LMP, hacen referencia a los niveles máximos de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos por las normas en base a lo que el Estado considera ambiental y socialmente aceptable, y que no representa un riesgo significativo a la salud y el ambiente. (OEFA, 2004, p. 4)

ECA: Regula los niveles máximos permisibles de elementos o parámetros presentes en los componentes ambientales (agua, aire y suelo) en su condición de cuerpo receptor .	LMP: Regulan los niveles máximos a ser emitidos desde un punto específico de emisión o vertimiento , generados por una actividad productiva.
--	--

2.2.10. Distrito polimetálico de Huachocolpa-Huancavelica

El distrito de Huachocolpa de la Provincia y Departamento de Huancavelica, en el centro sur de la Provincia de Huancavelica. Está ubicado en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales Peruanos. Se encuentra a unos 400 km de la ciudad de Lima, en el centro sur de la Provincia de Huancavelica. Las altitudes del distrito oscilan entre los 4,300m y más de 5,000 m de altitud sobre el nivel del mar.

El distrito minero Huachocolpa comprende estructuras hidrotermales de baja temperatura, alojadas en materiales sedimentarios calcáreos triásico-jurásicos y en materiales volcánicos terciarios. Además, en los alrededores del distrito afloran materiales correspondientes al basamento paleozoico, continuando toda la secuencia estratigráfica hasta los recubrimientos cuaternarios. Presenta mineralizaciones de Zin-Ag-Pb-Cu con algunas anomalías de Au, las alteraciones de la roca de caja, el tipo de minerales y los procesos físico-químicos observados en las estructuras son acordes con un modelo epitermal de baja sulfuración en rocas volcánicas.

La composición de las menas reconocidas en el distrito corresponde a esfalerita

(ZnS), galena (PbS), tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), platas rojas (Ag_3SbS_3) y calcopirita (CuFeS_2), en una ganga de cuarzo (SiO_2), calcita (CaCO_3), barita (BaSO_4), adularia (KAlSi_3O_8) y yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). (Pérez, 2013)

2.3. Marco conceptual

La propagación de los metales pesados en la cadena alimenticia, constituye un riesgo serio para:

El medio ambiente y la salud de plantas, animales y humanos (Minkina et al., 2014), puesto que son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación y no son metabolizados por los seres humanos, generan bioacumulación y biomagnificación de su concentración en la red trófica. Dentro de los metales que representan serios problemas medioambientales, se encuentran el mercurio (Hg), molibdeno (Mo), plomo (Pb), cadmio (Cd), talio (Tl), vanadio (V) y algunos metaloides como selenio (Se) y arsénico (As) por esta razón, en los últimos años se ha despertado el interés de su estudio y regulación. (Ferré et al., 2007, p.50; Prieto et al., 2009, p.29; Minkina et al., 2014)

Los metales pesados son peligrosos porque “tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un 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, p. 197)

Los metales pesados elementos como el “plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata, constituyen un grupo de gran importancia ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales” (Spain, 2003, p. 3).

La ingestión de “polvo, agua o alimentos contaminados. Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo” (Zuerera et al., 1987, p. 805; Sanín et. al, 1998, p. 88).

Se considera metal pesado a aquel “elemento con densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20. Su

concentración promedio en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y menor del 0.01%” (García et al., 2017, p. 55).

“Los metales pesados son elementos químicos que poseen peso atómico entre 63,55 (Cu) y 200,59 (Pb) y en concentraciones altas pueden ser tóxicos para el suelo, plantas y animales” (Rodríguez et al., 2006, p. 114).

El contenido de metales pesados en suelos debería “depender únicamente de la composición del material original y procesos edafogenéticos que formarán el suelo, sin embargo, la actividad humana es responsable del incremento del contenido de estos metales en el suelo en cantidades importantes a través de la industrialización” (Romero et al., 2005, p. 25).

La propagación de los metales pesados en la cadena alimenticia “constituye un riesgo serio para el medio ambiente y la salud de plantas, animales y humanos” (Tóth et al., 2016, p. 299).

Resultan ser “altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi. Todos los metales pesados en concentraciones altas tienen fuertes efectos tóxicos y son una amenaza ambiental (Nedelkoska et al., 2000, p. 30).

“Dentro de los metales que representan serios problemas medioambientales, se encuentran el mercurio (Hg), molibdeno (Mo), plomo (Pb), cadmio (Cd), talio (Tl), vanadio (V), por esta razón se ha despertado el interés de su estudio y regulación” (Ferré et al., 2007, p. 50; Prieto et al., 2009, p. 30).

Los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos “pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación” (Millan et al., 2007, p. 2).

La “persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas” (Gulson

et al., 1996, p. 306; Becerril et al 2007, p. 55), siendo este su mayor problema (Bech et al., 2002, p. 5).

Pineda, (2004) manifiesta que las actividades geológicas naturales, como:

Desastres de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados al suelo. También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadoras de metales pesados. En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos. (p.18)

El plomo (Pb), es un contaminante ambiental altamente tóxico, su presencia en el ambiente se debe principalmente a las actividades antropogénicas como:

La industria, la minería y la fundición. En los suelos contaminados con Pb se suele encontrar también Cd y Zn (Hettiarachi y Pierzynski, 2002) por analogía entre sus propiedades y características metálicas algo similar a lo que ocurre para la triada de Fe-Ni-Co. En estos casos la barrera suelo-planta limita la traslocación de Pb a la cadena alimenticia, ya sea por procesos de inmovilización química en el suelo según se ha reportado o limitando el crecimiento de la planta antes de que el Pb absorbido alcance valores que puedan ser dañinos al ser humano. (Laperche et al., 1997, p. 2747)

La sensibilidad de las especies “vegetales a los metales pesados varía considerablemente a través de reinos y familias, siendo las plantas vasculares ligeramente más tolerantes” (Rosa et al., 1999, p. 56).

Al cadmio se le reconoce como “uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas” (Singh & Tewari, 2003, p. 107).

Todas las plantas absorben “metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la

presencia de metales en su entorno” (Baker, 1981, p. 643; Barceló & Poschenrieder, 2003, p. 333).

Según lo reportado por varios autores, el “plomo puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación de plomo, a medida que se aumenta las dosis en el suelo hasta niveles menores a 1000 mg de Pb por Kg-1 de suelo, tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que éstas no lo toleran y mueren” (Kabata, 2000, p. 413; Rodríguez et al., 2006, p. 239).

Metales como el cadmio y el zinc, es absorbido por “rábanos y zanahorias, en las hojas de los rábanos se acumulan mayores contenidos del metal, provocando en las hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces, para zanahorias se reporta en igual grado de acumulación” (Intawongse & Dean, 2006, p. 36).

Se considera que el riñón es el órgano más dañado en las poblaciones expuestas a los efectos del cadmio (Cd):

Las enfermedades crónicas obstructivas de las vías respiratorias están asociadas a la exposición prolongada e intensa por inhalación. Hay pruebas de que esa exposición al Cd puede contribuir al desarrollo de cáncer del pulmón, aunque las observaciones en trabajadores expuestos han sido difíciles de interpretar a causa de la presencia de factores que inducen a confusión. (WHO, 1992, p. 224)

Los efectos del plomo en la función reproductora masculina se “limitan a la morfología y el número de los espermatozoides, las femeninas, se han atribuido al plomo algunos efectos adversos en el embarazo” (WHO, 1995, p. 165).

2.4. Marco filosófico

2.4.1. Valor Estético del agua

Aragón, (2001) define como un componente del paisaje, un elemento emocional.

El agua es el alma de los paisajes y el paisaje es una de las riquezas naturales que tenemos. Estamos ante el valor estético del agua.

El agua además de ser un recurso es un valor, forma parte del patrimonio natural. El tema del agua no lo percibimos sólo en parámetros tecnológicos y económicos. El agua forma parte de lo emocional, y por tanto, la respuesta a planteamientos relacionados con el agua no tiene por qué ser sólo racional.

Es lícito querer disfrutar de los ríos que fluyen por nuestro territorio, aspirar a que estos ríos se mantengan, decir *estos ríos son bonitos, queremos proteger los ríos escénicos, los ríos salvajes, queremos que el agua siga formando parte del paisaje.* Propiedad de todos los seres vivos del planeta.

No sólo bebemos nosotros, los hombres y las mujeres tenemos prestada el agua, sin intereses por supuesto. El agua es también para los otros billones de españoles que son plantas y animales.

El agua sigue un ciclo en la naturaleza en el que, sin embargo, intervenimos constantemente.

No se puede ir siempre contra natura. España es un país mediterráneo, mayoritariamente seco, con y sin sequía, nos guste o no. Los Monegros, como la Antártida o el Sáhara, no son un desastre ambiental. La naturaleza no se ha equivocado con ellos. Son así porque su suelo, su clima, su historia, así los han constituido. Y gracias a ello guardan sus propios tesoros naturales.

Nuestro país está sujeto a unas condiciones climáticas poco proclives al derroche. Las especies y los hábitats mediterráneos están adaptados a esas premisas, forma parte de su singularidad. Pero no nos hemos conformado con ello, hemos construido embalses y trasvases, hemos llevado el agua para regar desde esas, etapas, y semidesiertos. Hemos agujereado la tierra hasta secarla. Incluso hemos colocado millones de turistas en donde más sol (y menos agua) podían encontrar, y para convencerles de que *España es diferente* hemos sembrado de campos de golf las comarcas más secas del continente.

Anular el ciclo del agua en los continentes, es fruto de esa conciencia desgraciadamente muy extendida, de que cualquier gota que llega al mar, es desaprovechada, se pierde.

La intervención en la acción antrópica en ese ciclo, tiene mucho, aunque no todo, de pensar equivocadamente que la naturaleza está mal hecha.

La racionalidad de su uso pasa por asumir las reglas del desarrollo sostenible: conocer los límites y adaptarse a ellos. Estamos ante el valor ético del agua.

Los países no pueden permitirse determinados lujos, deben acomodarse a sus condiciones naturales.

En nuestra cuenca del Ebro, existen tres ecosistemas que hay que preservar. Una es el Pirineo que constituye una reserva de biodiversidad, es el gran regulador del ciclo hidrológico.

La otra, es el curso medio del Ebro en el que se encuentra el último río meandriforme de curso variable en la Unión Europea, con sus galachos y sotos.

Por último, el Delta del Ebro, uno de los ecosistemas más ricos de toda Europa, que necesita un caudal ecológico para su mantenimiento (Filosofía del agua. Agua Aragón, s.f.).

2.4.2. Valor de Eficiencia

Un recurso natural escaso que debemos saber aprovechar.

Nos ha tocado vivir en una parte del mundo, en la que, si abrimos el grifo, encontramos agua abundante y en cualquier momento del día. No tenemos sensación directa de escasez. Y eso dificulta mucho el proceso educativo, ya que nada educa tanto como la escasez.

Como sabéis el agua constituye el 80 % de nuestro organismo. Nuestro primer alimento es el oxígeno, necesitamos unos 15 litros diarios. Nuestro segundo alimento es el agua, necesitamos entre 2 y 3 litros diarios de agua de buena calidad. Pero hemos cambiado mucho, en pocos años las necesidades de agua han crecido espectacularmente, mientras que las disponibilidades no.

Estamos ante el valor de la eficiencia. La eficiencia como valor del agua,

significa hacer más con lo mismo o hacer lo mismo con menos. Implica distinguir entre demanda y apetencia.

El valor de la eficiencia también obliga a distinguir entre uso y consumo. El consumo es lo que necesitamos, el uso es lo que podemos modificar y disminuir o aumentar. Podemos gestionar bien, buscar las dobles o triples utilidades, el máximo ahorro en el consumo directo y limpiar la totalidad del agua que usemos (Filosofía del agua. Agua Aragón, s.f.).

2.4.3. Valor de Calidad

El cambio de hábitos en nuestra sociedad no sólo se manifiesta en un aumento de consumo, sino también en lo relativo a la calidad del agua. En muchos lugares de Europa el agua es más bien una mezcla líquida de productos químicos. Hace tiempo que los análisis de laboratorio demuestran que el agua destinada al consumo humano contiene residuos de pesticidas, de nitratos procedentes de fertilizantes, de aluminio y plomo procedente de tuberías, etc.

Estamos ante el valor de la calidad del agua. Alterar la calidad del agua es un serio atentado al bienestar de las personas, contra su salud y contra su propia vida. Es también un atentado contra la dignidad de la Naturaleza y de todo lo que en ella existe, porque afecta a la pervivencia de multitud de especies que pueblan la Tierra. El agua no es sólo nuestra, como ya hemos comentado hay multitud de seres vivos, a los que también les pertenece el agua.

El agua es el alimento que en mayor cantidad necesitamos. Bajo una u otra forma son varios los cientos de litros que al año pasan por nuestro organismo, en donde el menor constituyente químico anómalo es detectado, no siempre a corto plazo.

Está claro pues que necesitamos agua limpia para vivir. Sin embargo, a veces, con nuestra exagerada obsesión por la limpieza, contaminamos la atmósfera de nuestras propias casas con ambientadores e insecticidas, y el agua de nuestros ríos con detergentes inadecuados. Blancura no es sinónimo de limpieza. Blancura radiante es, en ocasiones, sinónimo de suciedad y muerte de los ríos. Es el coste ambiental de la limpieza equivocada. Porque algunos productos de limpieza utilizan grandes cantidades de productos químicos tóxicos que contaminan el aire y el agua (Filosofía

del agua. Agua Aragón., s.f.).

2.4.4. Filosofía del Agua

El agua va asociada al sentido de belleza de nuestra tierra y pueblo por lo tanto su calidad es la parte esencial que conforma nuestros ríos, mares y depósitos acuáticos. Uno de los factores que provoca el uso excesivo es que no tenemos sensación directa de escasez y eso dificulta mucho el proceso educativo pues los mexicanos somos de los más despilfarradores del planeta. Es indispensable tomar en cuenta que el agua es un recurso natural limitado y como tal hay que pensar en él.

Alterar la calidad del agua es un serio atentado al bienestar de las personas contra su salud y su propia vida por ello es importante, valorar la calidad de este recurso y saber que el agua no es solo nuestra pues existe una multitud de seres vivos a quienes también les pertenece.

La contaminación del agua es un hecho real que día con día se incrementa debido a la poca cultura que poseemos como seres humanos por mencionar algunos factores los desechos industriales, el daño a los mantos acuíferos y la basura que elevan el grado de contaminación disminuyéndola.

La madre naturaleza nos ha otorgado esta riqueza y patrimonio, por lo tanto, los invito a crear una cultura propia para el uso racional de este recurso (Filosofía Del Agua. Agua Aragón, s.f.).

El agua es el principio de todas las cosas. El elemento primero. Todo es agua. Esa era la base de las teorías de Tales de Mileto, considerado como el primer filósofo de la Historia, puesto que introdujo la investigación racional sobre el origen del universo y la naturaleza que hasta entonces los griegos explicaban en un conjunto de mitos y leyendas (*El agua es el principio de todas las cosas*, s. f.).

2.4.5. Filósofo Tales de Mileto

Para Tales de Mileto el arjé es el agua, pues es la materia que se encuentra en mayor cantidad, rodea la Tierra y corre a través de los continentes. Todo nace del agua, la cual es el elemento básico del que están hechas todas las cosas. El agua impregna la

atmósfera en forma de vapor, que es aire, nubes y éter; del agua se forman los cuerpos sólidos al condensarse, y la vida no es posible sin ella. La Tierra, para Tales, era un disco plano cubierto por la semiesfera celeste flotando en un océano infinito.

Esta tesis sobre la existencia de un elemento del cual estaban formadas todas las cosas cobró gran aceptación entre filósofos posteriores, a pesar de que, como ya se ha indicado, no aceptasen que el agua fuera tal elemento. Lo importante de su tesis es la consideración de que todo ser proviene de un principio originario, sea el agua, sea cualquier otro. Y el hecho de buscarlo de una forma racional, de extraerlo de una serie de observaciones y deducciones, es lo que ha valido a Tales el título de *padre de la filosofía* (Biografía de Tales de Mileto, s.f.).

2.5. Formulación de hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La concentración de cadmio y plomo en agua y suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a. La concentración de cadmio y plomo superan los Estándares de Calidad Ambiental en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.
- b. La concentración de cadmio y plomo no superan los estándares de calidad ambiental en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.
- c. La concentración de cadmio y plomo se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.

2.6. Definición de términos

a. Acidez

La capacidad del agua de neutralizar una base, expresada en equivalente de carbonato de calcio en PPM o del mg/l. El número de los átomos de hidrógeno que están presente determina esto. Es medido generalmente por medio de una valoración con una solución de hidróxido sódico estándar (*Glosario del agua*, s. f.).

b. Acuífero

Una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas (art. 2.11, D. 2000/60/CE y art. 40 bis, Ley de Aguas).

c. Agua

Es un líquido inodoro e insípido, en pequeña cantidad es incoloro, y verdoso o azul en grandes masas; que refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío, siendo el único elemento en la tierra que, tanto al congelarse o al calentarse se dilata; se evapora por el calor y al condensarse forma la lluvia, los manantiales, los ríos y los mares (Fraume, 2006).

d. Agua subterránea

Se consideran aguas subterráneas las que, dentro del ciclo hidrológico, se encuentran en la etapa de circulación o almacenadas debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de las rocas u otras formaciones geológicas, que para su extracción y utilización se requiere la realización de obras específicas (*Glosario. 2016*, s. f.).

e. Análisis

Existen numerosas técnicas analíticas con distintos objetivos, algunas de ellas apuntan a caracterizar la muestra, a determinar los componentes mayoritarios que ayudan a una especificación de rutina, de especiación, a la determinación de parámetros fisicoquímicos predeterminados que cuantifiquen los distintos componentes de la matriz (Zhang, 2007).

f. Calidad del agua

Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua. (Fraume, 2006).

g. Calidad de suelos

Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas (*Glosario. 2016, s. f.*).

h. Drenaje ácido de mina

Es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua (Aduvire, 2006).

i. Educación ambiental

Proceso educativo mediante el cual el educando adquiere la percepción global y pormenorizada de todos los componentes del ambiente, tanto natural como social, de la interdependencia y el funcionamiento de los ecosistemas, de la necesidad de su preservación y de su compatibilidad con el desarrollo.

j. Efluente

Producto de desecho de un proceso gaseoso, líquido o sólido que es descargado al ambiente. Estos desechos pueden haber sido tratados o no. Cualquier sólido, líquido, gas o semisólido que entra en el ambiente como un subproducto de actividades humanas.

k. Estándar de calidad ambiental

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente.

El ECA se considera un marco orientador para la formulación de políticas públicas y otras normas, como por ejemplo los Límites Máximos Permisibles (LMP) (*Preguntas-frecuentes.pdf, s. f.*).

l. Evaluación ambiental

Por una parte, es el proceso que consiste en obtener el conocimiento más acabado posible acerca del estado y tendencias del ambiente y, por otro, consiste en la realización de los estudios generales que permitan establecer el impacto ambiental preliminar de las diversas alternativas de realizar un proyecto de inversión.

m. Límite de detección

Valor mínimo del parámetro deseado que puede detectarse tras la aplicación del método analítico utilizado en su determinación. (Anejo 2, R.D. 995/2000): Se entiende por límite de detección el triple de la desviación típica relativa dentro del lote de una muestra natural que contenga una baja concentración del parámetro, o bien el quíntuplo de la desviación típica relativa dentro del lote de una muestra en blanco (art. 2, D. 79/869/CEE).

n. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental (D.S. N° 010-2010-MINAM).

o. Metales pesados

Es un elemento metálico el cual es tóxico y tiene una alta densidad, gravedad específica o peso atómico, sin embargo, en el campo de la biología es referido a algún metal capaz de causar problemas a la salud o daños al ambiente (Paredes, 2013).

p. Metales tóxicos

Los metales tóxicos poseen una amplia gama de propiedades químicas y efectos biológicos. Algunos de ellos, como el Mg, el Cu y el Zn son elementos esenciales en la dieta y su ausencia puede provocar enfermedades serias. Otros, como el Hg, el Pb y el Cd, no tienen funciones biológicas y su presencia, incluso en cantidades muy pequeñas puede ser causa de envenenamiento. Actúan sobre los ecosistemas como contaminantes y son, generalmente, muy tóxicos para los organismos vivos (Fraume, 2006).

q. Muestreo

Acción que consiste en extraer una porción considerada como representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características definidas (Norma UNE-EN 25667-1:1995).

r. Pasivo ambiental minero

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o inactiva y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Decreto Supremo N° 059-2005-EM).

s. Precisión

Intervalo en el que se encuentra el 95 por 100 de los resultados de las mediciones efectuadas con respecto a una misma muestra y empleando idéntico método. (Anejo 2, R.D. 995/2000): Se entiende por precisión el error aleatorio y se expresa habitualmente como la desviación típica (dentro de cada lote y entre lotes) de la dispersión de resultados en torno a la media. Se considera una precisión aceptable el doble de la desviación típica relativa (art. 2, D. 79/869/CEE y O.M. de 8 de febrero de 1988).

t. Suelo

Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (*Glosario del agua*, 2016 s. f.).

u. Suelo contaminado

Es aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente (MINAM, 2014).

v. Significativamente

La definición de significativamente está relacionada de una manera o modo significativo, valioso, importante, revelador, característico, elocuente, expresivo,

representativo y relevante, lo que ha de conocer con precisión algo. Que tiene alguna importancia de significar algo (Significado y definición de significativamente, etimología de significativamente, s. f.).

w. Unidad de contaminación

Patrón convencional de medida, referido a la carga contaminante producida por el vertido tipo de aguas domésticas, correspondientes a mil habitantes y al período de un año (D. 91/271/CEE).

2.7. Identificación de variables

- Variable 1:
Concentración de cadmio y plomo en agua y suelo
- Variable 2:
Acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales

2.8. Definición operativa de variables e indicadores

Tabla 9

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Ítems	Escala De Medición	
Variable 1 Acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales	Cadmio: Elemento químico de número atómico 48, masa atómica 112,40 g/mol y símbolo Cd, de color blanco plateado, maleable y altamente toxico.	La acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales se determinó analizando las muestras con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica.	Análisis de concentración de cadmio y plomo acumulados en pastos naturales	Muestras significativas de pastos naturales un kilogramo de cada uno	Protocolo de muestreo de pastos naturales	Razón	
	Plomo: Elemento químico cuyo símbolo es Pb, de número atómico 82, se encuentra en la galena, la anglesita y la cerusita. De color gris azulado, funde a bajas temperaturas y da lugar a intoxicaciones peculiares.	Pastos naturales es palatables de los animales que se encuentran en las zonas aledañas de las bocaminas San Antonio y Tangana.	Pastos naturales extraídos de los espacios aledaños de las bocaminas San Antonio y Tangana.	Digestión de las muestras en medio ácido.	Calcinación de las muestras en horno mufla.	Protocolo de calcinación de pastos naturales	de
	Pastos naturales: Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Análisis de las muestras digeradas en el equipo de absorción atómica	Digestión de las muestras en medio ácido.	Protocolo digestión muestras.	de
	Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Es el alimento vegetal que crece en el suelo de los	Concentración de Cd y Pb en mg/kg.	Digestión de las muestras en medio ácido.	Protocolo análisis muestras.	de

	campos y que se destina a la alimentación de los animales				Normas de calidad de pastos naturales	
Variable 2	Agua: Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza. Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H ₂ O).	Agua: Sustancia líquida contaminada por la actividad antropogénica del proceso de extracción de minerales y es conducida al ambiente exterior a través de las bocaminas San Antonio y Tangana.	Agua de la canaleta de las bocaminas San Antonio y Tangana,	Muestra significativa de agua obtenida de la canaleta de las bocaminas San Antonio y Tangana un litro de cada uno	Protocolo de muestreo de agua.	Razón
Concentración de cadmio y plomo en agua y suelo	Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.	Suelo: Superficie de la corteza terrestre que contiene metales pesados, producto de la explotación minera a través de las bocaminas San Antonio y Tangana.	Suelo: Una hectárea de suelo aledaño a las bocaminas San Antonio y Tangana.	Muestras significativas de suelo obtenida de las zonas aledañas a las bocaminas San Antonio y Tangana un kilogramo de cada uno	Protocolo de muestreo de suelo.	
				Digestión de agua y suelo en medio ácido.	Protocolo de digestión e muestras de suelo.	
				Análisis de las muestras en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica.	Protocolo de digestión de agua y suelo.	
				Concentración de Cd y Pb en mg/l para agua y mg/kg para suelo.	Protocolo de análisis de muestras de agua y suelo.	
					Normas de calidad de agua y suelo industrial.	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación del presente estudio es básica, ya que se mejoró el conocimiento previo, respecto al tema en mención, teniendo como apoyo un contexto teórico; a fin de contribuir con el desarrollo de la sociedad y con ello se logre responder mejor a los retos de la humanidad.

Naghi, (2005) define a la investigación básica como una “investigación sistemática, controlada, empírica y crítica de propuestas hipotéticas acerca de presuntas relaciones entre fenómenos naturales” (p. 44).

Según Sánchez H. y Reyes C., (1998) la investigación básica es:

- Pura o fundamental
- Búsqueda de nuevos conocimientos
- Búsqueda de nuevos campos de investigación
- No tiene objetivos prácticos
- Su propósito es recoger información para enriquecer el conocimiento científico
- Nos orienta al descubrimiento de principios y leyes
- Persigue la generalización de resultados
- Su perspectiva es desarrollar modelos teóricos científicos basados en principios y leyes.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo – correlacional. Descriptivo debido a que se describieron situaciones y eventos. Esto es, decir cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986). Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones

o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así y valga la redundancia describir lo que se investiga.

Por otro lado, es correlacional ya que este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba (Hernández et al, 2004).

3.3. Método de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se usó el método no experimental. Según Hernández et al., (2004), podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

El método específico para el presente trabajo de investigación es el analítico, que consiste en descomponer los constituyentes metálicos (Cd y Pb) del agua y suelo, con el único fin de observar cuanto se ha acumulado en los pastos naturales. Sin duda, este método puede explicar y comprender mejor el fenómeno de estudio, además de establecer nuevas teorías.

3.4. Diseño de investigación

El diseño que se usó para la elaboración de la presente investigación fue de tipo longitudinal en su variante longitudinal de tendencia. (Díaz, 2006) nos dice lo siguiente:

Al investigador puede que le interese no solo conocer lo que acontece en un tiempo

“t” en un proceso al cual está sometido un objeto de estudio, sino que le podría interesar, además, saber si han existido cambios o no en el objeto en el devenir de un proceso específico en un lapso determinado (desde “t1” hasta “t2”).

Este propósito ha determinado la estructuración del diseño longitudinal, el cual consiste en recolectar datos a través del tiempo en puntos o períodos especificados, para así hacer las inferencias respecto del cambio, sus determinantes y consecuencias.

Diseños longitudinales de tendencia: Son aquellos que analizan cambios a través del tiempo dentro de una población en general (de las variables o sus correlaciones). (pp. 79 y 90)

$$M = \frac{T1}{O1} \quad \frac{T2}{O2} \quad \frac{T3}{O3}$$

Dónde:

M = Muestra tomada

T1, T2, T3 =

Tiempos

O1, O2, O3 = Observaciones

Diseño descriptivo es el propósito es describir situaciones y eventos. Decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Con el estudio descriptivo se buscó especificar las concentraciones de los metales cadmio y plomo contenidos en el agua y suelo de mina y su acumulación en los pastos naturales aledaños a las bocaminas San Antonio y Tangana del Distrito de Huachocolpa-Huancavelica.

Diseño correlacional es la que analiza la relación que existe entre dos o más variables, se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación.

3.5. Población, muestra y muestreo

De las muestras se identificó lo siguiente:

3.5.1. Población

La población a estudiar son las muestras de agua, suelo y pastos naturales de las bocaminas de la Comunidad de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica.

3.5.2. Muestra

Para fines del desarrollo del presente estudio se consideró como muestra las bocaminas San Antonio y Tangana.

Un litro de agua de la cuneta de las bocaminas San Antonio y Tangana.

Un kilogramo de tierra de la zona aledaña a las bocaminas San Antonio y Tangana.

Un kilogramo de pasto de la zona aledaña a las bocaminas San Antonio y Tangana.

3.5.3. Muestreo

El muestreo que se realizó fue no probabilístico, “el cual llamamos también muestras dirigidas, que suponen un procedimiento de selección informal y un poco arbitrario. Aún así, estas se utilizan en muchas investigaciones y a partir de ellas se hacen inferencias sobre la población” (Hernández Sampieri et al., 2006).

Para la investigación se realizó muestreo de tipo intencional de acuerdo al interés del investigador.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Para la investigación se utilizó la técnica de observación descriptiva de campo que consiste en la recogida de información, el cual se caracteriza por la manipulación indirecta de las muestras en estudio. La observación de laboratorio está dentro de unos parámetros o reglas que permitió realizar los análisis de las muestras obtenidas mediante un procedimiento sistematizado y muy controlado, dependientes de los objetivos establecidos. Así mismo en la investigación planteada se utilizó como instrumento protocolos de muestreo y ficha de registro de datos.

a. Pre monitoreo

Planificación y preparación de materiales para el muestreo, procedimientos de análisis y los parámetros de evaluación de la concentración de cadmio y plomo.

b. Monitoreo

- Reconocimiento del lugar y puntos de muestreo de agua, suelo y pastos naturales a través de GPS (Sistema de posicionamiento global) se identificó el plano topográfico de las bocaminas San Antonio y Tangana.
- Georeferenciación del lugar de muestreo a través del programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiples cartografías, con base en la fotografía satelital (Google Earth), se ubicó las bocaminas de San Antonio y Tangana en la comunidad de Huachocolpa.
- Toma de muestras de agua, suelo y pasto natural a través de protocolo.
- Determinación de la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) a través del modelo analítico instrumental Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Transporte de las muestras de agua en envases de polietileno debidamente rotulado dentro de un cooler, las muestras de suelo y pasto natural en una bolsa de polietileno debidamente rotulada con destino al laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental-UNH.
- Preservación de las muestras de agua con ácido nítrico (HNO_3) con una concentración de 1:1 (50%).
- Secado de muestras de suelo en una estufa durante 24 horas a 105°C en el laboratorio de Química.
- Secado de muestras de pasto natural en una estufa de convección durante 24 horas a 105°C en el laboratorio de química.
- Digestión de las muestras de agua, suelo y pastos naturales en medio ácido con el digestor de bloques.
- Análisis de las muestras de agua, suelo y pasto natural debidamente digeridas en el equipo de espectrometría de absorción atómica.

c. Post monitoreo

- Análisis de resultados obtenidas de las muestras con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica.

- Procesamiento estadístico de los resultados de concentración de cadmio y plomo y revisión del análisis.
- Informe de los ensayos realizados.

3.6.2. Instrumentos

a. Pre monitoreo: Preparación de materiales, herramientas, equipos y reactivos

Materiales de vidrio: Matraz, fiola, pipetas, propipeta, piceta, embudo, lunas de reloj, tubos de polietileno, cooler, envases de polietileno de un litro, bolsas de polietileno.

- **Herramienta:** Pico y lampa
- **Equipo:** Balanza, digestor de bloques, campana extractora, purificador de agua, equipo de absorción atómica, potenciómetro, termómetro, estufa de convección, molino de acero inoxidable.
- **Reactivos:** ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), Estándares de los metales Cadmio y plomo, agua desionizada.
- **Estándar de calidad Ambiental:** D.S. N° 004-2017-MINAM Cat. 3 riego de vegetales y D.S. N° 011-2017-MINAM Suelo agrícola (mg/kg).
- **Equipos de protección personal:** Mandil, guantes, lentes, cofia y mascarilla.

b. Monitoreo

- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Fotografía satelital (Google Earth)
- Frasco de polietileno de capacidad un litro y bolsas de polietileno de capacidad un kilogramo.
- Protocolo de toma de muestras de agua, suelo y pasto natural.
- Protocolo de digestión de muestras de agua, suelo y pasto natural.
- Protocolo de incineración de pasto natural.
- Protocolo de análisis de las muestras de agua, suelo y pasto natural a través del espectrofotómetro de absorción atómica.
- Preservación de las muestras de agua con ácido nítrico (HNO_3) con una concentración de 1:1 (50%).
- Secado de muestras de suelo en una estufa durante 24 horas a 105°C en el laboratorio de Química.

- Secado de muestras de pasto natural en una estufa de convección durante 24 horas a 105 °C en el laboratorio de química.
- Digestión de las muestras de agua, suelo y pastos naturales en medio ácido con el digestor de bloques.
- Análisis de las muestras de agua, suelo y pasto natural debidamente digeridas en el equipo de espectrometría de absorción atómica.

c. Post monitoreo

- Herramienta SPSSv24.
- Tipo de estadística t de Student
- Informe de los ensayos realizados.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos fueron procesados y analizados para un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia α del 5%, mediante las medidas de tendencia central, dispersión (T de Student) y r de Pearson, obteniendo como uno de los resultados el promedio general de las concentraciones de los metales cadmio y plomo contenido en agua, suelo y plantas naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa, de las siguientes hipótesis:

Ho: La concentración de cadmio y plomo en agua y suelo no es significativa la acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica– 2018.

H1: La presencia de cadmio y plomo en agua y suelo es significativa la acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica –2018.

A continuación, se menciona las técnicas de procesamiento y análisis de datos:

- a.** Reporte de los análisis realizados con el espectrofotómetro de Absorción Atómica.
 - Reporte de concentraciones de cadmio y plomo de agua de las bocaminas de San Antonio y Tangana.
 - Reporte de concentraciones de cadmio y plomo de suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana.

- Reporte de concentraciones de cadmio y plomo de plantas naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana.
- b.** Se utilizó el programa Excel como base de datos. Asimismo, permitió calcular el promedio de las concentraciones de cadmio y plomo en agua, suelo y plantas naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana.
- c.** Software: SPSS-24 para las pruebas de normalidad y la validación de las hipótesis, usando el estadístico de la prueba T de Student para muestras relacionadas.
- d.** Procesadores de texto para redactar la presente investigación.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos

4.1.1. Ubicación de la bocamina San Antonio de la Comunidad Huachocolpa

La bocamina San Antonio se encuentra dentro de la Comunidad Huachocolpa (véase en las Figuras 5 y 6) a una altura de 4,349 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM son: por el Norte: 8561245 y por el Este: 0504372, evaluado con el GPS Marca GARMIN GPS map 62s. Dicha bocamina está en inicios de explotación por personas en proceso de formalización minera. El clima de la zona en general es frío, con lluvias de diciembre a marzo y seco durante los siguientes meses del año. En los meses de lluvia tiene un rango corto de fluctuación y durante los meses secos se amplía dicho rango al presentarse las heladas. La temperatura media anual es de 5,7 °C, la mínima -10 °C y la máxima 17,9 °C (SENAMHI, 2013).

Figura 5

Mapa de ubicación de la bocamina San Antonio en la comunidad de Huachocolpa



Fuente: Google Earth

Figura 6

Bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se observan espacios aledaños a esta bocamina, y en ellos están los pastizales donde los animales son pastoreados.

Figura 7

Animales en los pastizales aledaños a la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Toma de muestra de agua de la bocamina San Antonio de la comunidad Huachocolpa

El punto de muestreo de agua subterránea fue a 35 m dentro de la bocamina

San Antonio, la recolección de la muestra de agua fue en un envase de polietileno de capacidad de 1 litro, debidamente limpio y rotulado (Figura 8), en el cual se evaluó el pH y temperatura. Se realizó el proceso de estabilización con 50% de Ácido nítrico (HNO_3 1:1), para luego llevar dentro del hidrocóoler hasta el laboratorio de Química –FIMCA-UNH para la digestión y análisis en el equipo de Absorción Atómica, según el protocolo de muestreo de agua del Laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Figura 8

Muestra de agua de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Toma de muestra de suelo aledaño a las bocaminas San Antonio de la Comunidad de Huachocolpa

Se recolectó 1 kg en total de muestra de suelo (Figura 9), del mismo sitio de donde fueron recolectados los pastos naturales, a una profundidad entre 0 y 20 cm. El número de puntos de muestreo (NPM) se calculó según la siguiente ecuación:

$$\text{NPM} = 18 + 2.34 * A$$

Donde:

NPM = Número de puntos de

muestreo A = Superficie en hectáreas

$$\text{NPM} = 18 + 2.34 * A = 20.34 \approx 20 \text{ puntos de muestreo}$$

En conformidad de la guía para muestreo de suelos y en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (Guía para el muestreo de suelo, n.d.).

Las muestras de suelo fueron secadas en recipientes confeccionados de papel en condiciones ambientales, en el interior del laboratorio de química, durante aproximadamente 3 semanas; posteriormente fueron tamizadas en tamices de acero inoxidable de malla 70, ya que es la granulometría adecuada para un proceso de digestión.

Figura 9

Obtención de muestras de suelo de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Toma de muestras de pasto natural aledaños a la bocamina San Antonio de la comunidad Huachocolpa

Véase en la Figura 10 la recolección de muestras de pasto natural (estrella y crespillo), éstas fueron extraídas con la ayuda de una espátula cada 50 m de distancia en un área de 10,000 m² (una hectárea). Cabe mencionar que las muestras de pasto natural fueron extraídas del mismo lugar de donde se recolectó las muestras de suelo.

Recolectando dichas muestras se hizo un total de 1 kg de pasto natural, el cual fue llevado al laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental-UNH, para el secado, calcinado, digerido y analizado en el equipo de absorción atómica.

Figura 10

Muestra de pasto estrella y crespillo



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Ubicación de la bocamina Tangana de la Comunidad Huachocolpa

La bocamina Tangana se encuentra dentro de la Comunidad Huachocolpa (véase en las Figuras 11 y 12) a una altura de 4,799 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM son: por el Norte: 8562354 y por el Este: 0502535, evaluado con el GPS Marca GARMIN GPS map 62s. La bocamina en mención está a inicios de explotación por personas en proceso de formalización minera. El clima de la zona en general es frío, con lluvias de diciembre a marzo y seco durante los siguientes meses del año. En los meses de lluvia tiene un rango corto de fluctuación y durante los meses secos se amplía dicho rango al presentarse las heladas. La temperatura media anual es de 5,7 °C, la mínima -10 °C y la máxima 17,9 °C (SENAMHI, 2013).

Figura 11

Mapa de ubicación de la bocamina Tangana en la comunidad de Huachocolpa



Fuente: Google Earth

Figura 12

Bocamina Tangana de la comunidad Huachocolpa



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 13, en espacios aledaños a esta bocamina se encuentran los pastizales donde los animales tales como: oveja, alpaca, llama y caballo, son pastoreados.

Figura 13

Animales en los pastizales aledaños a la bocamina Tangana.



Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Toma de muestra de agua de la bocamina Tangana de la Comunidad Huachocolpa

El punto de muestreo de agua subterránea fue a 35 m dentro de la bocamina Tangana, la recolección de la muestra fue en un envase de polietileno de capacidad de 1 litro, debidamente limpio y rotulado (véase en la Figura 14), en el cual se evaluó el pH y temperatura. Se realizó el proceso de estabilización con 50% de Ácido nítrico (HNO_3 1:1), para luego llevar dentro del hidrocóoler hasta el laboratorio de Química –FIMCA-UNH para la digestión y análisis en el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica, según el protocolo de muestreo de agua del Laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Figura 14

Toma de muestra de agua de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Toma de muestra de suelo aledaño a las bocaminas Tangana y San Antonio de la Comunidad de Huachocolpa

Se recolectó 1 kg en total de muestra de suelo (Figura 15), del mismo sitio de donde fueron recolectados los pastos naturales, a una profundidad entre 0 y 20 cm. El número de puntos de muestreo (NPM) se calculó según la siguiente ecuación:

$$\text{NPM} = 18 + 2.34 * A$$

Donde:

NPM = Número de puntos de

muestreo A = Superficie en hectáreas

$$\text{NPM} = 18 + 2.34 * A = 20.34 \approx 20 \text{ puntos de muestreo}$$

En conformidad de la guía para muestreo de suelos y en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (Guía para el muestreo de suelo, n.d.).

Las muestras de suelo fueron secadas en recipientes confeccionados de papel en condiciones ambientales, en el interior del laboratorio de química, durante aproximadamente 3 semanas; posteriormente fueron tamizadas en tamices de acero inoxidable de malla 70, ya que es la granulometría adecuada para un proceso de digestión.

Figura 15

Obtención de muestras de suelo



Fuente: Elaboración propia

4.1.8. Toma de muestras de pasto natural aledaños a la bocamina Tangana de la Comunidad Huachocolpa

En la Figura 16 se muestra la recolección de muestras de pasto natural (mullaca y huacchor), fue extraída teniendo en cuenta la preferencia de consumo por los animales de la zona, con la ayuda de una espátula, en un espacio aledaño a la bocamina en un área de 10,000 m² (una hectárea). Cabe mencionar que las

muestras de pasto natural fueron extraídas del mismo lugar de donde se recolectó las muestras de suelo.

De dicha muestra se recolectó un total de 1 kg de pasto natural, el cual fue llevado, posteriormente, al laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental-UNH, para el secado, calcinado, digerido y analizado en el equipo de absorción atómica.

Figura 16

Muestra de mullaca y huacchor



Fuente: Elaboración propia

4.1.9. Proceso de digestión del agua de la bocamina San Antonio y Tangana de la Comunidad de Huachocolpa

El proceso de digestión de las muestras de agua (Figura 17), se realizó en un equipo digestor de bloques de Marca DigiPREP SM SCP SCIENCE, de acuerdo con los siguientes pasos:

Paso 1: Tomar 50 mL de muestra de agua previamente agitada.

Paso 2: Trasvasar al tubo de 50 mL, esto por triplicado.

Paso 3: Adicionar 2 mL de ácido nítrico (HNO_3 1:1) y 1 mL de ácido clorhídrico (HCl 1:1).

Paso 4: Colocar al digestor de bloques a una temperatura de 85°C durante 3 horas.

Paso 5: Retirar y enfriar hasta temperatura ambiente y enrasar con agua ultra pura hasta 50 mL.

Paso 6: Tapar los envases y agitar quedando listo para el análisis.

Figura 17

Proceso de digestión de agua de las bocaminas San Antonio y Tangana



Fuente: Elaboración propia

4.1.10. Proceso de digestión de suelo de la bocamina Tangana y San Antonio de la Comunidad de Huachocolpa

El proceso de digestión de las muestras de suelo, se realizó en un equipo digestor de bloques de Marca DigiPREP SM SCP SCIENCE, de acuerdo con los siguientes pasos:

Paso 1: Secar la muestra a una temperatura de 105°C durante 5 horas. **Paso 2:** Pesar 1 gramo de muestra, previamente homogenizada.

Paso 3: Trasvasar la muestra en un tubo de digestión de vidrio de 50 mL.

Paso 4: Adicionar 4 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado, por las paredes del tubo.

Paso 5: Colocar los tubos en el digestor de bloques a 120 °C, hasta la eliminación de

vapores nitrosos.

Paso 6: Enfriar los tubos a temperatura ambiente y adicionar 12 mL de ácido clorhídrico (HCl)

Paso 7: Colocar nuevamente los tubos en el digester de bloques a una temperatura de 130 °C, hasta observar un estado pastoso.

Paso 8: Adicionar 5 mL de HCl.

Paso 9: Calentar para disolver las sales por 5 minutos a una temperatura de 105°C. Paso 9: Retirar/ enfriar y aforar con agua ultra pura en fiola.

Paso 10: Dejar sedimentar y filtrar para hacer la lectura en el EAA.

4.1.11. Procedimiento de secado, molienda, incineración y digestión de las muestras de pasto natural de las bocaminas San Antonio y Tangana, para el análisis en el EAA.

El proceso de secado, molienda y ceniza se realizó en el laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica, laboratorio de nutrición animal.

a. Secado de las muestras

Se redujo el tamaño de la muestra (picar) para que el secado sea de forma homogénea, en el equipo estufa de convección forzada ESTUFA OR-300 (ver Figura 18), durante 24 horas a la temperatura de 105°C.

Figura 18

Secado del pasto natural



Fuente: Elaboración propia

Se dejó enfriar a temperatura ambiente en un tiempo de 30 minutos.

b. Proceso de molido de cada muestra

Se tomó la muestra seca (pasto estrella, mullaca, crespillo, huacchor) y se echó al recipiente del molino modelo SM-100 (ver Figura 19), para el molido hasta una granulometría de 1 a 5 mm, durante 3 a 5 minutos.

Figura 19

Proceso de molienda de los pastos naturales



Fuente: Elaboración propia

c. Proceso de obtención de ceniza de los pastos naturales (Estrella, mullaca, crespillo, huacchor)

Se secó los crisoles limpios en el equipo horno estabilizador a una temperatura de 150 °C durante 20 minutos y se dejó enfriar por un espacio de 10 minutos para el pesado inicial de los crisoles. En la Figura 20 se muestran las imágenes del lavado, secado y posterior pesado de los crisoles.

Figura 20

Lavado, secado y pesado inicial de los crisoles



Fuente: Elaboración propia

Se coloca cada crisol en la balanza analítica y posteriormente se tara para pesar las muestras secas por una cantidad de 5 g (ver Figura 21).

Figura 21

Pesado de muestras de pasto natural



Fuente: Elaboración propia

Las muestras secas que contiene los crisoles, previo pesado (crisol + muestra), se colocaron en el horno mufla HIGH TRERM LINN VIVIK 135, a una temperatura de 600°C durante 5 horas (ver Figura 22); luego se dejó enfriar a temperatura ambiente de 20 a 30 min., para proceder a pesar nuevamente (crisol + ceniza) que por diferencia se obtiene el peso de la muestra calcinada.

Figura 22

Calcinación de muestra



Fuente: Elaboración propia

Se lavó las cenizas del crisol con un total de 40 ml de solución de ácido clorhídrico de concentración (1:3) (HCl: H₂O), lavando el crisol 2 veces con la misma solución usando dos porciones de 10 mL de ácido cada vez. Luego se vacó el contenido de los lavados en un vaso precipitado de 150 mL y se tapó con lunas de reloj. Finalmente, se agregó 5 gotas (0.25 mL) de ácido nítrico concentrado (HNO₃ 68.5%), para calentar en HOT PLATEE o plancha de calentar hasta temperatura de ebullición durante 5 min (ver Figura 23).

Figura 23

Digestión en el HOT PLATEE de las cenizas



Fuente: Elaboración propia

Se dejó enfriar el vaso precipitado con muestra digerida hasta que sea

manipulable, luego se transfirió el contenido del vaso a un matraz volumétrico o fioles de 100 mL que contiene un papel filtro Whatman N° 40, utilizando un embudo de vidrio, lavando los residuos del vaso 3 veces con agua destilada y se aforó hasta 100 mL (ver Figura 24).

Figura 24

Lavado y filtrado de muestras digeridas



Fuente: Elaboración propia

Se trasvasó en tubos de 50 mL para hacer la lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de flama THERMO SCIENTIFIC iCE 3000 SERIES (ver Figura 25).

Figura 25

Muestra digerida para análisis



Fuente: Elaboración propia

4.1.12. Procedimiento de lectura de las soluciones digeradas de agua, suelo y pasto natural en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica

a. Fórmula para preparación de los estándares de cadmio, plomo y cobre.

Para preparar la solución del estándar de cobre se utilizó la siguiente ecuación de dilución:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V1 = 5 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}$$

$$V1 = 0.5 \text{ ml}$$

Donde:

C1= Concentración inicial en mg/ L

C2 = Concentración final en g/L

V1 = Volumen inicial en mL

V2= Volumen final en mL

b. Preparación de la solución madre para el cobre, con la siguiente ecuación:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V1 = 5 \text{ ppm}$$

$$\times 100 \text{ mL} \quad V1 = 0,5 \text{ mL}$$

Tabla 10

Unidades de concentración y volumen de estándares de los metales cadmio y plomo

Metales	Concentración/Volumen			
	Estándar 1	Estándar 2	Estándar 3	Estándar 4
Cadmio	C = ppm	C = ppm	C = ppm	C = ppm
(Cd)	V = mL	V = ml	V = mL	V = mL
Plomo	C = ppm	C = ppm	C = ppm	C = ppm
(Pb)	V = mL	V = mL	V = mL	V = mL

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se observan las unidades de medida de las concentraciones

y volúmenes de los metales en estudio.

c. Parámetro de lectura con el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Es importante precisar los parámetros de lectura en el equipo en mención, tales como combustible (tipo de llama), tamaño del quemador y longitud de onda para cada elemento. Véase en la Tabla 11 dichos parámetros para el cobre, cadmio y plomo.

Tabla 11

Parámetros de lectura con el equipo de Absorción Atómica de los metales cobre, cadmio y plomo

Elemento	Combustible	Quemador (mm)	Longitud de onda (nm)
Cu	C ₂ H ₂ -O ₂	50	324.7
Cd	C ₂ H ₂ -O ₂	50	228.8
Pb	C ₂ H ₂ -O ₂	50	217.0

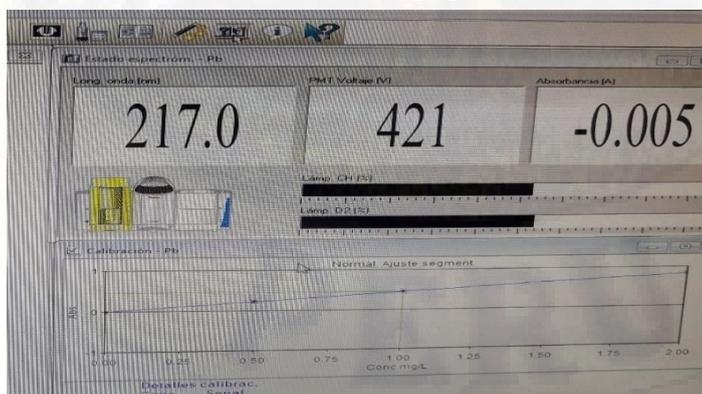
Fuente: Manual del Espectrofotómetro de Absorción Atómica (cook book)

d. Curva de calibración en el equipo de Espectrofotometría Absorción Atómica.

La curva de calibración se realiza para estandarizar el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica y determinar la concentración de los metales cadmio (Cd) y plomo (Pb), haciendo que la variabilidad sea mínima y el intervalo lineal suficiente, como se observa en la Figura 26.

Figura 26

Curva de calibración en el equipo de Absorción



Fuente: Elaboración propia

4.1.13. Método analítico instrumental empleado

Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica de flama.

En la Figura 27 se muestra el análisis de las muestras en el equipo de Absorción Atómica. La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres de cadmio y plomo en su estado fundamental. Para que esto ocurra, la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene cátodo de cadmio y plomo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa de los elementos cadmio y plomo.

Condiciones instrumentales de operación:

- Flujo de gas:
- Acetileno-Aire : 0.9 – 1.2 L/min.
- Quemador : 5 cm
- Longitud de onda : (217.0 nm Pb, 228.8 nm Cd)
- Slit : 0.5 nm
- Concentración característica : 0.033 mg/L
- Medida de señal : Absorbancia
- Señal de ruido : 1.0
- Chequeo de la Sensibilidad : 5 mg/L
- Absorbancia del estándar de 5 mg/L : ≥ 0.800
- Punto menor de la curva patrón : 0.05 mg/L
- Punto mayor de la curva patrón : 1.5 mg/L
- Lineal hacia (recomendado) : 5 mg/L
- Tipo de lámpara : lámpara de cátodo hueco
- Corriente de operación de la lámpara : 4 mA
- Tipo de nebulizador : Bastón de vidrio

Figura 27

Análisis de las muestras en el equipo de Absorción

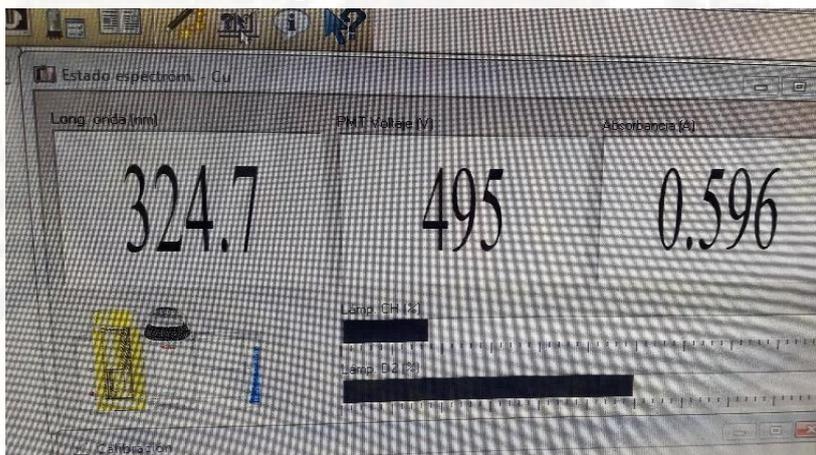


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28, previa a la lectura en el equipo, se muestra la imagen de cómo se realizó la estabilización con el estándar cobre (Cu) de concentración 5 ppm cuya longitud de onda es de 324.7 nm y la absorbancia (A) debe ser mayor a 0.500, en este caso fue 0.596 y el coeficiente de correlación $R^2 \geq 0.995$, valores que garantiza la correcta lectura.

Figura 28

Estandarización del equipo con estándar cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

4.1.14. Lectura en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica de la solución digestada de agua para determinar la concentración de los elementos cadmio y plomo

Se realizó la lectura, en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica, de la solución digestada de agua para determinar la concentración de los elementos cadmio y plomo, obteniendo los siguientes resultados:

En las Tablas 12 y 13 se muestran las concentraciones de cadmio y plomo en agua de la bocamina Tangana. Asimismo, en las Figuras 29 y 30 se observan los gráficos de barras que permiten visualizar dinámicamente las concentraciones antes mencionadas, siendo los picos máximos de 0.0687 y 0.0784 mg/l respectivamente.

Por otro lado, en las Tablas 10 y 11 se muestran las concentraciones de cadmio y plomo en agua de la bocamina San Antonio, y por su lado, en las Figuras 31 y 32 se ven los gráficos de barras de dichos datos, evidenciando las concentraciones entre los rangos 0.0216 – 0.1482 y 0.0292 – 0.3278 mg/l respectivamente.

Tabla 12

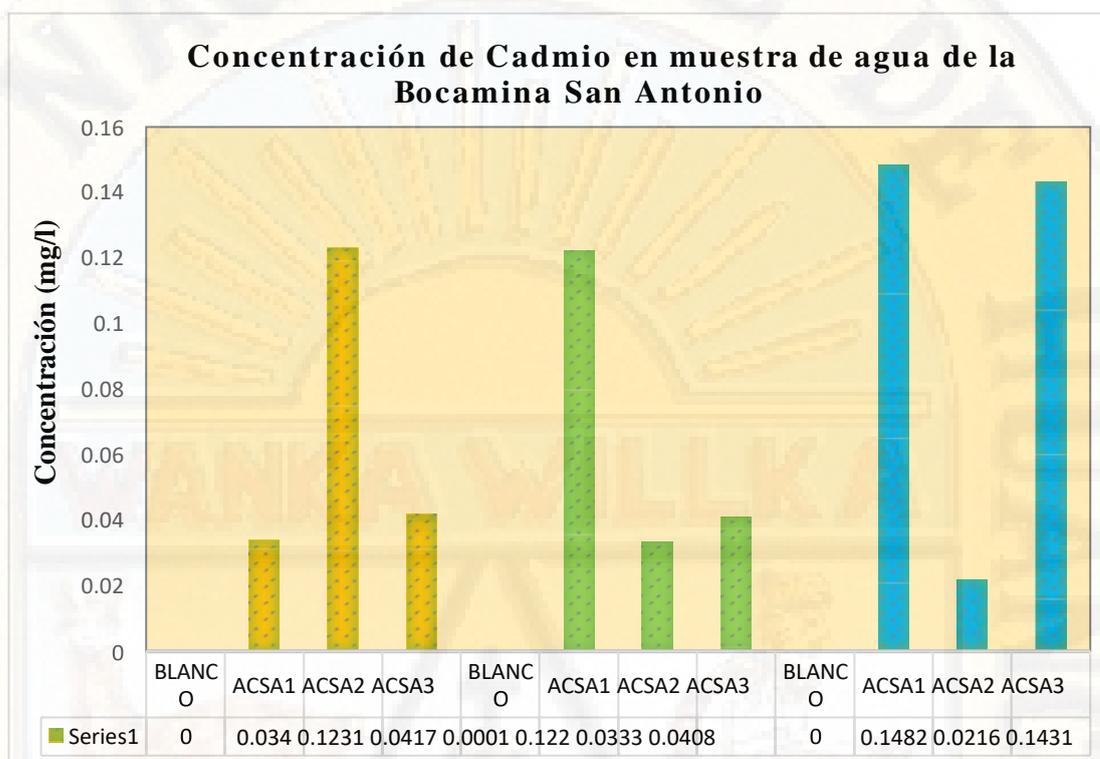
Muestra de agua de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio $\lambda = 228.8$ nm

Muestra	Concentración mg Cd/L	Fecha
BLANCO	0.0000	11/07/2018
ACSA*1	0.0340	11/07/2018
ACSA2	0.1231	11/07/2018
ACSA3	0.0417	11/07/2018
BLANCO	0.0001	28/08/2018
ACSA1	0.1220	28/08/2018
ACSA2	0.0333	28/08/2018
ACSA3	0.0408	28/08/2018
BLANCO	0.0000	20/09/2018
ACSA1	0.1482	20/09/2018
ACSA2	0.0216	20/09/2018
ACSA3	0.1431	20/09/2018

*ACSA = Agua-Cadmio-San Antonio
Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Concentración de cadmio en muestra de agua de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

Muestra de agua de la bocamina San Antonio, concentración de plomo $\lambda = 217.0$ nm

Muestra	Concentración mg Pb/L	Fecha
BLANCO	0.0000	11/07/2018
APSA*1	0.0292	11/07/2018
APSA2	0.3193	11/07/2018
APSA3	0.2158	11/07/2018
BLANCO	0.0000	28/08/2018
APSA2	0.1767	28/08/2018
APSA3	0.2945	28/08/2018
APSA3	0.2875	28/08/2018
BLANCO	0.0000	20/09/2018
APSA1	0.1767	20/09/2018
APSA2	0.2945	20/09/2018
APSA3	0.2875	20/09/2018

*APSA = Agua-Plomo-San Antonio

Fuente: Elaboración propia

Figura 30

Concentración de plomo en muestra de agua de la bocamina San Antonio

Fuente: Elaboración propia

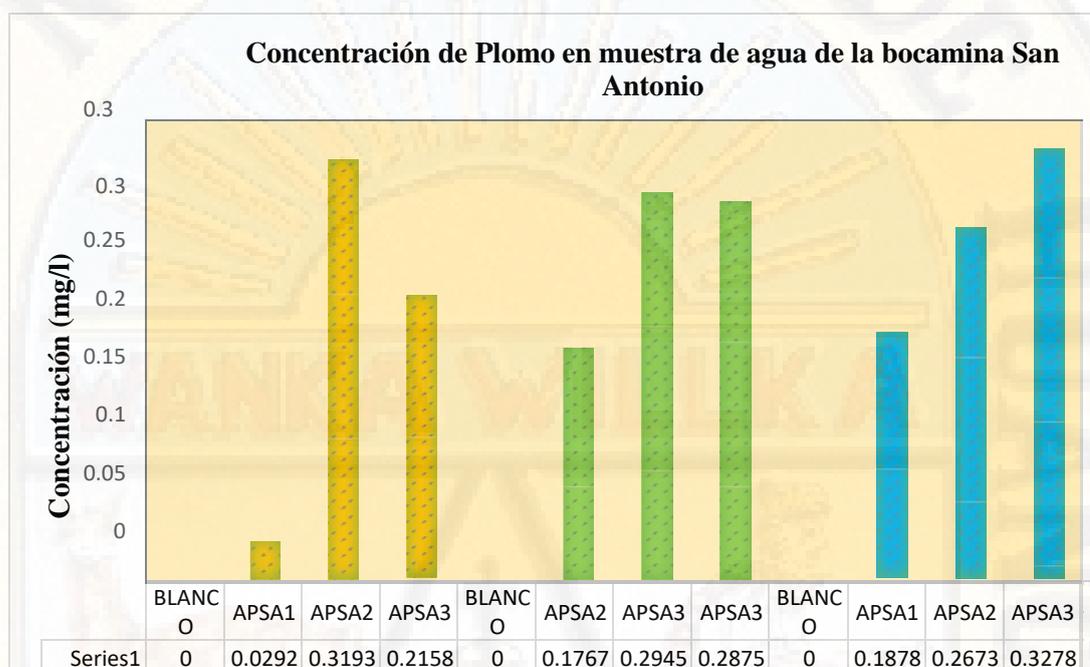


Tabla 14

Muestra de agua de la bocamina Tangana, concentración de cadmio $\lambda = 228.8 \text{ nm}$

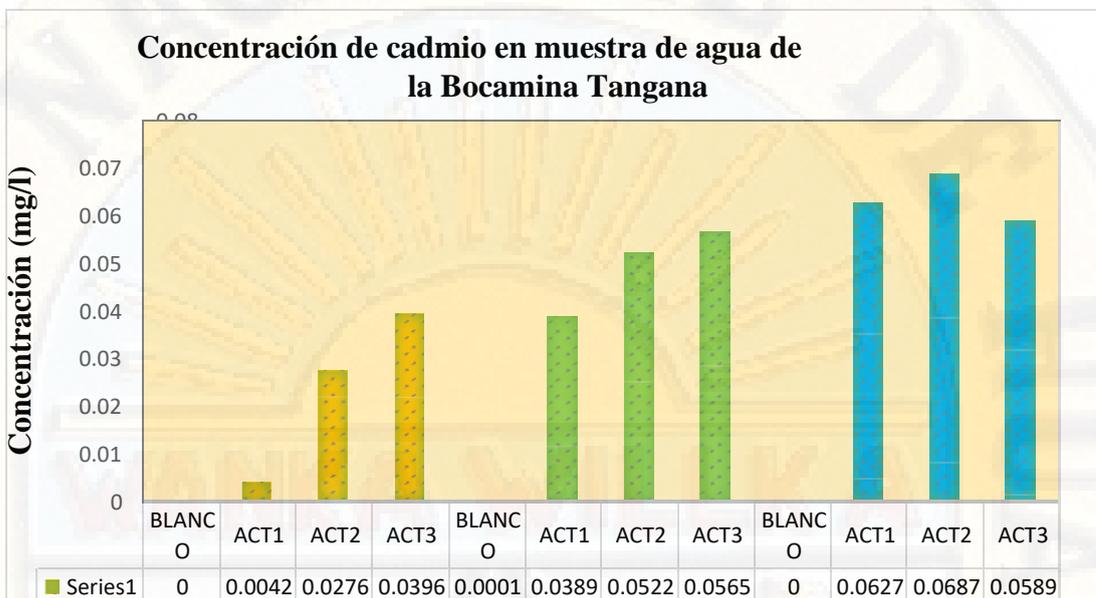
Muestra	Concentración mg Cd/L	Fecha
BLANCO	0.0000	11/07/2018
ACT*1	0.0042	11/07/2018
ACT2	0.0276	11/07/2018
ACT3	0.0396	11/07/2018
BLANCO	0.0001	28/08/2018
ACT1	0.0389	28/08/2018
ACT2	0.0522	28/08/2018
ACT3	0.0565	28/08/2018
BLANCO	0.0000	20/09/2018
ACT1	0.0627	20/09/2018
ACT2	0.0687	20/09/2018
ACT3	0.0589	20/09/2018

*ACT = Agua-Cadmio-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Concentración de cadmio en muestra de agua de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Muestra de agua de la bocamina Tangana, concentración de plomo $\lambda = 217.0$ nm

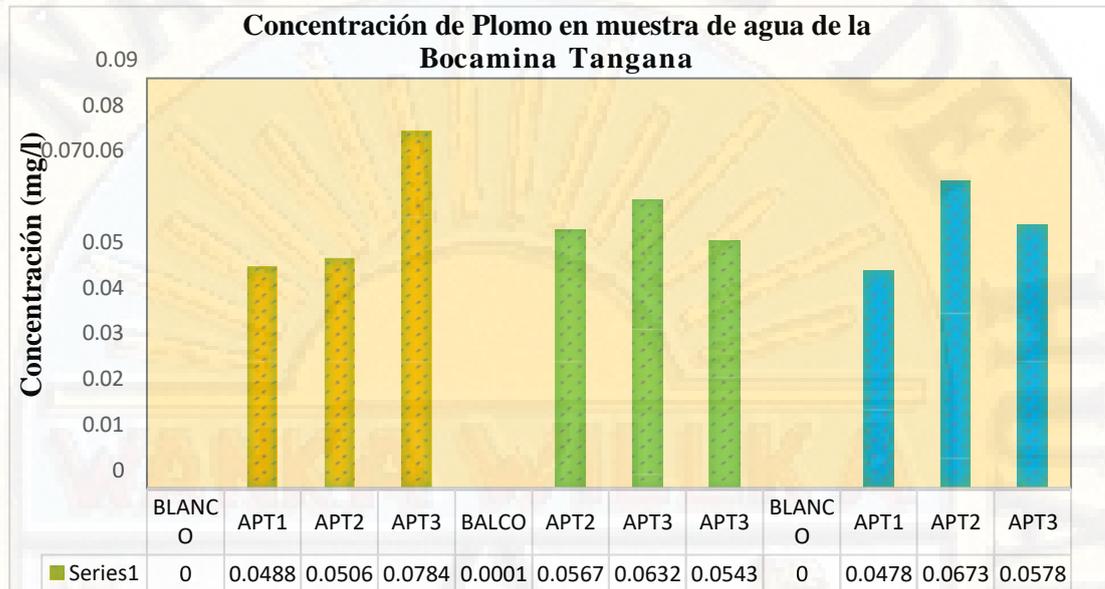
Muestra	Concentración mg Pb/L	Fecha
BLANCO	0.0000	11/07/2018
APT*1	0.0488	11/07/2018
APT2	0.0506	11/07/2018
APT3	0.0784	11/07/2018
BLANCO	0.0001	28/08/2018
APT2	0.0567	28/08/2018
APT3	0.0632	28/08/2018
APT3	0.0543	28/08/2018
BLANCO	0.0000	20/09/2018
APT1	0.0478	20/09/2018
APT2	0.0673	20/09/2018
APT3	0.0578	20/09/2018

*APT = Agua-Plomo-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Concentración de plomo en muestra de agua de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Lectura en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica de la solución digerada de pasto (estrella, mullaca, crespillo y huacchor) para determinar la concentración de los elementos cadmio y plomo.

La lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica de muestras de pasto fueron las siguientes:

Tabla 16

Muestra de pasto de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio $\lambda = 228,8 \text{ nm}$

Muestra	Concentración mg Cd/kg	Fecha
BLANCO	0.0000	30/07/2018
CCSA*1	0.1240	30/07/2018
CCSA2	0.1002	30/07/2018
CCSA3	0.1630	30/07/2018
BLANCO	0.0000	30/07/2018
ECSA**1	0.5001	30/07/2018
ECSA2	0.1003	30/07/2018
ECSA3	0.2123.	30/07/2018
BLANCO	0.0000	02/08/2018
CCSA1	8.1303	02/08/2018
CCSA2	7.0504	02/08/2018
CCSA3	8.0025	02/08/2018
BLANCO	0.0000	02/08/2018
ECSA1	0.6534	02/08/2018
ECSA2	0.2567	02/08/2018
ECSA3	0.3457	02/08/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
CCSA1	8.6534	02/09/2018
CCSA2	7.9456	02/09/2018
CCSA3	7.9765	02/09/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
ECSA1	0.7211	02/09/2018
ECSA2	0.5789	02/09/2018
ECSA3	0.4782	02/09/2018

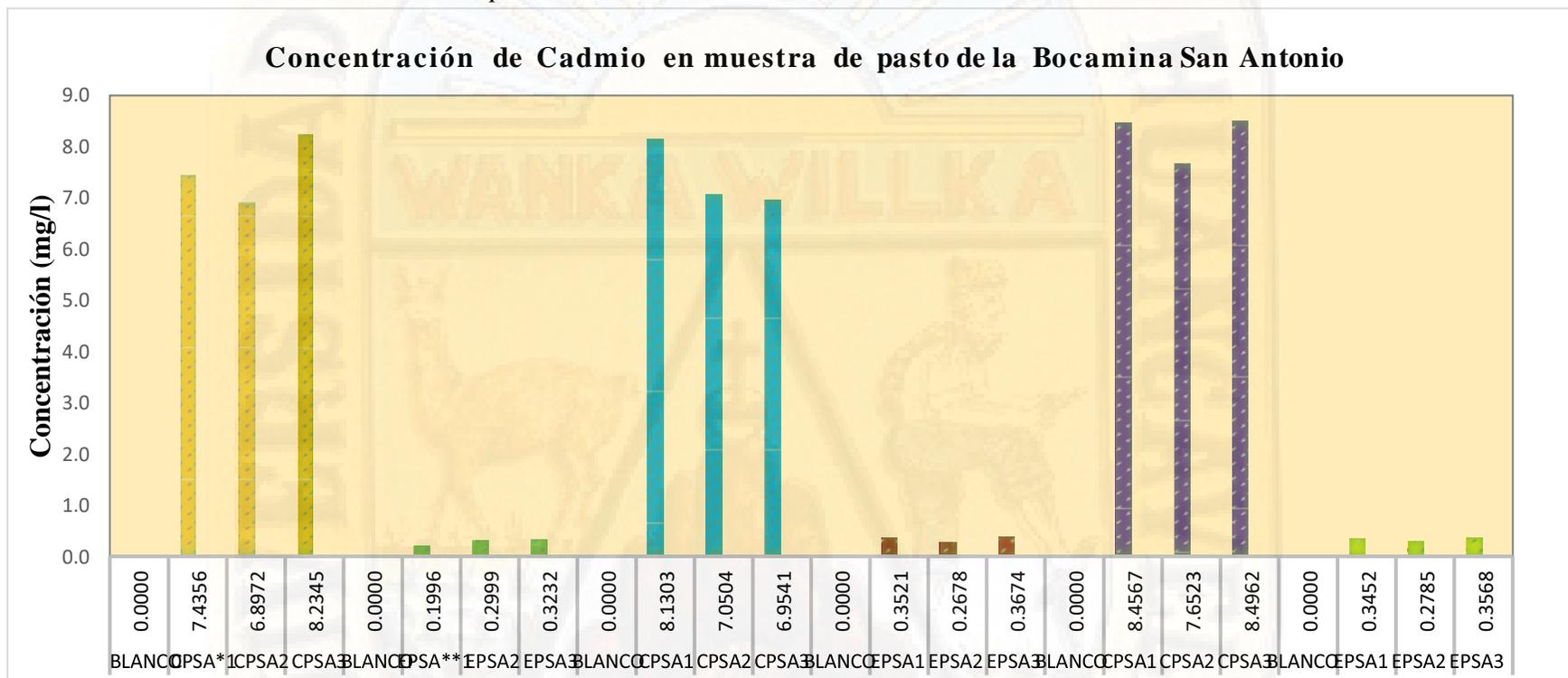
*CCSA: crespillo-Cadmio-San Antonio

**ECSA: Estrella-Cadmio-San Antonio

Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Concentración de cadmio en muestras de plantas de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis de la concentración de cadmio en pastos (Crespillo y Estrella) de la bocamina San Antonio. En la Figura 33 se observa que los picos más bajos de concentración de cadmio son 0.1002 y 0.1003 mg/L correspondientes a pasto estrella, por el contrario, los picos más altos son 8.6534 y 8.1303 mg/l para el pasto crespillo.

Tabla 17

Muestra de pasto de la bocamina San Antonio, concentración de plomo $\lambda = 217.0$ nm

Muestra	Concentración mg Pb/kg	Fecha
BLANCO	0.0000	30/07/2018
CPSA*1	7.4356	30/07/2018
CPSA2	6.8972	30/07/2018
CPSA3	8.2345	30/07/2018
BLANCO	0.0000	30/07/2018
EPSA**1	0.1996	30/07/2018
EPSA2	0.2999	30/07/2018
EPSA3	0.3232	30/07/2018
BLANCO	0.0000	02/08/2018
CPSA1	8.1303	02/08/2018
CPSA2	7.0504	02/08/2018
CPSA3	6.9541	02/08/2018
BLANCO	0.0000	02/08/2018
EPSA1	0.3521	02/08/2018
EPSA2	0.2678	02/08/2018
EPSA3	0.3674	02/08/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
CPSA1	8.4567	02/09/2018
CPSA2	7.6523	02/09/2018
CPSA3	8.4962	02/09/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
EPSA1	0.3452	02/09/2018
EPSA2	0.2785	02/09/2018
EPSA3	0.3568	02/09/2018

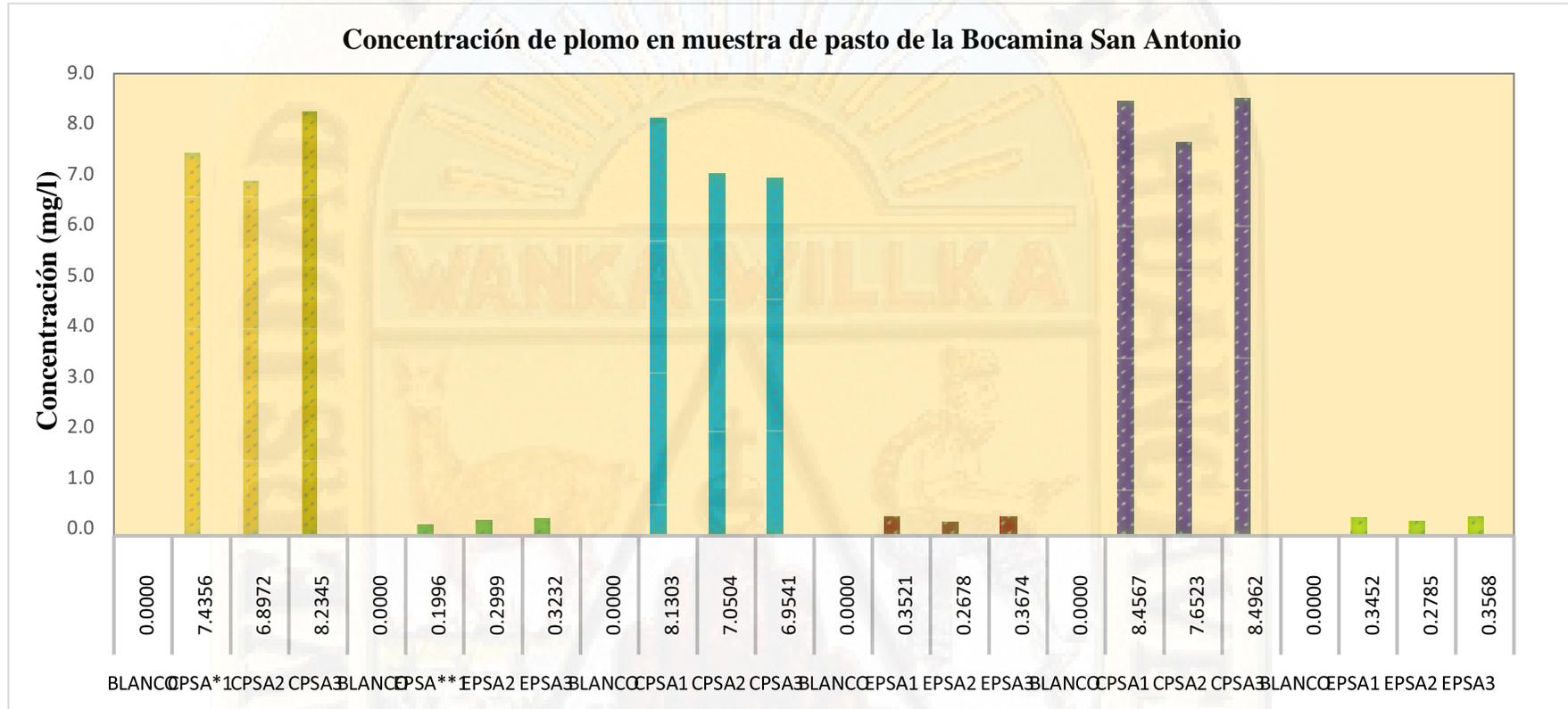
*CPSA: crespillo-Plomo-San Antonio

**EPSA: Estrella-Plomo-San Antonio

Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Concentración de plomo en muestras de plantas de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 se muestran los resultados del análisis de la concentración de plomo en pastos (Crespillo y Estrella) de la bocamina San Antonio. En la Figura 34 se observa que los picos más bajos de concentración de plomo son 0.1996 y 0.2678 mg/L correspondientes a pasto estrella, por el contrario, los picos más altos son 8.4962 y 8.4567 mg/L para el pasto crespillo.

Tabla 18

Muestra de pastos de la bocamina Tangana, concentración de cadmio $\lambda = 228,8$ nm

Muestra	Concentración Mg Cd/kg	Fecha
BLANCO	0.0000	30/07/2018
MCT*1	0.0004	30/07/2018
MCT2	0.1005	30/07/2018
MCT3	0.1001	30/07/2018
BLANCO	0.0000	30/07/2018
HCT**1	0.1452	30/07/2018
HCT2	0.3200	30/07/2018
HCT3	0.2965	30/07/2018
BLANCO	0.0000	2/08/2018
MCT1	0.3114	2/08/2018
MCT2	0.2982	2/08/2018
MCT3	0.3241	2/08/2018
BLANCO	0.0000	2/08/2018
HCT1	0.0871	2/08/2018
HCT2	0.1145	2/08/2018
HCT3	0.1256	2/08/2018
BLANCO	0.0000	2/09/2018
MCT1	0.3456	2/09/2018
MCT2	0.2756	2/09/2018
MCT3	0.2987	2/09/2018
BLANCO	0.0000	2/09/2018
HCT1	0.0789	2/09/2018
HCT2	0.1235	2/09/2018
HCT3	0.1287	2/09/2018

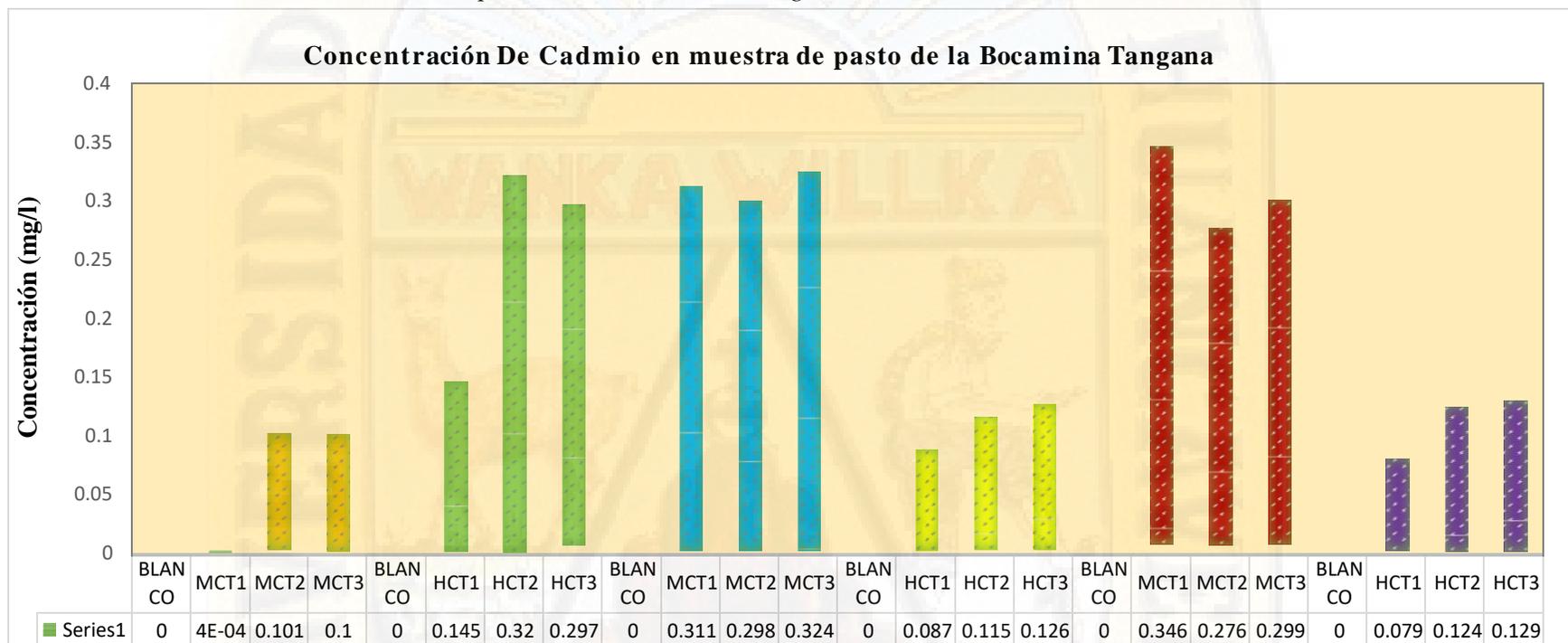
*MCT: mullaca-Cadmio-Tangana

**HCT: huacchor-Cadmio-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Concentración de cadmio en muestra de planta de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis de la concentración de cadmio en pastos (Mullaca y huacchor) de la bocamina Tangana. En la Figura 35 se observan los picos más bajos de concentración de cadmio (0.0789 y 0.0871 mg/l) para las concentraciones en huacchor y los más altos (0.3456 y 0.3241 mg/l) se ven en mullaca.

Tabla 19

Muestra de pastos de la bocamina Tangana, concentración de plomo $\lambda = 217.0 \text{ nm}$

Muestra	Concentración mg Pb/kg	Fecha
BLANCO	0.0001	30/07/2018
MPT*1	0.0492	30/07/2018
MPT2	0.0375	30/07/2018
MPT3	0.2946	30/07/2018
BLANCO	0.0000	30/07/2018
HPT**1	0.0020	30/07/2018
HPT2	0.0016	30/07/2018
HPT3	0.0014	30/07/2018
BLANCO	0.0001	02/08/2018
MPT1	0.2982	02/08/2018
MPT2	0.3114	02/08/2018
MPT3	0.2140	02/08/2018
BLANCO	0.0001	02/08/2018
HPT1	0.0871	02/08/2018
HPT2	0.1145	02/08/2018
HPT3	0.0912	02/08/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
MPT1	0.2768	02/09/2018
MPT2	0.3214	02/09/2018
MPT3	0.2431	02/09/2018
BLANCO	0.0000	02/09/2018
HPT1	0.0767	02/09/2018
HPT2	0.1221	02/09/2018
HPT3	0.0123	02/09/2018

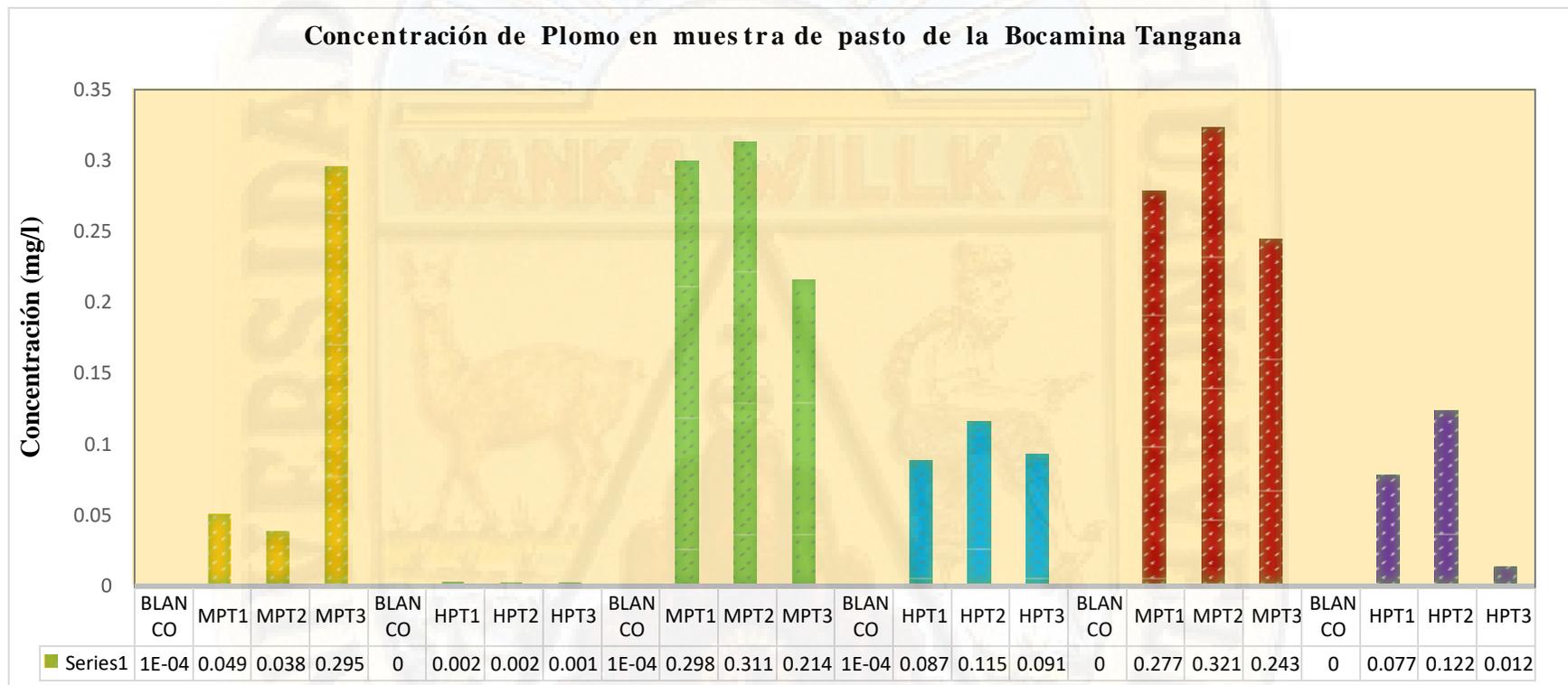
*MPT: mullaca-Plomo-Tangana

**HPT: huacchor-Plomo-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Concentración de plomo en muestra de planta de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se muestran los resultados del análisis de la concentración de plomo en pastos (Mullaca y huacchor) de la bocamina Tangana. En la Figura 36 se observan los picos más bajos de concentración de plomo (0.0014 y 0.0016 mg/l) para las concentraciones en huacchor y los más altos (0.3214 y 0.3114 mg/l) se ven en mullaca.

4.1.16. Lectura en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica de la solución digestada de suelo para determinar la concentración de los elementos cadmio y plomo

A continuación, se muestra las lecturas que se hicieron en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de las muestras de suelos:

Tabla 20

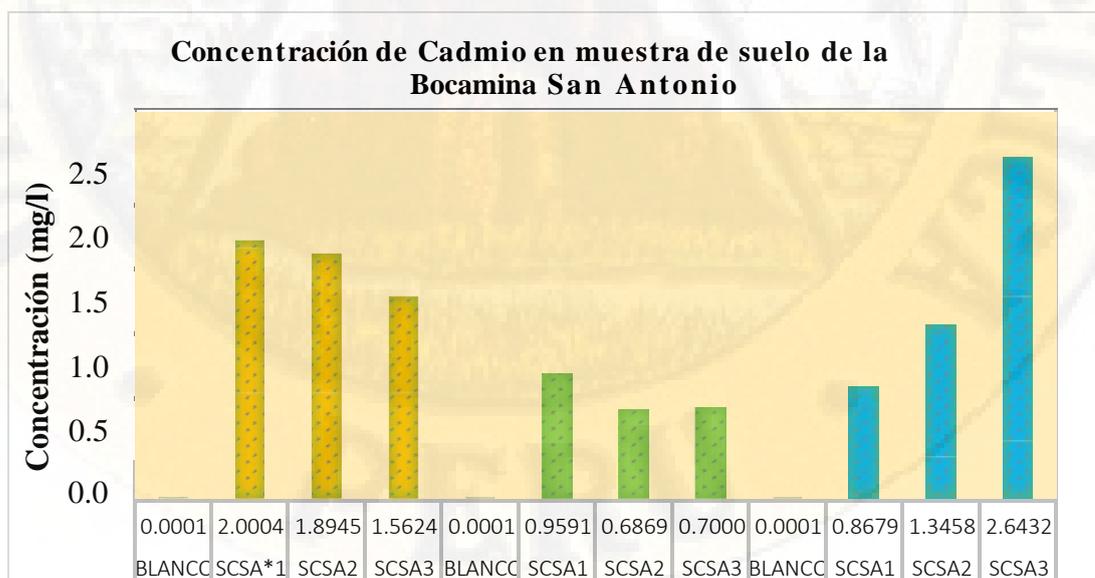
Muestra de suelo de la bocamina San Antonio, concentración de cadmio $\lambda = 228,8 \text{ nm}$

Muestra	Concentración Cd/kg	mg	Fecha
BLANCO	0.0001		11/07/2018
SCSA*1	2.0004		11/07/2018
SCSA2	1.8945		11/07/2018
SCSA3	1.5624		11/07/2018
BLANCO	0.0001		28/08/2018
SCSA1	0.9591		28/08/2018
SCSA2	0.6869		28/08/2018
SCSA3	0.7000		28/08/2018
BLANCO	0.0001		20/09/2018
SCSA1	0.8679		20/09/2018
SCSA2	1.3458		20/09/2018
SCSA3	2.6432		20/09/2018

*SCSA= Suelo-Cadmio- San Antonio *Fuente: Elaboración propia*

Figura 37

Concentración de cadmio en muestra de suelo de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Muestra de suelo de la bocamina San Antonio, concentración de plomo $\lambda = 217.0$ nm

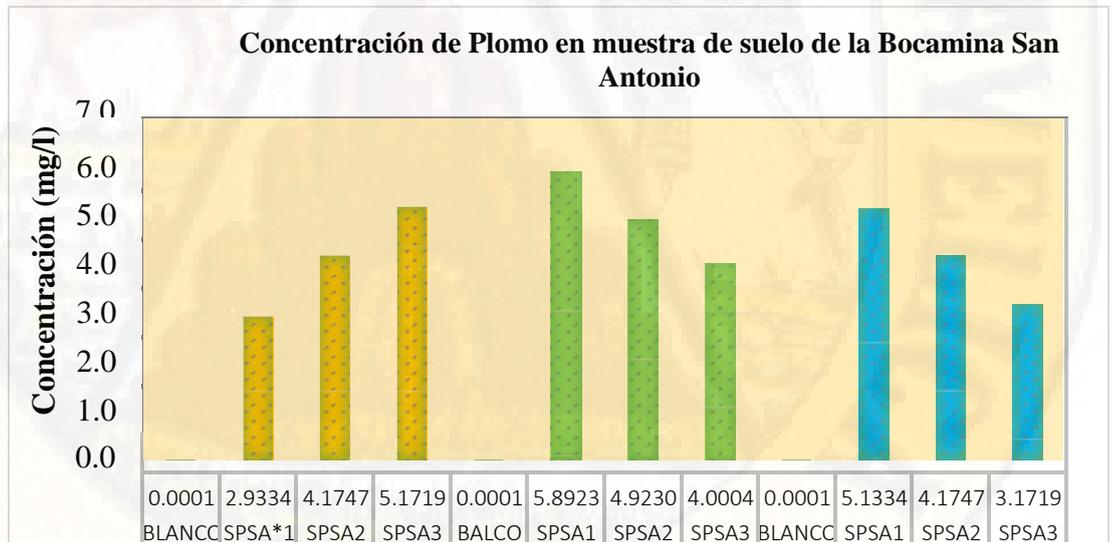
Muestra	Concentración mg Pb/kg	Fecha
BLANCO	0.0001	11/07/2018
SPSA*1	2.9334	11/07/2018
SPSA2	4.1747	11/07/2018
SPSA3	5.1719	11/07/2018
BALCO	0.0001	28/08/2018
SPSA1	5.8923	28/08/2018
SPSA2	4.9230	28/08/2018
SPSA3	4.0004	28/08/2018
BLANCO	0.0001	20/09/2018
SPSA1	5.1334	20/09/2018
SPSA2	4.1747	20/09/2018
SPSA3	3.1719	20/09/2018

*SPSA= Suelo-Pomo-San Antonio

Fuente: Elaboración Propia

Figura 38

Concentración de plomo en muestra de suelo de la bocamina San Antonio



Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 20 y 21 se muestran los datos obtenidos del análisis de las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo aledaño a la bocamina San Antonio. En las Figuras 37 y 38 se observa que los picos más altos de las concentraciones fueron 2.6432 y 5.8923 mg/l de cadmio y plomo respectivamente.

Tabla 22

Muestra de suelo de la bocamina Tangana, concentración de cadmio $\lambda = 228,8 \text{ nm}$

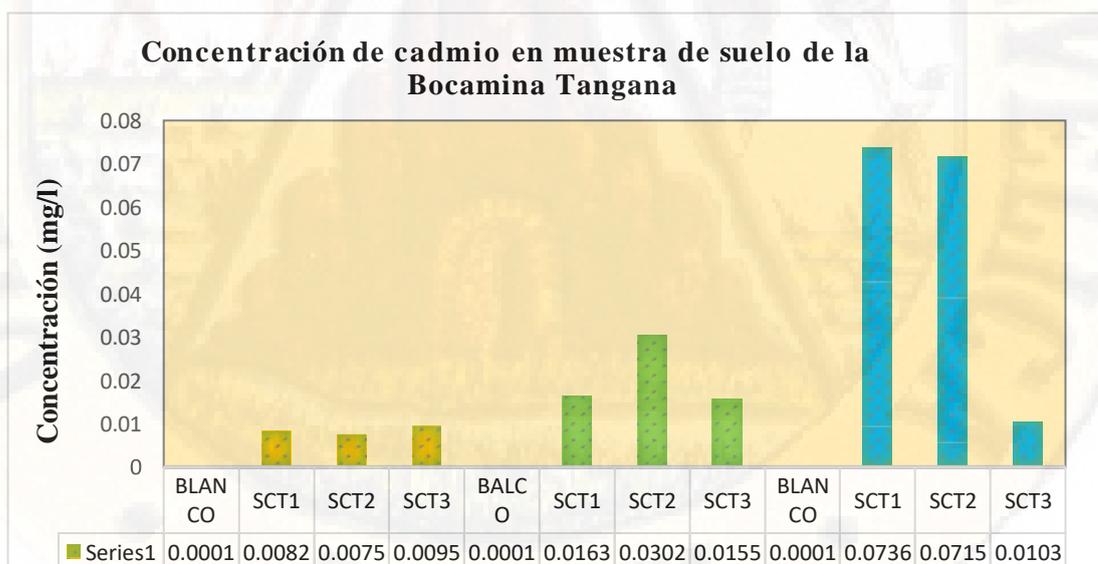
Muestra	Concentración mg Cd/kg	Fecha
BLANCO	0.0001	11/07/2018
SCT*1	0.0082	11/07/2018
SCT2	0.0075	11/07/2018
SCT3	0.0095	11/07/2018
BLANCO	0.0001	28/08/2018
SCT1	0.0163	28/08/2018
SCT2	0.0302	28/08/2018
SCT3	0.0155	28/08/2018
BLANCO	0.0001	20/09/2018
SCT1	0.0736	20/09/2018
SCT2	0.0715	20/09/2018
SCT3	0.0103	20/09/2018

*SCT = Suelo-Cadmio-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Concentración de cadmio en muestra de suelo de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Muestra de suelo de la bocamina Tangana, concentración de plomo $\lambda = 217.0 \text{ nm}$

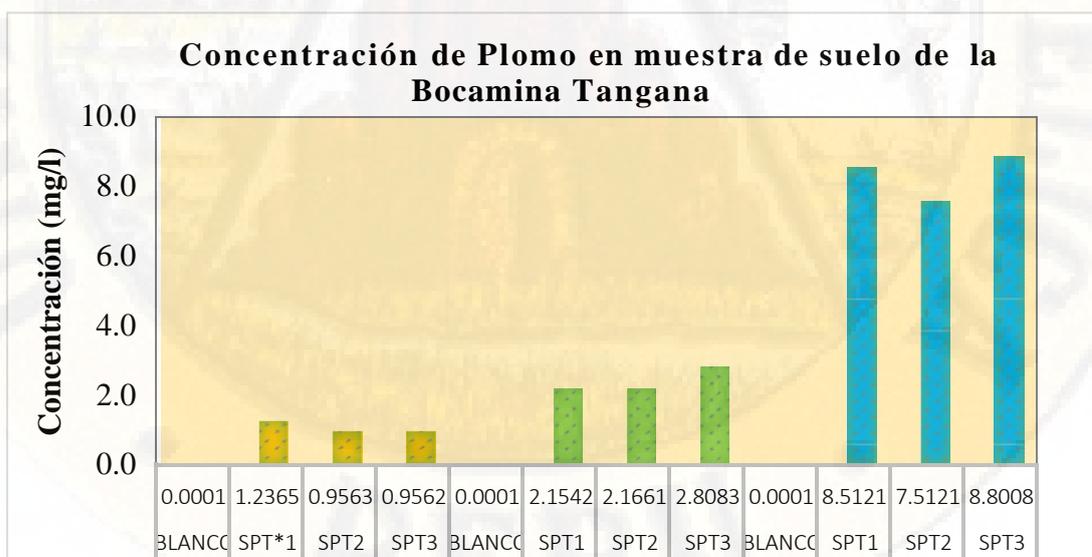
Muestra	Concentración mg Pb/kg	Fecha
BLANCO	0.0001	11/07/2018
SPT*1	1.2365	11/07/2018
SPT2	0.9563	11/07/2018
SPT3	0.9562	11/07/2018
BLANCO	0.0001	28/08/2018
SPT1	2.1542	28/08/2018
SPT2	2.1661	28/08/2018
SPT3	2.8083	28/08/2018
BLANCO	0.0001	20/09/2018
SPT1	8.5121	20/09/2018
SPT2	7.5121	20/09/2018
SPT3	8.8008	20/09/2018

*SPT = Suelo-Plomo-Tangana

Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Concentración de plomo en muestra de suelo de la bocamina Tangana



Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 22 y 23 se muestran los datos obtenidos del análisis de las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo aledaño a la bocamina Tangana. En las Figuras 39 y 40 se observa que los picos más altos de las concentraciones fueron 0.0736 y 8.8008 mg/L de cadmio y plomo respectivamente.

4.2. Discusión de resultados

En la presente investigación se realizó los análisis estadísticos respectivos que fueron de carácter descriptivo correlacional y teniendo en cuenta el diseño longitudinal de tendencia, respecto a la “Presencia de cadmio y plomo en agua, suelo y su acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica-2018.” de los cuales se evidenciaron, la concentración de Cd y Pb en agua es significativa su acumulación en los pastos naturales aledaños a ambas bocaminas mencionadas. Sin embargo, la concentración de Cd y Pb en suelo no es significativa su acumulación en pastos naturales aledaños a ambas bocaminas. Dando cumplimiento al objetivo general de la investigación.

Para el cumplimiento del primer objetivo específico, la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018, resultaron como sigue: cadmio (0.04555 mg/L y 0.0786 mg/L) y plomo (0.0583 mg/L y 0.2340 mg/L) respectivamente; encontrándose por encima de los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo al D.S. N° 004-2017-MINAM (0.01 mgCd/L y 0.05 mgPb/L).

Para el cumplimiento del segundo objetivo específico, la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018, se obtuvieron los siguientes resultados, cadmio (0.0269 mg/Kg y 1.4067 mg/Kg) y plomo (3.9003 mg/Kg y 4.3973 mg/Kg) respectivamente; encontrándose por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo al D.S. N° 011-2017-MINAM, (1.4 mg Cd/Kg y 70 mg Pb/Kg).

Finalmente, para el cumplimiento del tercer objetivo específico, la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas

San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa- Huancavelica-2018, se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestras obtenidas del entorno de la bocamina San Antonio, los resultados para el pasto Crespillo (*Calamagrostis vicunarum*) 5.3495 mg/Kg de cadmio y 7.7008 mg/Kg de plomo y para el pasto Estrella (*Azorella diapensioides*) 0.4274 mg Cd/Kg de cadmio y 0.3101 mg Pb/Kg de plomo.

Muestras obtenidas del entorno de la Bocamina Tangana, los resultados, para la Mullaca (*Muehlenbeckia volcánica*) 0.2287 mg/Kg de cadmio y 0.2274 mg/Kg de plomo y para Huacchor (*Carex ecuadorica*) 0.1578 mg/Kg de cadmio y 0.0565 mg Pb/Kg de plomo.

Es importante mencionar que las bocaminas San Antonio y Tangana, ubicadas en la Comunidad Huachocolpa-Huancavelica, son recientes explotaciones por los comuneros de manera informal.

Haciendo una comparación con trabajos de investigación similares como el de Jaramillo y León (2013) las extracciones mineras, ocasionan una clase textural desequilibrada; ausencia o baja presencia de estructura edáfica a causa de la ausencia de la capa superficial del suelo; erosión periódica de la cubierta. Wong (2003) el cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas reportado por Singh y Tewari (2003), el plomo tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo determinado por Sanín et. Al., (1998). Asimismo, existen metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos ocasiona disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, tales como Cd, Hg y Pb evaluado por López y Grau (2005). Por otro lado, en plantas, los síntomas de fitotoxicidad más común son lesiones, que varían según la especie y el metal, influyendo en la disminución del crecimiento, clorosis y menor desarrollo radicular investigado por Williamson et al., (1982). Sin embargo,

algunas plantas tienen la capacidad de absorber metales pesados. Las plantas silvestres tienen una gran habilidad de supervivencia y pueden desarrollar una gran cantidad de biomasa reportado por Tlustos et al., (2006)

Asimismo, los resultados al confrontarlos con los obtenidos por el autor Ramírez et al., (2019) en su tesis “Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados”, donde se tuvieron en total 12 tratamientos. Los resultados mostraron que en raíz, tallo y hoja las mayores concentraciones se presentaron en el tratamiento de cobre a 20 ppm con valores de 15 827.2, 13 030.9 y 4 979.4 mg /kg respectivamente. Correa, (2016) en su tesis “Ecotoxicología del cadmio, afirma que el cadmio es un metal pesado asociado a importantes problemas de salud. En referencia a los autores Coyago y Bonilla, (2016) en su tesis referido a “Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano”. Con la finalidad de determinar la cantidad absorbida en diferentes tiempos, la evolución de la absorción de plomo en las diferentes especies vegetativas fue medida utilizando la técnica de digestión ácida y cuantificada en un espectrofotómetro de absorción atómica a 0, 20, 30, 45, 60 y 90 días de exposición. En referencia al investigador García et al., (2016) en su trabajo desarrolló y validó un método ambientalmente amigable para la digestión y extracción de Cd^{+2} y Pb^{+2} en pastos, utilizando ultrasonido y espectroscopia de absorción atómica. La metodología propuesta, se comparó con la técnica clásica y permitió determinar niveles trazas de estos metales tóxicos, en forraje proveniente del Magdalena medio, con porcentajes de recuperación de 97,54 y 98,62%, respectivamente. Ríos et al., (2016) en su investigación titulada “Determinación de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales urbanos de Ciudad Juárez, Chihuahua, México”, mostró sus resultados obtenidos revelaron que el suelo superficial de una casa-habitación ubicada en la colonia Mariano Escobedo (ME) presentó la cantidad más elevada tanto de cadmio como de cromo. El cadmio mostró concentraciones elevadas (> 1 ppm) en todos los sitios de muestreo, las cuales sobrepasan las establecidas como límite en la normatividad de algunos países europeos. Asimismo, según Orellana et al., (2019) en el estudio que realizaron, nos mencionan que los suelos agrícolas que se han regado con el agua contaminada de las

actividades de minería metalúrgica durante más de 70 años constituyen un problema ambiental, así como una preocupación por la seguridad alimentaria y la salud humana. La presencia de plomo en el suelo y en los pastizales cultivados es altamente peligrosa. Los resultados mostraron las concentraciones de plomo en el suelo en el rango de estándares de calidad ambiental para suelos de acuerdo con las regulaciones peruanas. En el suelo con *L. x hybridum* y *M. sativa*, el contenido promedio de plomo fue $57.17 \pm 6.29 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $57.19 \pm 8.99 \text{ mg.kg}^{-1}$; en los tejidos por encima del suelo fueron $1.17 \pm 0.69 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $1.62 \pm 0.68 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente. Además, no se observaron diferencias significativas en el contenido de Pb en el suelo y los tejidos vegetales. Por lo tanto, concluyeron que el riego con agua contaminada a largo plazo no es una preocupación para los agricultores en el Valle del Mantaro. Ahora bien, en referencia a Anticona y Arteaga, (2018) en su trabajo de investigación “Niveles de acumulación de cadmio y plomo por el tallo de *Cortaderia rudiusscula* Stapf (cortadera)”, la investigación se realizó en un entorno de fotoiluminación de luz blanca durante 8 días, para lo cual se aplicó un diseño experimental de estímulo creciente, completamente aleatorizado, con seis tratamientos y tres repeticiones para cada sistema. Los resultados obtenidos se analizaron mediante el programa InfoStat, dónde se obtuvo que el tallo de *C. rudiusscula* evidencia capacidad acumuladora para el plomo con 0.4780 ppm, con lo cual los autores sugirieron que podría usarse en planes de fitorremediación ambiental; sin embargo, para el cadmio se obtuvo un valor de 0.0462 ppm. En referencia a Dextre, (2017) menciona que en el desarrollo de su investigación determina la concentración de arsénico, cadmio, cobre y plomo en la parte aérea (tallos + hojas) y las raíces de *Senecio rufescens*. Asimismo, establece qué parte de la planta acumula más que la otra y lo relaciona con los contenidos respectivos de metales en los suelos. Los resultados indican que la concentración de cobre y arsénico en la parte aérea de las plantas de *S. rufescens* de Churuca es significativamente superior al de la población de Ticticocha ($p \leq 0.05$), a pesar de que los contenidos de metales pesados en los suelos de ambas localidades no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), mientras que las cantidades de cadmio y plomo registradas en la parte aérea y la raíz de *S. rufescens* no muestran diferencias entre ambas localidades ($p > 0.05$). De igual forma, Luna y Rodríguez, (2016) en su investigación resalto que la concentración media de cadmio en las muestras de papa para la cuenca del río Mashcón fueron de

0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm y para la cuenca del río Chonta fueron de 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm, evidenciándose que el 100% de las muestras de papa para ambas cuencas presentaron concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible (0.1 ppm, según lo indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el Codex Alimentarius).

4.3. Proceso de prueba de hipótesis

Para validar la prueba de hipótesis, se usó la data obtenida del análisis por el método de espectrofotometría de absorción atómica de flama.

Teniendo en cuenta que la presente investigación es de tipo longitudinal (se tomó las diversas muestras en distintos tiempos), se validó la hipótesis usando el estadístico de la prueba T de Student para muestras relacionadas. En la Figura 41, se muestra el objetivo comparativo de las diversas variables fijas y aleatorias, indicando que para un estudio longitudinal con dos medidas a medir (los resultados del análisis de agua y los resultados del análisis de pasto natural; y, por otro lado, los resultados del análisis de suelo con los resultados de análisis de Pasto natural) se debe realizar la prueba estadística antes mencionada.

Figura 41

Objetivo comparativo

Variable fija \ Variable aleatoria		Pruebas paramétricas	Pruebas no paramétricas		
		NUMÉRICA	ORDINAL	NOMINAL DICOTOMICA	NOMINAL POLITÓMICA
Estudio Transversal Muestras Independientes	Un grupo	T de Student para una muestra	X ² Bondad de Ajuste	Binomial X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste
	Dos grupos	T de Student para muestras independientes	U Mann-Withney	X ² de Homogeneidad Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X ² de Homogeneidad
	Más de dos grupos	ANOVA con un factor INTERSUJETOS	H Kruskal-Wallis	X ² de Homogeneidad	X ² de Homogeneidad
Estudio Longitudinal Medidas Repetidas	Dos medidas	T de Student para muestras relacionadas	Wilcoxon	McNemar	Q de Cochran
	Más de dos medidas	ANOVA para medidas repetidas o ANOVA con un factor INTRASUJETOS	Friedman	Q de Cochran	Q de Cochran

Fuente: SPSS-24

En la presente investigación comenzaremos realizar la prueba de bondad para determinar si la distribución de los datos muestrales se ajusta a una distribución teórica normal, para ello utilizamos la estadística de normalidad de Shapiro - Wilk., ya que los datos son menores a 30 valores y tienen el siguiente criterio de determinación:

P-valor $\geq \alpha$, se acepta H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, se acepta H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal.

Hipótesis para el análisis del agua y planta de las bocaminas San Antonio y Tangana serán:

- **Hipótesis nula**

H_0 : La concentración de cadmio y plomo en agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica – 2018.

- **Hipótesis alterna**

H_1 : La concentración de cadmio y plomo en agua se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica – 2018.

Asimismo, probaremos las hipótesis para el análisis del suelo y planta de las bocaminas San Antonio y Tangana serán:

- **Hipótesis nula**

H_{01} : La concentración de cadmio y plomo en suelo no se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica – 2018.

- **Hipótesis alterna**

H_{11} : La concentración de cadmio y plomo en suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica – 2018.

Asimismo, para la prueba de la significancia de las hipótesis, se usó el esquema clásico propuesto por Karl Pearson siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

Paso 02: Nivel de significancia.

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Paso 05: Decisión estadística (decidir el H_0 si se rechaza o no)

Se validó las hipótesis antes mencionadas para cada bocamina, teniendo los siguientes resultados:

4.3.1. Prueba de normalidad para la Bocamina San Antonio

Se procedió a procesar los datos del análisis de agua-crespillo y agua-estrella de la bocamina San Antonio en el Software SPSS-24 para corroborar la normalidad de dichos datos; y, para ello se usó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, ya que los datos son menores a 30 valores y tienen el siguiente criterio de determinación:

P-valor $\geq \alpha$, se acepta H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, se acepta H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal.

4.3.1.1. Prueba de normalidad para el agua en la Bocamina San Antonio

Tabla 24

Pruebas de normalidad de agua-cadmio y crespillo-cadmio de San Antonio

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-cadmio-San Antonio	.310	9	.013	.800	9	.061
Crespillo-cadmio-San Antonio	.334	9	.017	.694	9	.073

Fuente: SPSS-24 – Elaboración

Tabla 25*Pruebas de normalidad de agua-cadmio y estrella-cadmio de San Antonio***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	G l	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-cadmio-San Antonio	.310	9	.013	.800	9	.061
Estrella-cadmio-San Antonio	.151	9	.200	.965	9	.845

*Fuente: SPSS-24 – Elaboración***Tabla 26***Pruebas de normalidad de agua-plomo y crespillo-plomo de San Antonio***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-plomo-San Antonio	.193	9	.200	.875	9	.140
Crespillo-plomo-San Antonio	.190	9	.200	.887	9	.185

*Fuente: SPSS-24 – Elaboración***Tabla 27***Pruebas de normalidad de agua-plomo y estrella-plomo de San Antonio***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-plomo-San Antonio	.193	9	.200	.875	9	.140
Estrella-plomo-San Antonio	.185	9	.200	.905	9	.280

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Como se observa en las Tablas 24, 25, 26 y 27, los resultados del p-valor son mayores a 0.05. Con ello se demuestra que dichos datos presentan una distribución normal.

4.3.1.2. Prueba de normalidad para el suelo en la Bocamina San Antonio

Seguidamente, se procesó los datos del análisis del suelo-planta de la bocamina San Antonio, siendo éstos los resultados:

Tabla 28

Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y crespillo-cadmio de San Antonio

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-cadmio-San Antonio	.191	9	.200	.920	9	.394
Crespillo-cadmio-San Antonio	.334	9	.017	.694	9	.073

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Tabla 29

Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y estrella-cadmio de San Antonio

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-cadmio-San Antonio	.191	9	.200	.920	9	.394
Estrella-cadmio-San Antonio	.151	9	.200	.965	9	.845

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Tabla 30*Pruebas de normalidad de suelo-plomo y crespillo-plomo de San Antonio*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-plomo-San Antonio	.150	9	.200	.955	9	.745
Crespillo-plomo-San Antonio	.190	9	.200	.887	9	.185

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia**Tabla 31***Pruebas de normalidad de suelo-plomo y estrella-plomo de San Antonio*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-plomo-San Antonio	.150	9	.200	.955	9	.745
Estrella-plomo-San Antonio	.185	9	.200	.905	9	.280

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Las Tablas 28, 29, 30 y 31 arrojan valores mayores a 0.05; es decir, los datos de los análisis de suelo-planta, tanto para el pasto estrella como para crespillo, provienen de una distribución normal.

4.3.2. Contrastación de las hipótesis para la Bocamina San Antonio

Como paso final a todo el proceso de validación de hipótesis, se realizó la prueba de muestras emparejadas para los datos pertenecientes al estudio de la bocamina San Antonio.

a. Prueba de muestras emparejadas de agua-crespillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

Para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

• **Hipótesis nula (H₀)**

La concentración de cadmio y plomo en agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

• **Hipótesis alterna (H₁)**

La concentración de cadmio y plomo en agua se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “V_t” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas

estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (V_c) de la “t”:

$$t_{par1} = V_c = 4,029 \quad Gl= 9-1=8$$

$$t_{par2} = V_c = 33,285 \quad Gl= 9-1=8$$

Tabla 32

Prueba de muestras emparejadas de agua-crespillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Agua-cadmio-San Antonio Crespillo-cadmio-San Antonio	5.2709000	3.9248160	1.3082720	8.2877806	2.2540194	4.029	8	.004
Par 2	Agua-plomo-San Antonio Crespillo-plomo-San Antonio	7.4668222	.6729930	.2243310	7.9841304	6.9495140	33.285	8	.000

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

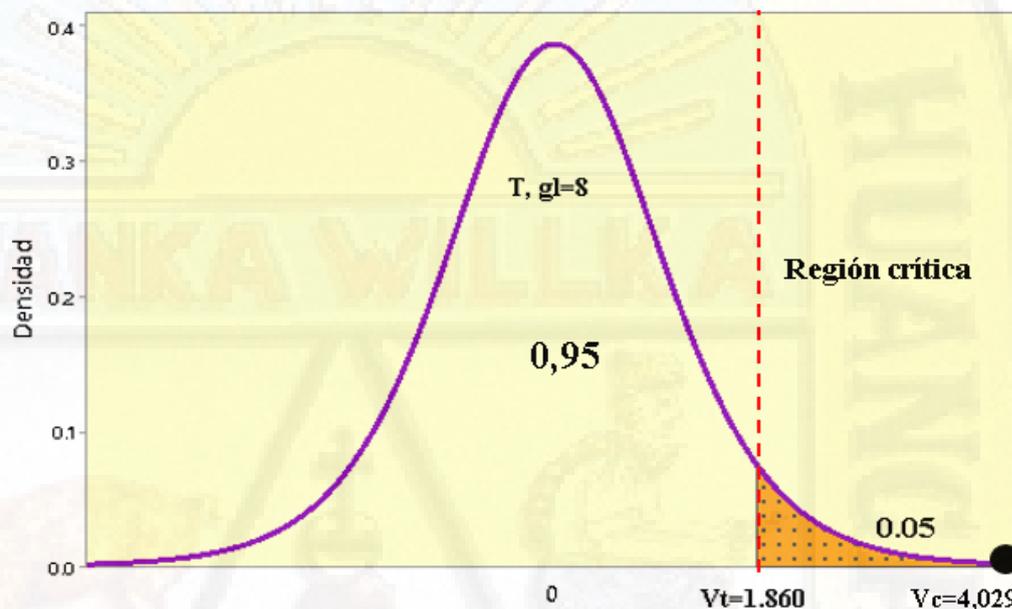
Paso 05: Decisión estadística (decidir el H_0 si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/H_0) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($4,029 > 1,86$). Además, como se observa en la Tabla 32, al realizar la prueba de muestras emparejadas para agua-crespillo, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en agua es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza.

Figura 42

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 45 que la probabilidad es $p=0,004 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

b. Prueba de muestras emparejadas de agua-estrella respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

Para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

● Hipótesis nula (H_0)

La concentración de cadmio y plomo en agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

- **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en agua se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = Vc = 5,164 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

$$t_{par2} = Vc = 2,818 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

Tabla 33

Prueba de muestras emparejadas de agua-estrella respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	Agua-cadmio San Antonio Estrella-cadmio-San Antonio	.3487667	.2026317	.0675439	.5045232	.1930101	5.164	8	.001
Par 2	Agua-plomo-San Antonio Estrella-plomo-San Antonio	.0760667	.0809902	.0269967	.1383212	.0138121	2.818	8	.023

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

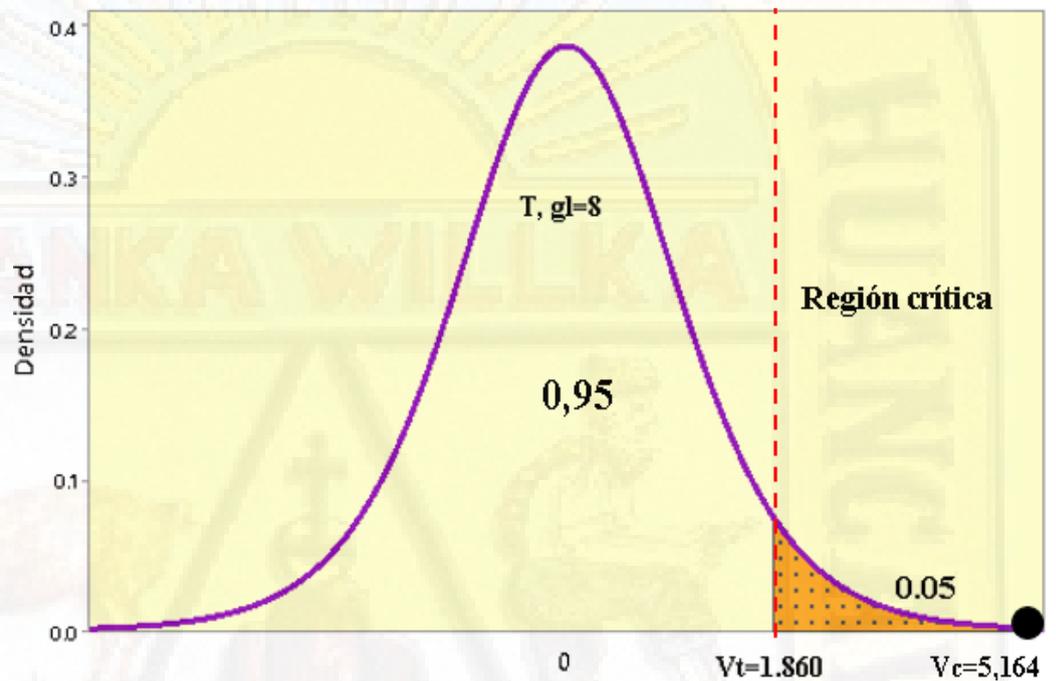
Paso 05: Decisión estadística (decidir el H_0 si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/H_0) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($5,164 > 1,86$). Además de la Tabla 33 al realizar de la prueba de muestras emparejadas para agua –estrella obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en agua es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza.

Figura 43

Diagrama de la prueba *T* para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 33 que la probabilidad es $p=0,001 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

Asimismo, se realizó el análisis del a prueba de hipótesis de los datos de suelo-planta de la bocamina San Antonio.

c. Prueba de muestras emparejadas de suelo-crepillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

La prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (Ho)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

- **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\% , \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S / \sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = Vc = 2,763 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

$$t_{par2} = Vc = 9,565 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

Tabla 34

Prueba de muestras emparejadas de suelo-crepillo respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	Gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Suelo-cadmio-San Antonio	3.9428556	4.2814415	1.4271472	7.2338628	.6518483	2.763	8	.025
	Crespillo-cadmio-San Antonio								
Par 2	Suelo-plomo-San Antonio	3.3035111	1.0360787	.3453596	4.0999117	2.5071105	9.565	8	.000
	Crespillo-plomo-San Antonio								

Fuente: SPSS -24- Elaboración propia

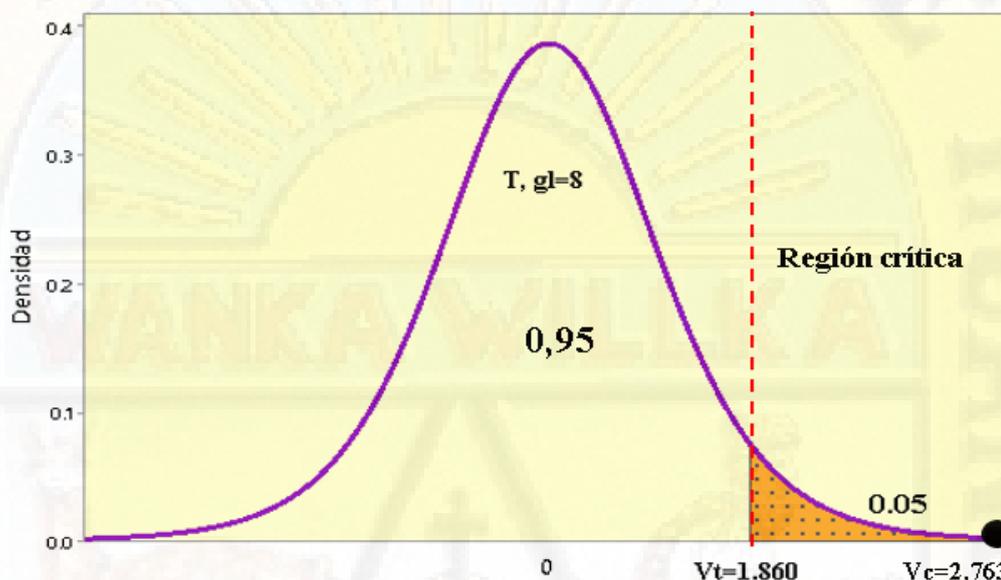
Paso 05: Decisión estadística (decidir el H_0 si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/H_0) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($2,763 > 1,86$). Además de la Tabla 34 al realizar la prueba para el análisis de suelo-crepillo como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en el suelo no es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza

Figura 44

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 47 que la probabilidad es $p=0,025 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

Por último, se hizo la validación de hipótesis, en el Software en mención, para la relación suelo-estrella y se obtuvo los siguientes resultados:

d. Prueba de muestras emparejadas de suelo-estrella respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

Prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (H_0)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

Ho: X = 0

- **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

H1: X \neq 0

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = Vc = 3,978 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

$$t_{par2} = Vc = 12,887 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

Tabla 35

Prueba de muestras emparejadas de suelo-estrella respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina San Antonio

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Suelo-cadmio-San Antonio	.9792778	.7384886	.2461629	.4116252	1.5469303	3.978	8	.004
	Estrella-cadmio-San Antonio								
Par 2	Suelo-plomo-San Antonio	4.0872444	.9515079	.3171693	3.3558507	4.8186382	12.887	8	.000
	Estrella-plomo San Antonio								

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

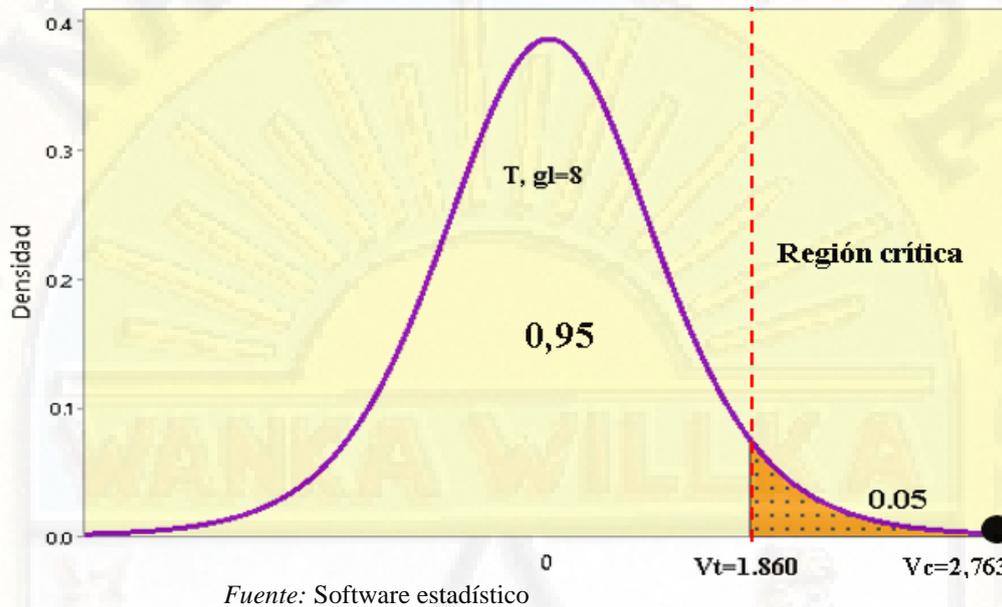
Paso 05: Decisión estadística (decidir el Ho si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/Ho) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($3,978 > 1,86$). Además al realizar el análisis de suelo -estrella, como se observa en la Tabla 35, al realizar la prueba de muestras emparejadas, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en suelo no es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina San Antonio de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza

Figura 45

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Además, se deduce de la tabla 35 que la probabilidad es $p=0,004 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

4.3.3. Prueba de normalidad para la Bocamina Tangana

Se ingresó los datos de los análisis de agua y planta de la bocamina Tangana al software SPSS-24, respecto a la concentración de los metales cadmio y plomo, para corroborar la normalidad de dichos datos; y, para ello se usó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, ya que los datos son menores a 30 valores y tienen el siguiente criterio de determinación:

P-valor $\geq \alpha$, se acepta H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, se acepta H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal.

4.3.3.1. Prueba de normalidad para el agua en la Bocamina Tangana

Tabla 36

Pruebas de normalidad de agua-cadmio y huacchor-cadmio de Tangana

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	G l	Sig.
Agua-cadmio-Tangana	.186	9	.200	.919	9	.380
Huacchor-cadmio-Tangana	.335	9	.036	.757	9	.057

Fuente: SPSS-24 – Elaboración

Tabla 37

Pruebas de normalidad de agua-cadmio y mullaca-cadmio de Tangana

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-cadmio-Tangana	.186	9	.200	.919	9	.380
Mullaca-cadmio-Tangana	.313	9	.041	.808	9	.065

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Tabla 38

Pruebas de normalidad de agua-plomo y huacchor-plomo de Tangana

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-plomo-Tangana	.188	9	.200	.915	9	.351
Huacchor-plomo-Tangana	.249	9	.122	.828	9	.058

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Tabla 39*Pruebas de normalidad de agua-plomo y mullaca-plomo de Tangana***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua-plomo-Tangana	.188	9	.200	.915	9	.351
Mullaca-plomo-Tangana	.230	9	.188	.780	9	.112

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

En las Tablas 36, 37, 38 y 39 se observa que el nivel de significancia es mayor al valor de α , por ende, se concluye que se acepta la hipótesis del P-valor H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.

4.3.3.2. Prueba de normalidad para el suelo en la Bocamina Tangana

Asimismo, se procedió a hacer lo propio para el suelo y plantas de la bocamina en mención.

Tabla 40*Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y huacchor-cadmio de Tangana***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	G l	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-cadmio-Tangana	.361	9	.058	.788	9	.102
Huacchor-cadmio-Tangana	.335	9	.036	.757	9	.057

Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia

Tabla 41*Pruebas de normalidad de suelo-cadmio y mullaca-cadmio de Tangana***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-cadmio-Tangana	.361	9	.058	.788	9	.102
Mullaca-cadmio-Tangana	.313	9	.041	.808	9	.065

*Fuente: SPSS-24 – Elaboración propia***Tabla 42***Pruebas de normalidad de suelo-plomo y huacchor-plomo de Tangana***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-plomo-Tangana	.294	9	.154	.779	9	.082
Huacchor-plomo-Tangana	.249	9	.122	.828	9	.058

*Fuente: SPSS -24– Elaboración propia***Tabla 43***Pruebas de normalidad de suelo-plomo y mullaca-plomo de Tangana***Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suelo-plomo-Tangan	.294	9	.154	.779	9	.082
Mullaca-plomo-Tangana	.230	9	.188	.780	9	.112

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

Las Tablas 40, 41, 42 y 43 corroboran que los datos provienen de una distribución normal.

Una vez obtenidas la validación de la prueba de normalidad, se procedió a realizar las validaciones de las hipótesis, líneas arriba mencionadas, para la bocamina Tangana.

La evaluación con el r de Pearson resultó:

Tabla 44

Correlaciones de r de Pearson para agua -mullaca de la bocamina Tangana

		Agua Cd	Mullaca Cd	Huacchor Cd
Agua Cd	Correlación de Pearson	1	.858**	-,020
	Sig. (bilateral)		,003	,958
	N	9	9	9
Mullaca Cd	Correlación de Pearson	,858**	1	-,257
	Sig. (bilateral)	,003		,505
	N	9	9	9
Huacchor Cd	Correlación de Pearson	-,020	-,257	1
	Sig. (bilateral)	,958	,505	
	N	9	9	9

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: SPSS vs 24

En la tabla 44 se observa el valor r de Pearson para r = 0,858 valor que evidencia correlación positiva y una significancia $\alpha = 0,003$, para agua en la bocamina Tangada respecto a la Mullaca.

Contrastación de la hipótesis general

Para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (Ho)**

La concentración de cadmio y plomo en agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

- **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en el agua se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\% , \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$t = r \times \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,8946 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

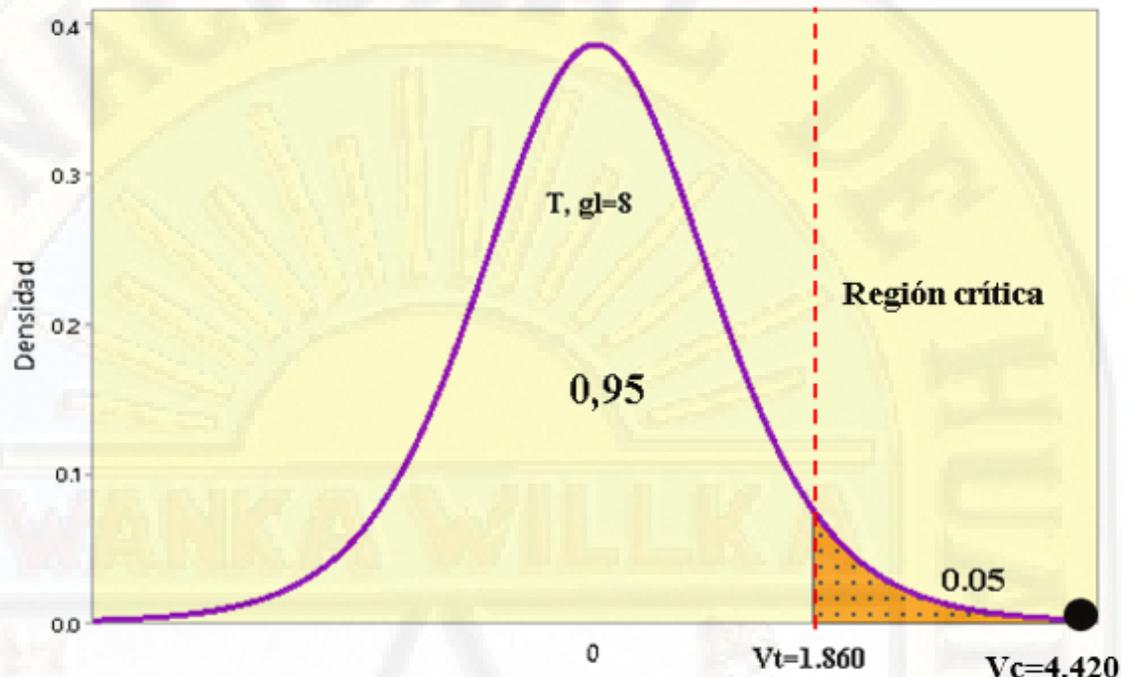
$$Vc = 0.858 \sqrt{\frac{9-2}{1-(0.858)^2}} = 4.4194607462161$$

Paso 05: Decisión estadística (decidir la Ho si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, también notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/Ho) de la cual podemos deducir que $Vc > Vt$ (4,4194 > 1,8946).

Figura 46

Diagrama de la prueba t para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 44 que la probabilidad es $p=0,003 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

No existe correlación de contenido cadmio y plomo de las demás muestras de agua, suelo y pastos de las bocaminas San Antonio y Tangana que se encuentran en anexo. (ver tablas 53, 54, 55, 56, 57 y 58).

4.3.4. Contrastación de las hipótesis para la Bocamina Tangana.

Prueba de muestras emparejadas de agua-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana.

Asimismo, para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (H₀)**

La concentración de cadmio y plomo en agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

- **Hipótesis alterna (H₁)**

La concentración de cadmio y plomo en el agua se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S / \sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = V_c = 3,434 \quad Gl= 9-1=8$$

$$t_{par2} = V_c = 0,103 \quad Gl= 9-1=8$$

Tabla 45

Prueba de muestras emparejadas de agua-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
				Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Inferior		Superior				
Par 1	Agua-cadmio-Tangana	.1123000	.0981017	.0327006	.1877077	.0368923	3.434	8	.009
	Huacchor-cadmio-Tangana								
Par 2	Agua-plomo-Tangana	.0017778	.0516209	.0172070	.0379016	.0414571	.103	8	.020
	Huacchor-plomo-Tangana								

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

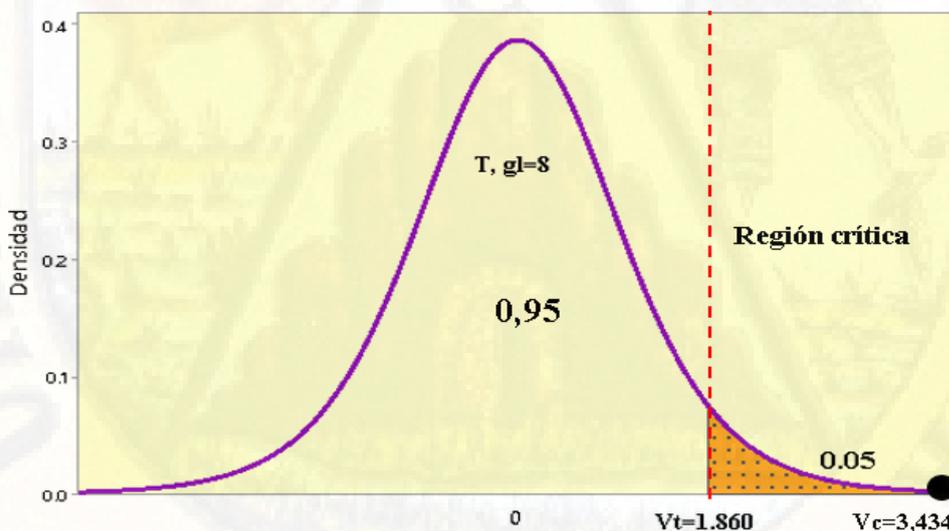
Paso 05: Decisión estadística (decidir la H_0 si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, también notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/ H_0) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($3,434 > 1,86$). Además en relación al análisis del agua-huacchor, como se observa en la Tabla 45, al realizar la prueba de muestras emparejadas, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en el agua es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza

Figura 47

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 45 que la probabilidad es $p = 0,009 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión se rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

b. Prueba de muestras emparejadas de agua-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

Asimismo, para la prueba de significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* (año) siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (Ho)**

La concentración de cadmio y plomo en el agua no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: x = 0$$

- **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en el agua se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “ V_t ” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (V_c) de la "t":

$$t_{par1} = V_c = 5,034 \quad Gl= 9-1=8$$

$$t_{par2} = V_c = 0,876 \quad Gl= 9-1=8$$

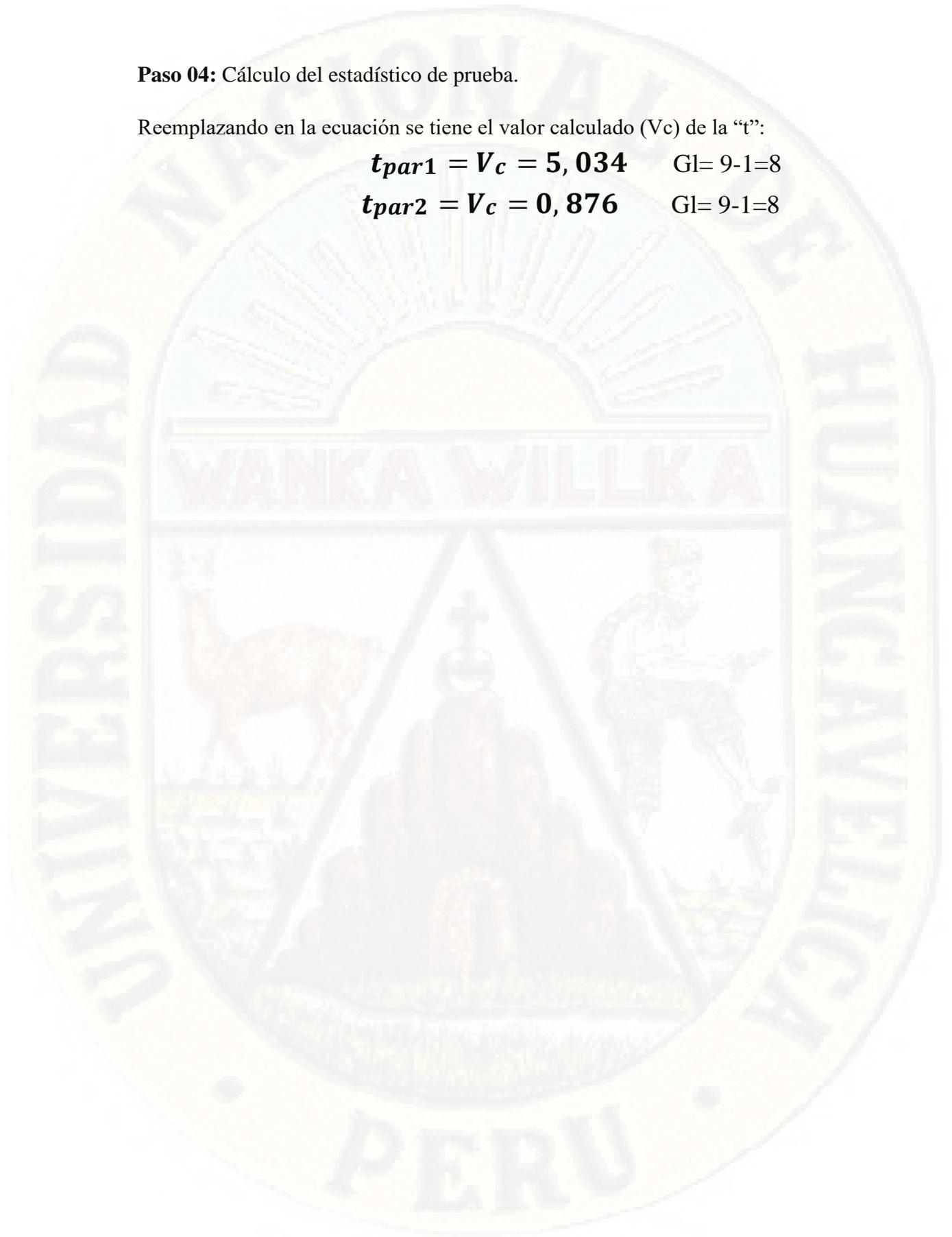


Tabla 46

Prueba de muestras emparejadas de agua-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas						Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	
					Inferior	Superior			
Par 1	Agua-cadmio-Tanga	.1828111	.1089358	.0363119	.2665466	.0990757	5.034	8	.001
	Mullaca-cadmio-Tangana								
Par 2	Agua-plomo-Tangana	.1690333	.1040056	.0346685	.2489791	.0890876	.876	8	.001
	Mullaca-plomo-Tangana								

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

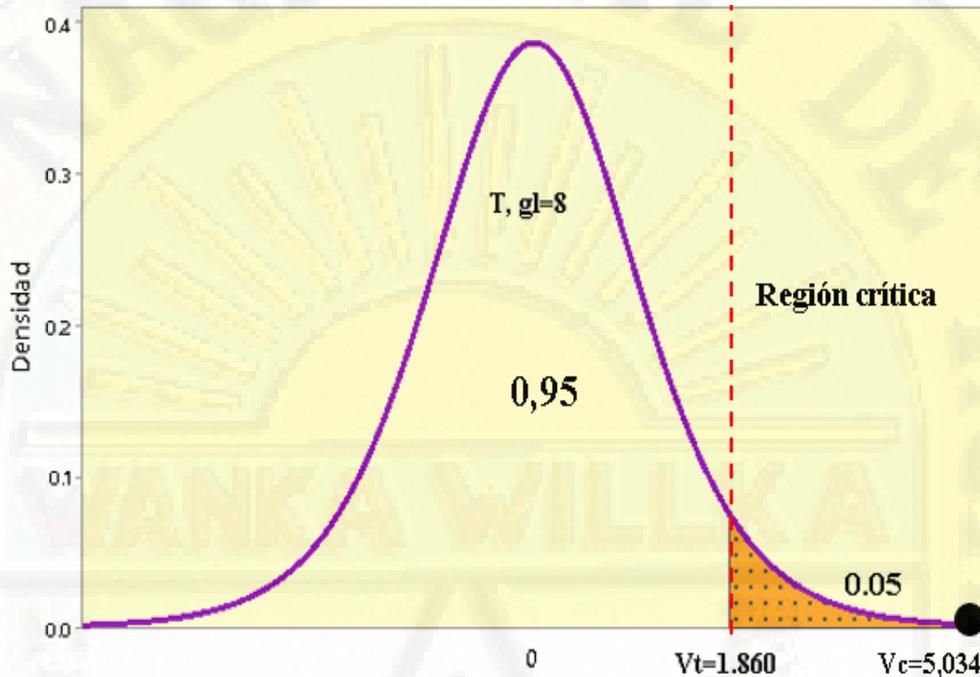
Paso 05: Decisión estadística (decidir el Ho si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/Ho) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($5,034 > 1,86$). Además en relación al análisis del agua-mullaca, como se observa en la Tabla 46, al realizar la prueba de muestras emparejadas, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La acumulación de cadmio y plomo en el agua es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza.

Figura 48

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 46 que la probabilidad es $p=0,001 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

c. Prueba de muestras emparejadas de suelo-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana.

Por su parte, se hizo lo propio para la relación suelo-planta de la bocamina Tangana, siendo éste el resultado:

Asimismo, para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

● **Hipótesis nula (Ho)**

La concentración de cadmio y plomo en el suelo no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_0: X = 0$$

● **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en el suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$$H_1: X \neq 0$$

Paso 02: Nivel de significancia.

$$\alpha = 0,05 = 5\%, \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = Vc = 3,791 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

$$t_{par2} = Vc = 3,452 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

Tabla 47

Prueba de muestras emparejadas de suelo-huacchor respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	Suelo-cadmio-Tangana	.1308222	.1035350	.0345117	.2104063	.0512382	3.791	8	.005
	Huacchor-cadmio-Tangana								
Par 2	Suelo-plomo-Tangana	3.8437444	3.3400626	1.1133542	1.2763450	6.4111438	3.452	8	.009
	Huacchor-plomo-Tanga								

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

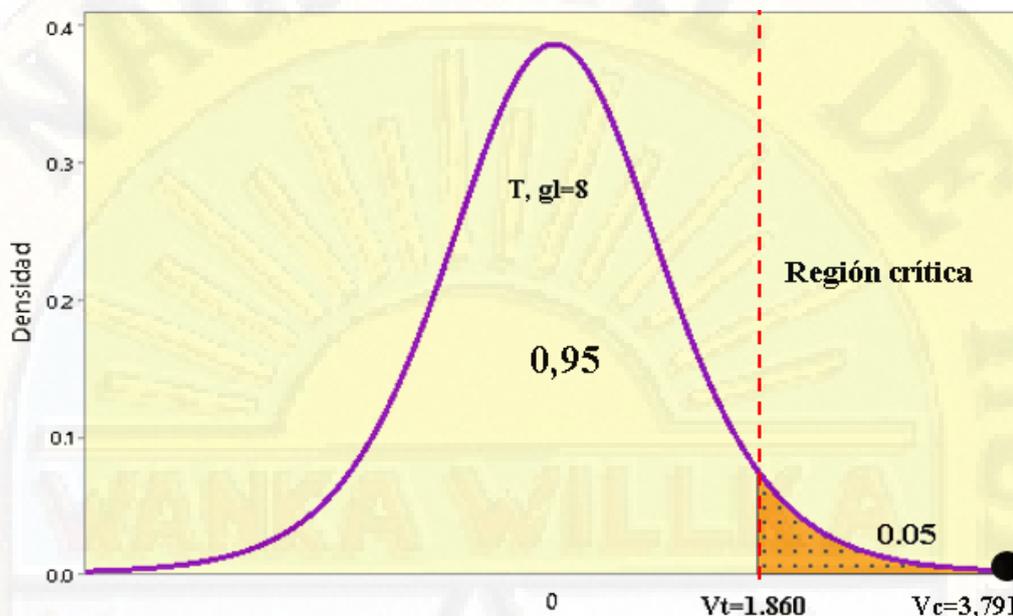
Paso 05: Decisión estadística (decidir el Ho si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/Ho) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($3,791 > 1,86$). Además, en relación al estudio del suelo-huacchor, como se observa en la Tabla 47, al realizar la prueba de muestras emparejadas, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en el suelo no es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018, con un 95% de confianza.

Figura 49

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 47 que la probabilidad es $p=0,005 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

d. Prueba de muestras emparejadas de suelo-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

Asimismo, para la prueba de la significancia de las hipótesis, usaremos el esquema clásico propuesto por *Karl Pearson* siguiendo los pasos de prueba que son:

Paso 01: Planteamiento del sistema de hipótesis.

- **Hipótesis nula (H_0)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

$H_0: X = 0$

• **Hipótesis alterna (H1)**

La concentración de cadmio y plomo en suelo no se acumuló significativamente en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018.

H1: $X \neq 0$

Paso 02: Nivel de significancia.

$\alpha = 0,05 = 5\%$, con un nivel de confianza del 95%

Paso 03: Elección del estadístico de prueba.

Para muestras relacionadas la distribución “t” con 8 grados de libertad:

$$T = \frac{X - \mu}{S / \sqrt{n}}$$

$$Gl = n - 1$$

El valor crítico o tabulado “Vt” de la prueba para 8 grados de libertad (unilateral) y 0,05 de significancia es de 1,86 (obtenido de las correspondientes tablas estadísticas).

Paso 04: Cálculo del estadístico de prueba.

Reemplazando en la ecuación se tiene el valor calculado (Vc) de la “t”:

$$t_{par1} = Vc = 5,271 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

$$t_{par2} = Vc = 3,329 \quad Gl = 9 - 1 = 8$$

Tabla 48

Prueba de muestras emparejadas de suelo-mullaca respecto a la concentración de cadmio y plomo, de la bocamina Tangana

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Suelo-cadmio-Tangana	.2013333	.1145969	.0381990	.2894203	.1132464	5.271	8	.001
	Mullaca-cadmio-Tangana								
Par 2	Suelo-plomo-Tangana	3.6729333	3.3100838	1.1033613	1.1285777	6.2172890	3.329	8	.010
	Mullaca-plomo-Tangana								

Fuente: SPSS -24– Elaboración propia

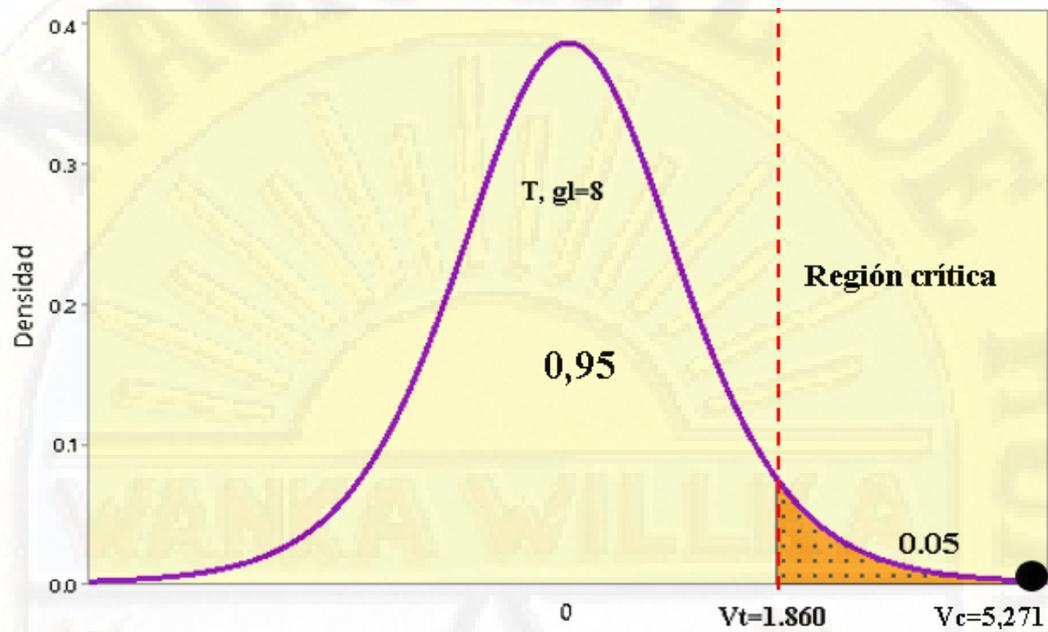
Paso 05: Decisión estadística (decidir el Ho si se rechaza o no)

El correspondiente valor calculado y el valor crítico de la misma lo tabulamos en la figura de la función “t”, asimismo de la figura notamos que se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula (RR/Ho) de la cual podemos deducir que $V_c > V_t$ ($5,271 > 1,86$). Además en relación al estudio del suelo-mullaca, como se observa en la Tabla 48, al realizar la prueba de muestras emparejadas, obtenemos como valores de significancia $p < 0.05$ por lo que diremos que se ha encontrado evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna que dice:

La concentración de cadmio y plomo en suelo no es significativa la acumulación en pastos naturales de la bocamina Tangana de la comunidad de Huachocolpa – Huancavelica – 2018 con un 95% de confianza.

Figura 50

Diagrama de la prueba T para la docimasia de la hipótesis.



Fuente: Software estadístico

Además, se deduce de la tabla 48 que la probabilidad es $p=0,001 < 0,05$ por lo que se confirma la decisión de rechazar la hipótesis nula y simultáneamente aceptar la hipótesis alterna.

Conclusiones

Se determinó que la concentración de cadmio y plomo en agua es significativa en los pastos naturales aledaños a las bocaminas San Antonio y Tangana antes mencionadas según la prueba de T de Student de muestras relacionadas con el P valor y la significancia $\alpha = 5\%$, sin embargo, con la prueba de r de Pearson, solo existe relación la concentración de cadmio en agua frente al pasto mullaca ($r = 0,858$) y una significancia de 0,003. Por otro lado, la concentración de Cd y Pb en suelo no es significativa su acumulación en los pastos naturales aledaños a ambas bocaminas en mención.

Se determinó la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa, obteniendo los siguientes resultados, de cadmio (0.04555 mg /L y 0.0786 mg/L) y plomo (0.0583 mg/L y 0.2340 mg/L) respectivamente, encontrándose por encima de los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo al D.S. N° 004-2017-MINAM (0.01 mgCd/L y 0.05 mgPb/L).

Se determinó la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa, obteniendo los siguientes resultados, de cadmio (0.0269 mg/Kg y 1.4067 mg/Kg) y plomo (3.9003 mg/Kg y 4.3973 mg/Kg) respectivamente; encontrándose por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo al D.S. N° 011-2017-MINAM, (1.4 mg Cd/Kg y 70 mg Pb/Kg).

Se determinó la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa, obteniendo los siguientes resultados: para la Bocamina San Antonio, 5.3495 mg Cd/Kg de cadmio y 7.7008 mg Pb/Kg de plomo acumulados en el pasto crespillo (*Calamagrostis vicunarum*) y para la bocamina Tangana, 0.4274 mg Cd/Kg de cadmio y 0.3101 mg Pb/Kg de plomo acumulados en el pasto estrella (*Azorella diapensioides*).

Recomendaciones

Se dan las siguientes recomendaciones luego de haber realizado el presente estudio:

1. Realización de estudios de metales pesados en agua, suelo y plantas de otras bocaminas que tiene más tiempo de explotación.
2. Investigación a través de la fitorremediación natural, el contenido de metales pesados para remediar los suelos contaminados por la minería.
3. Investigar la calidad de agua de consumo humano de las comunidades aledañas a los yacimientos mineros respecto a contenidos de metales pesados.
4. Realizar trabajos de investigación científica respecto a contenido de metales cadmio y plomo en viseras de ovinos, alpaca y cabra.
5. Evaluación de contenido de metales cadmio y plomo en diversas plantas naturales aledañas a las minas en explotación.

Referencias bibliográficas

- Abollino, O. et al (2002). *Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles*. Environmental Pollution, 119: 177.
- (27) (PDF) *El Parque Nacional Sajama y sus Plantas* | Alejandra Domic— Academia.edu. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2020, de https://www.academia.edu/38082936/El_Parque_Nacional_Sajama_y_sus_Plantas?auto=download
- 2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2020, de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- Acosta, M. & Mantilla, J. (2011). *Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río balsillas afluente del río Bogotá, universidad de la Salle*. <https://docplayer.es/26587302-Maria-margarita-acosta-de-armas-joanna-ximena-montilla-pena.html>.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Ácido de Mina Generación y Tratamiento*. Madrid, España, s.e
- Alkorta, I., Becerril & C. Garbisu. (2010). *Phytostabilization of metal contaminated soils*. *Reviews on Environmental Health*, 25: 135–146. <http://dx.doi.org/10.1515/RE-VEH.2010.25.2.135>
- Álvarez, L. (2004) - *Mineralización in vitro de nitrógeno y fósforo y contenido de metales pesados en suelos acondicionados con lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas, Santiago – Chile, Tesis, UCh, Facultad de Ciencias Agronómicas*. http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2004/alvarez_1/sources/alvarez_1.pdf, fecha de consulta: octubre de 2014.
- Angelova, V. et al (2004). *Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp)*. *Industrial Crops and Products*, 19: 197–205.

Animales y Plantas de Perú: La Mullaca - Muehlenbeckia volcánica. (2008, octubre 12).

Animales y Plantas de Perú.

<https://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2008/10/la-mullaca-muehlenbeckia-volcanica.html>

Anticona Cosavalente, T. Y., & Arteaga Tello, T. O. S. (2018). Niveles de acumulación de cadmio y plomo por el tallo de Cortaderia rudiusscula Stapf “cortadera”. *Universidad Nacional de Trujillo.*

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11958>

Aragón, (2017). *Filosofía del agua. (s. f.)*. Recuperado 17 de julio de 2017.

<http://www.naturalezadearagon.com/agua/aguafilosofia.php>

Azpilicueta, C., Peña, L. y Gallego, S. (2010). *Los metales y las plantas, entre la nutrición y la toxicidad*. *Ciencia Hoy*. 20(116):12-16.

Baker, A. (1981). *Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals*. *Journal Plant Nutrition*, 3:643-654.

Bakırdere, S., Bölücek, C., & Yaman, M. (2016). Determination of contamination levels of Pb, Cd, Cu, Ni, and Mn caused by former lead mining gallery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3), 132. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5134-5>

Baldantoni, D., Morra, L., Zaccardelli, M. & Alfani, A. 2016. *Cadmium accumulation in leaves of leafy vegetables*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 123: 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.019>.

Balderas Plata, M. A., Cajuste L. J., Luyo de la Fuente J. A., & Vázquez Alarcón A. (2003). *Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho*. *Redalyc*, 449-459.

Barceló, J. & Poschenrieder, C. (2003). *Phytoremediation: principles and perspectives*. *Contributions to Science* 2(3): 333-344. Institut d’Estudis Catalans, Barcelona.

Becerril, J.; Barrutia, O.; García-Plazaola J.; Hernández, A.; Olano, J. y Garbisu, C. (2007). *Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación*. *Ecosistemas*. 16(2):50-55.

Bech, J. et al (1995). *Los niveles basales de metales pesados*. Ed Cortés. Institución Catalana de estudios Agraria.

Bech, J. et al (2002). *Plantas del botín de la mina en el área de América del Sur como fuentes*

- potenciales de germoplasma, para Tecnologías de fitorremediación. Acta Biotechnol.*
- Bech, J., Poschenrieder, C., Barceló J., Lansac A. (2002). *Plants from mine spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm, for Phytoremediation Technologies.* Acta Biotechnol. 22: 1-2, 5-11.
- Biografía de Tales de Mileto. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2017, de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/tales.htm>
- Bonanno, G; Borg, J.A y Dimartino, V. (2017). *Levels of heavy metals in wetland and marine vascular plants and their biomonitoring potential: A comparative assessment.* Sc. of The Total Env. 576:796-806. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.171.
- Brooks, R. (1998). *Plantas que hiperacumulan metales pesados: su papel en la fitoremediación, microbiología, arqueología, exploración de minerales y Phytomining.* Nueva York: Centro Internacional de Agricultura y Biociencias.
- Cáceres, H., & Lourdes, M. (2015). Remoción de Cadmio de aguas ácidas de mina utilizando un reactivo secuestrante. *Universidad Nacional de Ingeniería.* <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2185>
- Caramillo, A. (2014). *Tolerancia a metales pesados y oxianiones de plantas que crecen en suelo contaminado con jales en Zimapán, Hidalgo. Universidad Autónoma Metropolitana.* <https://docplayer.es/79891160-Proyecto-de-integracion-en-ingenieria-ambiental.html>
- Carex ecuadorica* (—) | SIB, Parques Nacionales, Argentina. (s. f.). Sistema de Información de Biodiversidad. Recuperado 15 de junio de 2020, de <https://sib.gob.ar/especies/carex-ecuadorica>
- Chambi, L. J., Orsag, V., & Niura, A. (2012). *Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres Micro-Cuencas Del Municipio De Poopó. Revista Boliviana de Química, 29(1), 111–119.*
- Chen, Y. et al (2013). *Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. Ecotoxicology and Environmental Safety.* DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>.
- Chilicaus, F., & Christiam, G. (2019). *Influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación de relave de la Empresa Minera Paredones. Repositorio Institucional - UNH.* <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2791>
- Chira, J. (2010) – *Especiación química secuencial de metales pesados en la cuenca del río Torres-Vizcarra, dpto. de Ancash, Tesis de Postgrado, UNMSM, 184 p.*

- Choque, M. (2010). *Cuantificación de la remoción de Pb y Cd mediante la lenteja de agua Lemna Gibba y Azolla Fuliculoides de las aguas de la bahía interior de Puno*: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cobb, G.; Sands, K.; Waters, M.; Wixson, M.; Dorward, K, E. (2000). *Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. Environ. Toxicol. Chem.* 19:600 - 607. doi: 10.1002/etc.5620190311.
- Contaminación del agua por metales. (s. f.). *Agua.org.mx*. Recuperado 14 de junio de 2020, de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/>
- Correa, C. (2016). Tesis *ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio*, Universidad Complutense. <https://eprints.ucm.es/49137/>
- Corzo Remigio, A. (2015). Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca Quebrada Parac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6160>
- Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). *Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13854>
- Dankhe, G L (1986), *Investigación y comunicación*, McGraw Hill Sagan, Carl (1980), Cosmos, Random House, New York. Sekaran, Uma (2003), *Research methods for business. A skill building approach*, John Wiley and sons, Inc.
- Dextre Rubina, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Senecio rufescens* DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7232>
- Díaz, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos, Lima.
- Díaz-Aguilar, I.; Larqué-Saavedra, M. U.; Alcántar-González, G.; Carrillo-González, R. y Vázquez-Alarcón, A. (2001). *Alteración de algunos procesos fisiológicos en trigo por la adición de plomo*. *Rev. Inter. Cont. Amb.* 17(2):79-90.
- Dickson, T.R. (2013). *Química Enfoque Ecológico*. 2 ed. México D.F. (México): Limusa, Noriega Editores, 102 p.
- Doménech, X. (1995). *La Química del Suelo. El impacto de los contaminantes*, Ed. Mirahuano- Madrid.
- Dueñas, J. (2014). *Propuesta de diseño en batch para remoción de plomo (III) desde solución*

- acuosa, empleando un material adsorbente cubano*. Revista estudiantil nacional de Ingeniería y arquitectura RENIA. 5: 40–44.
- El agua es el principio de todas las cosas*. (s. f.). Fundación Aquae. Recuperado 19 de junio de 2020, de <https://www.fundacionaquae.org/el-agua-principio-de-todas-las-cosas-que-existen-tales-de-mileto/>
- El Parque Nacional Sajama y sus Plantas | Alejandra Domic—Academia.edu. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2020, de https://www.academia.edu/38082936/El_Parque_Nacional_Sajama_y_sus_Plantas?auto=download
- Estrada, I. (2010). *Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales*: Documento presentado como requisito para optar el título de Tecnóloga Química. Pereira, Colombia.
- FAO. 2015c. *FAO statistical pocketbook 2015: world food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics*.
- FAO/OMS (2011) *Evaluation of certain food additives and contaminants OMS (2003) Cadmium in drinking-water*
- Ferré, N. et al (2007). *Metales pesados y salud. Mapfreguridad*. 108:50 - 58.
- Filosofía Del Agua*. (s. f.). Scribd. Recuperado 17 de julio de 2017, de <https://es.scribd.com/document/290324318/Filosofia-Del-Agua>
- Filosofía del agua. Agua Aragón*. (s. f.-a). Recuperado 17 de julio de 2017, de <http://www.naturalezadearagon.com/agua/aguafilosofia.php>
- Fomina, M. A., Alexander, I. J., Colpaert, J. V., & Gadd, G. M. (2005). *Solubilization of toxic metal minerals and metal tolerance of mycorrhizal fungi*. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(5), 851–866. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.013>.
- Fraume, NJ. (2006). *Diccionario ambiental*: 1 ed. Bogotá, D.C. Colombia. Kimpres Ltda. ISBN: 978-958-648-462-9
- García, A. L. C., F, J. J. G., Rodríguez, Y. C., C, J. J. B., & P, M. P. (2016). Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para determinación de metales pesados en pastos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 3–15.
- García I, Dorronsoro C. *Contaminación por metales pesados (s. f.)*. España, Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.2001 [Fecha de consulta: 12 setiembre 2017]. Disponible en:< <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/>>.
- Gevao, B., Semple, K.T. & Jones, K.C. 2000. *Bound pesticide residues in soils: a review*.

- Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 108(1): 3–14.
- Glosario del agua. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2020, de <https://www.lenntech.es/glosario-agua.htm>
- Glynn, H., & Gary, H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Pearson Educación.
- Graza Evaristo, F. W., & Quispe Pozo, R. (2015). Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en El Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4205>
- Guía para el muestreo de suelo. (n.d.). Recuperado 20 de febrero de 2020, de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/guia-para-el-muestreo-de-suelo.pdf>
- Gulson B. (1996). *Análisis de los dientes de las fuentes y la intensidad de la exposición al plomo en niños*. *Perspectivas de la salud ambiental*. 104 (3), 306-312.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (4ta Edición).
- Hernández, A. (2011). *Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca*. Tesis de Licenciatura. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería.
- Herrera Marcano, Teodoro. (2011). *La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Maracay. Universidad Central de Venezuela*. P.42-47. saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/download/1112/1040.
- Hettiarachchi, M. & Pierzynski, M. (2002). *In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: Influence of plant growth*. *Journal Environmental Quality*, 31:564- 573.
- 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*, 23: 36–48.
- Jara-Peña, E., Gómez C, J., Montoya T, H., Sánchez, T., Tapia, L., Cano, N., & Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. Ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583– 598. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>
- Kabata, A., (1993). *Behavioral properties of trace metals in soils*. *Appl. Geochem.* 2:3- 9.
- Kabata, A., (2000). *Trace elements in soils and plants. Third Edition*. CRC Press, Boca Ratón,

USA. 413p.

- Kabelitz, L. and Sievers, H. *Contaminants of medicinal and food herbs with a view to EU regulations*. [En línea] *Innovations in Food Technology*. (2004) Disponible en: <http://www.phytolab.de/media/Phy_INFT.pdf>
- Krueger, E. et. al (2013). *Water Leaching of Chelated Pb Complexes from Post-Phytoremediation Biomass*. *Water Air Soil Pollut.* 11: 1614–1618.
- Kumar, A. & Maiti, S.K. 2015. *Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India*. *Environmental Earth Sciences*,74(3): 2617–2633. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4282-1>
- Laperche, V. et al (1997). *Effect of apatite amendment on plant uptake of Pb from contaminated soil*. *Environmental Science Technology*, 31:2745-2753
- Lara, B., & Luis J. (2012). *Determinación de la eficacia de Azolla Caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5046>
- Liang, N., Yang L., Dai J. y Pang X. (2011). *Heavy Metal Pollution in Surface Water of Linglong Gold Mining Area, China*. *Procedia Environmental Sciences*. (10) 914 – 917.
- López, M. & Grau J. (2005). *Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. II Resultados por Provincias*. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.
- López, C. M., Piñeiro A. E., Pongelli V., Villamil Lepori E.C. y Roses O. E. (2005). *Valores referenciales de plumbemia en el área de Buenos Aires. Población adulta sana no expuesta laboralmente [En línea] Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. V. 39 No. 4. La Plata
- Lora, R, Bonilla H. (2010). *Remediación de un suelo de la Cuenca alta del Rio Bogotá Contaminado con los Metales Pesados Cadmio y Cromo*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Bogotá, Colombia; 13 (2): 61-70.
- Luna Arenas, R. N., & Rodríguez Lozada, V. A. (2016). *Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (Solanum tuberosum) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca*. *Repositorio de Tesis - UNMSM*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4678>.
- MacFarlane, G. et al (2003). *Accumulation and distribution of heavy metals in the grey*

- mangrove, Avicennia marina (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. Environ. Pollut. 123:139-151.*
- Marruecos, L., Nogué S., & Nolla J. (1993). *Toxicología clínica. Barcelona.: Springer- Verlag Ibérica.*
- Martí, L., Filippini, M. F., Carlos S., Drovandi, A., Troilo, S. y Valdés, A. (2011). *Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. Rev. Fac. Cienc. Agr. 42(2):203-221.*
- Mayank, V., D. Rohan K. Devendra y P. Manoj. (2011). *Bioassay as monitoring system for lead phytoremediation through Crinum asiaticum L. Environ Monit Assess. 9: 373–38.*
- Millán, R., Carpena, R.O., Schmid, T., Sierra, M.J., Moreno, E., Peñaloza, J., Gamarra, R. y Esteban, E. (2007). *Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: Estrategias aplicables en el área de Almadén. Ecosistemas 2007/02.*
- MINAM, (Ministerio del Ambiente). (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*, Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOSfinal.pdf>.
- Ministerio del medio ambiente- agencia de aguas (2011): *Guía Nacional de Coleta e Preservação de amostras - Brasília 325 p.*
- Minkina, T., et al. (2014). *Compuestos de metales pesados en un suelo de Zona tecnológica para indicar su estado ecológico, Rusia: Southern Federal University.*
- Minkina, T.; Mandzhieva, S.; Chaplygin, V.; Bauer, T.; Burachevskaya, M.; Nevidomskaya, D.; Sushkova, S.; Zamulina, I. (2016). *Content and distribution of heavy metals in herbaceous plants under the effect of industrial aerosol emissions. Journal of Geochemical Exploration. doi: dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.011.*
- Montero, V., Quesada, J., & Ledezma, A. (2010). *Determinación de arsénico en abastecimiento de agua para consumo humano de la Provincia de Cartago, Costa Rica. Acta Médica Costarricense, 52 (2), 6.*
- Moreno, F. H., García, E. M., León, V. Q., & Arévalo, F. H. (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú Pollution by heavy metals in the Moche River Basin, 1980—2010, La Libertad—Perú. Scientia Agropecuaria, 15.*
- Muñoz, N. (2007, 24 de abril). *Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales, Universidad de Belgrano.*
- Najeeb, U., Ahmad, W., Zia, M.H., Zaffar, M. & Zhou, W. (2017). *Enhancing the lead phytostabilization in wetland plant Juncus effusus L. through somaclonal manipulation*

- and EDTA enrichment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: S3310–S3317.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.01.009>
- Navarro, F. (2005). *Contaminantes antropogénicos en las descargas de aguas residuales de Izúcar de Matamoros y Atlixco, Puebla. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, No 21. Sup. 1, 728 p.*
- Nedelkoska, T. V; Doran, P. M. (2000). *Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. Minerals engineer magazine. 30.*
- National Toxicology Program. Lead and lead compounds. [En línea] Report on Carcinogens. Background Documents & Public Comments for the Nominations to the 11th RoC (2004)
- Niño, M. Á. R., & Ramírez, M. Á. N. (2015). Análisis de metales pesados en suelos irrigados con agua del río Guatiquía. (Heavy Metal Analysis on Soils Irrigated with Water from the Guatiquía River.). *CIENCIA EN DESARROLLO*, 6(2), 167–176.
<https://doi.org/10.19053/01217488.3787>
- OEFA, (2004). Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental.
file:///C:/Users/Luz/Downloads/brochure-instrumentos-basicos-fisc-amb.pdf
- Ogundele, L.T., Owoade, O.K., Hopke, P.K. & Olise, F.S. (2017). *Heavy metals in industrially emitted particulate matter in Ile-Ife, Nigeria. Environmental Research*, 156: 320–325.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.051>
- Oliver, M.A. & Gregory, P.J. 2015. *Soil, food security and human health: a review: Soil, food security and human health. European Journal of Soil Science*, 66(2): 257–276.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12216>
- OMS. (2013) *Intoxicación por plomo y salud*. Organización Mundial de la Salud. Nota descriptiva N° 379. URL <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>. Recuperado el 16 de Julio de 2014.
- OMS (1997) *Guidelines for drinking-water quality*, 2nd ed. Vol. 3. Surveillance and control of community supplies. Ginebra, Organización Mundial de la Salud (: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/small-water-supplies-guidelines/en/)
- Orellana, E., Custodio, M., Bastos, M. C., & Cuadrado, W. (2019). Lead in Agricultural Soils and Cultivated Pastures Irrigated with River Water Contaminated by Mining Activity. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 20(n° 8).
<https://doi.org/10.12911/22998993/111715>
- Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-

- Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 161–168.
- Ortiz, H. et al., (2012). *Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas*. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 161-168.
- Palpán, R., & Augusto, E. (2015). Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco. *Repositorio de Tesis - UNMSM*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4449>
- Paredes, H. (2013). *La geodisponibilidad y biodisponibilidad de metales pesados en la actividad minera*.
- Pelaez, P. M., Casierra-Posada, F., & Torres R., G. A. (2014). Tóxicidad de cadmio y plomo en Pasto Tanner *Brachiaria arrecta*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 3. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.27>
- Pérez, P.E.; Azcona, M.I. (2012). *Los efectos del cadmio en la salud* *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 199-205 Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado México.
- Perronnet, K.; C. Schwartz; E. Gérard y J.L. Morel. (2000). *Availability of cadmium and zinc accumulated in the leaves of Thlaspi caerulescens incorporated into soil*. *Plant Soil* 227:257-263.
- Pineda, R. (2004). *Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (Helianthus Annuus L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina*. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima.
- Preguntas-frecuentes.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2020, de <http://www.minam.gob.pe/estandares-de-calidad-ambiental/wp-content/uploads/sites/146/2017/06/Preguntas-frecuentes.pdf>
- Prieto, J. et al., (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:29 - 44.
- Quian, J. et al., (1996). *Evaluation of plant availability of soil trace metals by chemical fractionation and multiple regression analysis*. *Environ. Pollut.* 91:309-315.
- Ramírez Gottfried, R. I., García Carrillo, M., Alvares Reyna, V. D. P., González Cervantes, G.,

- & Hernández Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1529–1540. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- Rascio, N. & Navari I. F. (2011). *Heavy metal hyperaccumulating plants: ¿How and why do they do it? And what makes them so interesting?* *Plant Sci.* 180:169 – 181. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016.
- Recines, C., & Carlos, E. (2019). Evaluación de la capacidad de asimilación y concentración de metales pesados utilizando *Beta vulgaris* var. Cicla para un proceso de restauración de suelo contaminado en la E.E.A Mantaro—Junín. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5511>
- Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR España). (2007). Cd: cadmio y compuestos. España. <http://www.prtr-es.es/Cd-Cadmio-y-compuestos,15605,11,2007.html>.
- Revista minería Chilena. (2013). *Los retos del Codelco. escribiendo la historia de la minería*, 167.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66– 77.
- Ríos, M. D., Orozco, Y. R., Pérez, J. T., Avitia, A. Y. C., Margez, J. F., & Contreras, L. E. (2016). Determinación de cadmio, cromo, plomo y arsénico en suelos superficiales urbanos de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Cultura Científica y Tecnológica*, 0(54). <http://148.210.132.19/ojs/index.php/culcyt/article/view/890>
- Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Ibrahim, M., Tsang, D.C.W., Zia-ur-Rehman, M., Zahir, Z.A., Rinklebe, J., Tack, F.M.G. & Ok, Y.S. 2017. *A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables*. *Chemosphere*, 182:90–105. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.013>
- Rodríguez, L. (2017). *Fitoremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo*. 114.
- Rodríguez, O. et al (2006). *Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29:239-245.
- Rodríguez, L. C. (s. f.-a). *Fitoremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo*. 114.
- Romero Zarazúa, María Fernanda (2005). *Evaluación de contaminantes metálicos dispersos en*

- una empresa metalmeccánica de Puebla y su posible relación con efectos toxicológicos.*
Tesis Doctoral. Universidad de las Américas Puebla. México. P. 1-55
- Rosa, C. et al (1999). *Use of plant tests in the evaluation of textile effluent toxicity.*
Ecotoxicology Environmental Research, 2:56-61
- Rosas, H. (2005) – *Contaminación de sedimentos del río Anoia por metales pesados (Barcelona – España).* *Investigación & Desarrollo*, N° 5, pag.75-89.
- Rubio C. (2009). *Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria. Evaluación toxicológica.* [Tesis de Grado]. España: Universidad de la Laguna.
- Rubio, C., Gutierrez A. J., Martín Izquierdo R.E., Reverté C., Lozano G. y Hardisson A.(2004). *El plomo como contaminante alimentario [En línea] Asociación Española de Toxicología. Revista de toxicología.* 21: 72-80.
- Rueda, G., Rodríguez, V., Jenny A, Madriñán, R. (2011). *Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia.* Bdigital Portal de revistas UN. Colombia; Vol.60 (N° 3).
- Rulknes, W. et al (1998). *Remediation of polluted soil and sediment: perspectives and failures.*
Water Sci. Technol. 37:27-35.
- Sánchez, H. & Reyes, C. (1998). *Metodología y diseños en la investigación científica.* Lima: Editorial Mantaro, pp. 14-15. [Barriga, C., 1974; Piscocoya, L. 1982].
- Sánchez, S, Chávez, J, Lucio, L. (s. f.) *Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca. Grufides.* [Revista on-line] 2015 [Consultado 12 de diciembre del 2017]; 1(54).
Disponible en: [http:// www.grufides.org/documentos/pasivos- ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez- Laura](http://www.grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-Laura).
- Sancho, A., & Nilo, S. (2017). *Suelos contaminados con plomo en la ciudad de La Oroya— Junín y su impacto en la calidad del agua del río Mantaro.* *Repositorio de Tesis - UNMSM.* <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/6718>
- Sanín, L. et al (1998). *Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud.* *Salud Pública de México*, 40(4). Available at: [http://www.redalyc.org/ articulo.oa?id=10640409](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10640409). DOI: [http://dx.doi.org/10.1590/S0036- 36341998000400009](http://dx.doi.org/10.1590/S0036-36341998000400009)
- Seneviratne, M., Vithanage, M., & Lanka, S. (2015). *The Role of Siderophores on Plants under Heavy Metal Stress: A View from the Rhizosphere.* *Journal of Botanical Sciences*, 4(3), 23–29.
- Significado y definición de significativamente, etimología de significativamente. (s. f.).

- Recuperado 15 de junio de 2020, de <https://definiciona.com/significativamente/>
- Singh, P. K., & Tewari, R. K. (2003). *Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants. Journal of Environmental Biology*, 24(1), 107- 112.
- Spain, A. (2003). *Implications Of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. Reviews In Undergraduate Research*, 2:1-6.
- Tlustos, P. et al., (2006). *Capacidad de plantas de acumulación de elementos potencialmente tóxicos. Em Fitorremediación de suelos contaminados con metales*, Ed. Saltador.
- Tóth, G; Hermann, T.; Da Silva, M.; Montana-Rella, L. (2016). *Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. Environ. Int.* 88:299-309. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>
- Wang, G., Su, M.-Y., Chen, Y.-H., Lin, F.-F., Luo, D., & Gao, S.-F. (2006). Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*, 144(1), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.023>
- Wang, G. et al., (2013). *Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. Environmental Pollution*, 144(1), 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.023>
- Weibel, L., (2009). *Caracterización Mineralógica y Ambiental de Lastres y Mineralizados de baja Ley, Yacimiento Río Blanco, División Andina, Codelco-Chile.*
- WHO, (1992). *Arsenic and Arsenic Compounds. Environmental Health Criteria* 224. WHO (1995). *Inorganic lead. Environmental health criteria* 165.
- Williamson, N. et al (1982). *Desechos de minas, Recuperación. Libros de revistas de minería.* Londres. P. 103
- Wong, H. (2003). *Restauración ecológica de suelos minados degradados, con énfasis en suelos contaminados con metales.* Quimiosfera.
- Zhan, F., Qin, L., Guo, X., Tan, J., Liu, N., Zu, Y., & Li, Y. (2016). Cadmium and lead accumulation and low-molecular-weight organic acids secreted by roots in an intercropping of a cadmium accumulator *Sonchus asper* L. with *Vicia faba* L. *RSC Advances*, 6(40), 33240–33248. <https://doi.org/10.1039/C5RA26601G>
- Zurera, G. et al (1987). *Lead and cadmium contamination levels in edible vegetables. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(5), pp.805–812. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01616705>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN: “PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN AGUA, SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN PASTOS NATURALES DE LAS BOCAMINAS SAN ANTONIO Y TANGANA DE LA COMUNIDAD DE HUACHOCOLPA – HUANCVELICA-2018”.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología De La Investigación
General	General	General	Variable 1	Tipo de investigación: Básica
¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y en qué concentración se acumuló en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?	Determinar la concentración de cadmio y plomo en agua y suelo y la concentración de acumulación en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.	La concentración de cadmio y plomo en agua y suelo se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.	Concentración de cadmio y plomo en agua y suelo	<p>Nivel de investigación: Descriptivo- correlacional</p> <p>Método de investigación: No experimental- analítico</p> <p>Diseño de investigación: Longitudinal-correlacional</p>
Específicos	Específicos	Específicos	Variable 2	Dónde:
a. ¿Cuánto es la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018?	a. Determinar la concentración de cadmio y plomo en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.	a. La concentración de cadmio y plomo está por encima de los Estándares de Calidad Ambiental en agua de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de	Acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales	<p>M = Muestra tomada</p> <p>T1, T2, T3 = Tiempos</p> <p>O1, O2, O3= Observaciones</p> $M = \frac{T1}{O1} \frac{T2}{O2} \frac{T3}{O3}$
				Donde:

<p>b. ¿Cuánto es la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica- 2018?</p>	<p>b. Determinar la concentración de cadmio y plomo en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.</p>	<p>Huachocolpa-Huancavelica-2018. b. La concentración de cadmio y plomo no está por encima de los Estándares de Calidad Ambiental en suelo de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.</p>	<p>M = muestra de agua, suelo y pastos naturales V.I. = Variable 1 (Concentración de Cd y Pb en agua y suelo) V.D. = Variable 2 (Acumulación de Cd y Pb en pastos naturales)</p>
<p>c. ¿Cuánto es la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica- 2018?</p>	<p>c. Determinar la concentración de acumulación de cadmio y plomo en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.</p>	<p>c. La concentración de cadmio y plomo se acumuló significativamente en pastos naturales de las bocaminas San Antonio y Tangana de la comunidad de Huachocolpa-Huancavelica-2018.</p>	<p>- Población: La población a estudiar son las bocaminas de la Comunidad de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica.</p> <p>- Muestra: Para fines del desarrollo del presente estudio se consideró como muestra las bocaminas San Antonio y Tangana.</p> <p>Un litro de agua Un kilogramo de suelo. Un kilogramo de pasto.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49

Resultados de concentración de cadmio y plomo en muestras de agua y pasto mullaca y huacchor en la bocamina Tangana

AGUA.TANGANA Cd mg/L	MULLACA TANGANA Cd mg/kg	HUACCHOR TANGANA Cd mg/kg	AGUA- TANGANA Pb mg/L	MULLACA TANGANA Pb mg/kg	HUACCHOR TAMGANA Pb mg/kg
0.0042	0.0004	0.1452	0.0488	0.0492	0.002
0.0276	0.1005	0.32	0.0506	0.0375	0.0016
0.0396	0.1001	0.2965	0.0784	0.2946	0.0014
0.0389	0.3114	0.0871	0.0567	0.2982	0.0871
0.0522	0.2982	0.1145	0.0632	0.3114	0.1145
0.0565	0.3241	0.1256	0.0543	0.214	0.0912
0.0627	0.3456	0.0789	0.0478	0.2768	0.0767
0.0687	0.2756	0.1235	0.0673	0.3214	0.1221
0.0589	0.2987	0.1287	0.0578	0.2431	0.0123

Tabla 50

Resultado de concentración de cadmio y plomo en muestras de agua y pasto crespillo y estrella en la bocamina San Antonio

AGUA SAN ANTONIO Cd mg/L	CRESPILLO SAN ANTONIO Cd mg/kg	ESTRELLA SAN ANTONIO Cd mg/kg	AGUA SAN ANTONIO Pb mg/L	CRESPILLO SAN ANTONIO Pb mg/kg	ESTRELLA SAN ANTONIO Pb mg/kg
0.034	0.124	0.5001	0.0292	7.4356	0.1996
0.1231	0.1002	0.1003	0.3193	6.8972	0.2999
0.0417	0.163	0.2123.	0.2158	8.2345	0.3232
0.122	8.1303	0.6534	0.1767	8.1303	0.3521
0.0333	7.0504	0.2567	0.2945	7.0504	0.2678
0.0408	8.0025	0.3457	0.2875	6.9541	0.3674
0.1482	8.6534	0.7211	0.1767	8.4567	0.3452
0.0216	7.9456	0.5789	0.2945	7.6523	0.2785
0.1431	7.9765	0.4782	0.2875	8.4962	0.3568

Tabla 51

Resultado de concentración de cadmio y plomo en muestras de suelo y pasto mullaca y huacchor en la bocamina Tangana

SUELO TANGANA	MULLACA TANGANA	HUACCHOR TANGANA	SUELO TANGANA	MULLACA TANGANA	HUACCHOR TANGANA
Cd mg/kg	Cd mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Pb mg/kg	Pb mg/kg
0.0082	0.0004	0.1452	1.2365	0.0492	0.002
0.0075	0.1005	0.32	0.9563	0.0375	0.0016
0.0095	0.1001	0.2965	0.9562	0.2946	0.0014
0.0163	0.3114	0.0871	2.1542	0.2982	0.0871
0.0302	0.2982	0.1145	2.1661	0.3114	0.1145
0.0155	0.3241	0.1256	2.8083	0.214	0.0912
0.0736	0.3456	0.0789	8.5121	0.2768	0.0767
0.0715	0.2756	0.1235	7.5121	0.3214	0.1221
0.0103	0.2987	0.1287	8.8008	0.2431	0.0123

Tabla 52

Resultado de concentraciones de cadmio y plomo en muestras de suelo y pasto crespillo y estrella en la bocamina San Antonio

SUELO SAN ANTONIO	CRESPILLO SAN ANTONIO	ESTRELLA SAN ANTONIO	SUELO SAN ANTONIO	CRESPILLO SAN ANTONIO	ESTRELLA SAN ANTONIO
Cd mg/kg	Cd mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Pb mg/kg	Pb mg/kg
2.0004	0.124	0.5001	2.9334	7.4356	0.1996
1.8945	0.1002	0.1003	4.1747	6.8972	0.2999
1.5624	0.163	0.2123	5.1719	8.2345	0.3232
0.9591	8.1303	0.6534	5.8923	8.1303	0.3521
0.6869	7.0504	0.2567	4.923	7.0504	0.2678
0.7	8.0025	0.3457	4.0004	6.9541	0.3674
0.8679	8.6534	0.7211	5.1334	8.4567	0.3452
1.3458	7.9456	0.5789	4.1747	7.6523	0.2785
2.6432	7.9765	0.4782	3.1719	8.4962	0.3568

Tabla 53

Correlaciones de concentraciones de plomo de muestras de agua con pasto mullaca y huacchor de la bocamina Tangana

		AguaPb	mullacaPb	huacchorPb
AguaPb	Correlación de Pearson	1	,579	,085
	Sig. (bilateral)		,102	,829
	N	9	9	9
MullacaPb	Correlación de Pearson	,579	1	,431
	Sig. (bilateral)	,102		,247
	N	9	9	9
HuacchorPb	Correlación de Pearson	,085	,431	1
	Sig. (bilateral)	,829	,247	
	N	9	9	9

Tabla 54

Correlaciones de concentraciones de cadmio de muestras de agua con pasto crespillo y estrella de la bocamina San Antonio

		AguaSA_Cd	crespilloSA_Cd	estrellaSA_Cd
AguaSA_Cd	Correlación de Pearson	1	,135	-,012
	Sig. (bilateral)		,729	,975
	N	9	9	9
CrespilloSA_Cd	Correlación de Pearson	,135	1	,609
	Sig. (bilateral)	,729		,082
	N	9	9	9
EstrellaSA_Cd	Correlación de Pearson	-,012	,609	1
	Sig. (bilateral)	,975	,082	
	N	9	9	9

Tabla 55

Correlaciones de concentraciones de plomo de muestras de agua con pasto crespillo y estrella de la bocamina San Antonio

		Agua_SA_Pb	CrespiPb	EstrellaPb
Agua_SA_Pa	Correlación de Pearson	1	-,273	,449
	Sig. (bilateral)		,478	,225
	N	9	9	9
CresPb	Correlación de Pearson	-,273	1	,398
	Sig. (bilateral)	,478		,289
	N	9	9	9
EstrellaPb	Correlación de Pearson	,449	,398	1
	Sig. (bilateral)	,225	,289	
	N	9	9	9

Tabla 56

Correlaciones de concentraciones de plomo de muestras de suelo con pasto mullaca y huacchor de la bocamina Tangana

		SueloT_Pb	mullacaT_Pb	huacchorTPb
SueloT_Pb	Correlación de Pearson	1	,413	,285
	Sig. (bilateral)		,269	,457
	N	9	9	9
MullacaT_Pb	Correlación de Pearson	,413	1	,431
	Sig. (bilateral)	,269		,247
	N	9	9	9
HuacchorT_Pb	Correlación de Pearson	,285	,431	1
	Sig. (bilateral)	,457	,247	
	N	9	9	9

Tabla 57

Correlaciones de concentraciones de cadmio de muestras de suelo con pasto crespillo y estrella de la bocamina San Antonio

		Suelo SA_Cd	cresSA Cd	estSACd
SueloSA_Cd	Correlación de Pearson	1	-,452	-,088
	Sig. (bilateral)		,222	,823
	N	9	9	9
CresSACd11	Correlación de Pearson	-,452	1	,609
	Sig. (bilateral)	,222		,082
	N	9	9	9
EstSACd	Correlación de Pearson	-,088	,609	1
	Sig. (bilateral)	,823	,082	
	N	9	9	9

Tabla 58

Correlaciones de concentraciones de plomo de muestras de suelo con pasto crespillo y estrella de la bocamina San Antonio

		SsueloSA_Pb	crespiSA Pb	estreSA_Pb
SueloSA_Pb	Correlación de Pearson	1	,489	,511
	Sig. (bilateral)		,181	,160
	N	9	9	9
CrespilloSA_Pb	Correlación de Pearson	,489	1	,398
	Sig. (bilateral)	,181		,289
	N	9	9	9
EstrellaSA_Pb	Correlación de Pearson	,511	,398	1
	Sig. (bilateral)	,160	,289	
	N	9	9	9

Anexo 2: Protocolo de Análisis de plantas por Absorción Atómica

	I PROTOCOLO ANÁLISIS DE PLANTAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA		
	ÁREA: LABORATORIO DE QUÍMICA	VERSIÓN: 01	
	CÓDIGO: P-AP-UNH-FIMCA-EPIM- LQ-001	PÁGINAS: 4	

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento para el análisis de metales pesados en plantas.

2. IMPLEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

- Guantes de nitrilo
- Cofia
- Respirador bucal
- Guardapolvo
- Lentes
- Protector de oídos

3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS:

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none">- Bloque digestor- Campana extractora- Espectrofotómetro de Absorción Atómica- Sistema Purificador de Agua- GPS- Horno mufla- Molino- Estufa de convección forzada	<ul style="list-style-type: none">- Vasos precipitados de 50ml, 100ml, 250ml- Tubos de digestión- Pipetas volumétricas de 1ml, 2ml, 5ml- Peras de goma- Fiolas de 50ml- Pizetas- Crisoles- Lunas de reloj- Espátulas	<ul style="list-style-type: none">- HNO₃- HCL

4. MUESTREO EN CAMPO:

- **Reconocimiento de la zona:** La selección, localización y preparación de los lugares de muestreo depende de los objetivos de la investigación, de las informaciones previas y de las condiciones de la propia zona a muestrear.
- **Cubicación del lugar:** Los puntos de muestreo se deben localizar con exactitud e identificar perfectamente, por si fuera necesario repetir el muestreo, para reseñar los datos en los mapas con precisión y para permitir conservar y procesar datos mediante ordenador.
- **Procedimiento:** Para extraer las muestras superficiales se realiza haciendo una pequeña excavación en forma de cono con el pico y la pala a la profundidad deseada, tomando la parte central de la excavación que se coloca en una bolsa de plástico limpia.
- **Cantidad:** No debe ser inferior a 500 g y es más recomendable una muestra de 1kg.
- **Identificación:** Las muestras que llegan al Laboratorio deben estar correctamente identificadas, para ello se debe colocar la siguiente tarjeta de identificación en las bolsas:

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA <small>(Creada por Ley N° 65)</small> FACULTAD DE INGENIERIAS CIVIL AMBIENTAL ESCUELA DE INGENIERIA DE			
LA PROFESIONAL DE LABORATORIO DE QUIMICA MUESTRA DE PLANTAS PARA					
NOMBRE DE LA			FECHA:		
PUNTO DE MUESTREO:					
NORTE		ESTE:			
RESPONSABLE					

5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS:

5.1. Pre – deshidratación (muestra seca al aire, MSA).

- Precauciones de Seguridad.

Es obligatorio el uso de Equipos de Protección Individual: guarda polvo, guantes de nitrilo, guantes de asbesto, mascarilla, pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria, etc.

La planta fresca se guarda en bolsa de papel que debe estar debidamente rotulado, se somete a la estufa de convección forzada a una temperatura de 65°C hasta 105°C durante 48 horas.

5.2. Muestras en proceso de molido.

Seguidamente se muele el forraje seco entre 1 mm a 2 mm de diámetro con el molino tipo Wiley, después colocarlos en el mismo sobre o frasco con tapa para análisis posteriores.

5.3. Proceso de incineración de las plantas.

Muestras en proceso de ceniza:

Para determinar la ceniza de las muestras se empleó el método de incineración, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Pesar 5 g de muestra en un crisol de porcelana.
- Colocar en el horno mufla durante 5 horas a 600 °C, que estará listo para el proceso de digestión.

5.4. Proceso de digestión de las muestras:

- Lave las cenizas del crisol con un total de 40 ml de solución de ácido clorhídrico de concentración 1:3 (HCL: H₂O), (lave el crisol, 2 veces usando 2 porciones de 10 ml del ácido cada vez, y lave una tercera vez usando los restantes 20 ml). Vacíe el contenido de los lavados en un vaso de precipitados de 100 ml con tapa de luna de reloj, agregar 5 gotas de ácido nítrico concentrado y calentar hasta hervir por 5 minutos en HOT PLATEE o plancha de calentar.
- Dejar enfriar el vaso precipitado con muestra digerida, hasta que sea manipulable.
- Transfiera el contenido del vaso de precipitados a un matraz volumétrico de 100

ml, lave los residuos del vaso 3 veces con agua destilada (usando 15 ml cada vez) depositando los lavados en el matraz volumétrico.

- Afore el matraz volumétrico hasta 100 ml usando agua destilada. Deje enfriar y en caso de que sea necesario vuelva a aforarlo con agua destilada.
- Filtre el contenido del matraz de 100 ml a un matraz de 200 ml, utilice un embudo de vidrio sobre el cual se haya colocado un papel filtro Whatman N° 40.

5.5. Lectura y cálculo por absorción atómica

5.5.1. Preparación de los estándares:

- Preparar los estándares para la curva de calibración.

5.5.2. Optimización de equipo:

- Optimizar el equipo de acuerdo a los elementos a analizar (lámpara, quemador, curva de calibración).
- Ver las presiones de gases (acetileno, óxido nitroso).

5.5.3. Cálculo de resultados:

Concentración de planta en ppm:

$$\text{ppm} = \frac{\text{Lectura (mg/l)} \times \text{volumen de aforo (ml)}}{\text{W(Peso) muestra}}$$
$$\% = \text{ppm} / 10000$$

Elaborado Por:

Revisado Por:

Aprobado Por:

Responsable De Laboratorio
Ing. Jeny M. Asto Gonzales

Jefe De Laboratorio
Msc. Luz M. Acharte
Lume

Responsable Del Comité De
Seguridad Química De La
UNH
Msc. Luz M. Acharte Lume

Fecha de Elaboración:
15/01/2018

Fecha de Revisión:
15/01/2018

Fecha de Aprobación:
15/01/2018

Anexo 3: Protocolo de Análisis de suelo por Absorción Atómica

	II PROTOCOLO ANÁLISIS DE SUELO POR ABSORCIÓN ATÓMICA	
ÁREA: LABORATORIO DE QUÍMICA		VERSIÓN: 01
CÓDIGO: P-AS-UNH-FIMCA-EPIM-LQ-002		PÁGINAS: 4

1. FUNDAMENTO:

Este método se ha escrito para proporcionar los procedimientos de digestión separados, para la preparación de sedimentos, lodos y muestras de suelo para su análisis por Espectrofotómetro de Absorción Atómica de llama (EAA).

2. IMPLEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

- Guantes de nitrilo
- Cofia
- Respirador bucal
- Protector de oído
- Guardapolvo
- Lentes

3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS:

Equipos	Materiales	Reactivos
Horno mufla	Lunas de reloj	HCL (C)
Espectrofotómetro de absorción atómica	Fioles de 50ml, 100ml Pipetas volumétricas de 2ml, 2ml, 5ml y 10 ml	HNO ₃ (C) Acetileno Óxido nitroso
Sistema purificador de agua	Probetas 10ml, 20ml	Materiales de referencia certificado MRC
Cuartheador	Espátula	
Tamizador Rop Tap	Tubos de digestión de vidrio	
Balanza analítica		
Bloque digestor		
Campana extractora		

4. CONTROL DE CALIDAD:

- Blanco de proceso
- Triplicado de muestras (3 muestras)
- Materiales de referencia certificado MRC

5. PROCEDIMIENTO:

5.1. Toma de muestras (muestreo)

La toma de muestra se realiza en campo.

- El muestreo debe ser a una profundidad de 20 cm, con un peso de 1000 g. y depositar la muestra en un envase debidamente rotulado.
- La fórmula para la recolección de muestras será de acuerdo a la Guía para muestreo de suelo en el marco del Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, siendo lo siguiente:

$$NPM = 18 + 2.34 * A$$

Donde:

NPM = Número de puntos de muestreo
 A = Superficie en hectáreas

- Las muestras que llegan al Laboratorio deben estar correctamente identificadas, para ello se debe colocar la siguiente tarjeta de identificación en las bolsas:

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA (Creada por Ley N° 252 65)	C 
FACULTAD DE INGENIERIAS CIVILES Y AMBIENTALES		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL	
LABORATORIO DE QUIMICA MINAS			
MUESTRA DE SEDIMENTOS, SUELOS Y LODOS PARA			
NOMBRE DE LA MUESTRA:		FECHA:	
PUNTO DE MUESTREO:			
NORTE:			ESTE:
RESPONSABLE:			

6. ANÁLISIS POR ABSORCIÓN ATÓMICA:

6.1. Preparación mecánica de muestras

6.1.1. Preparación de la muestra:

- Identificación de muestra (1 kilo)
- Codificación en el laboratorio

6.1.2. Secado:

- Secar la muestra a una temperatura de 105°C, en un tiempo de 5 a 6 horas.
- Para muestras de As y Hg secar a 60°C.

6.2. Preparación para análisis

6.2.1. Pesado:

- Pesar la muestra de 0.5 a 1 gramo, previamente homogenizado, anotar el peso.
- Trasvasar la muestra en un tubo de digestión de vidrio de 50 ml.

6.2.2. Digestión (Cu, Pb, Zn): al 10% HCL

- Adicionar 4 ml de HNO₃ concentrado, por las paredes del tubo
- Colocar en tubo de digestión a 120 °C, hasta la eliminación de vapores nitrosos.
- Enfriar y adicionar 12 ml de HCl
- Colocar en el bloque digestor T°= 130°C (evaporar todo el ácido), hasta ver un estado pastoso.
- Adicionar 5ml de HCl para minerales (Cd, Cu, Pb)
- **OJO: Para análisis de plata adicionar 12.5 ml HCl (c)**
- Calentar para disolver sales x 5 minutos a una T° C= 105° a 120°C
- Retirar / enfriar /aforar con agua ultrapura en fiola
- Dejar sedimentar y filtrar para hacer la lectura en EAA.

6.3. Lectura y cálculo por absorción atómica

6.3.1. Preparación de los estándares:

- Preparar los estándares para la curva de calibración

- Para minerales de Cd, Cu, Pb se prepara al 10% HCL (c)
- Para minerales de Ag se prepara al 25 % HCL (c)

6.3.2. Optimización de equipo:

- Optimizar el equipo de acuerdo a los elementos a analizar (lámpara, quemador, curva de calibración)
- Ver las presiones de gases (acetileno, óxido nitroso)

6.3.3. Cálculo de resultados:

Concentración de un metal en ppm:

$$\text{ppm} = \frac{\text{Lectura (mg/l)} \times \text{volumen de aforo (ml)}}{\text{W(Peso) muestra}}$$

$$\% = \text{ppm} / 10000$$

Elaborado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Responsable De Laboratorio Ing. Jeny M. Asto Gonzales	Jefe De Laboratorio Msc. Luz M. Acharte Lume	Responsable Del Comité De Seguridad Química De La UNH Msc. Luz M. Acharte Lume
Fecha De Elaboración: 15/01/2018	Fecha De Revisión: 15/01/2018	Fecha De Aprobación: 15/01/2018

Anexo 4: Protocolo de Análisis de agua por Absorción Atómica

	III PROTOCOLO ANÁLISIS DE AGUA POR ABSORCIÓN ATÓMICA			
	ÁREA: LABORATORIO DE QUÍMICA	VERSIÓN: 01		
	CÓDIGO: P-AA-UNH-FIMCA-EPIM- LQ-001	PÁGINAS: 3		

1. INTRODUCCIÓN:

La presencia de los metales en aguas potables, aguas servidas, efluentes industriales y aguas receptoras es materia de gran importancia debido a las propiedades tóxicas de estos elementos. Los metales pueden afectar adversamente a los consumidores del agua, a los sistemas de tratamiento y a los sistemas biológicos de los cuerpos de agua. Los metales pesados pueden determinarse satisfactoriamente por absorción atómica, ya que es método preferible por su rapidez y porque evita el empleo de técnicas tediosas de separación para la eliminación de interferencias de otros metales.

2. IMPLEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

- Guantes de nitrilo
- Cofia
- Respirador bucal
- Guardapolvo
- Lentes
- Tapones de oído

3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS:

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
- Bloque digestor	- Envase de 1 litro de polietileno	- HNO ₃ al 50 % (1:1)
- Campana extractora	- Tubos de digestión	- HCL al 50 % (1:1)
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica	- Pipetas volumétricas de 1ml, 2ml, 5ml	
- Sistema Purificador de Agua	- Peras de goma	
- GPS	- Fiolas de 50ml	
- PHmetros digitales	- Pizetas	
- Termómetros digitales		

4. PROCEDIMIENTO:

4.1. Antes del muestreo:

- El envase debe estar debidamente rotulado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYEL		FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL	
LABORATORIO DE QUIMICA MUESTRA DE SEDIMENTO PARA			
PUNTO DE MUESTREO AMBIENTAL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA			
NORTE		ESTE:	
RESPONSABLE			

- Preparar el ácido HNO_3 al 50 % (1:1) para estandarizar.



4.2. Durante el muestreo

- Enjuagar 3 veces el envase con la muestra de agua que va tomar
- Tomar 1 litro de muestra de agua en envase de polietileno a la mitad de la profundidad de la fuente de muestreo.
- Adicionar 3 ml de HNO_3 al 50 % (1:1), para estandarizar.
- Medir el pH y la temperatura.



4.3. Después del muestreo

- Llevar al laboratorio las muestras dentro de un cooler.

5. PROCESO DE DIGESTIÓN:

- Tomar 50 ml de muestra (agitada)
- Trasvasar a tubo de 50 ml
- Adicionar ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico
(HCL) (HNO_3) 2 ml (1:1)
(HCL) 1 ml (1:1)
- Colocar en el bloque digestor $T^\circ = 85^\circ / 240$ minutos
- Retirar en frío, enraizar con agua ultra pura (50ml)
- Tapar / agitar

- Analizar con el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica

6. RESULTADOS:

$$X_{ppm} = \frac{\text{Lec. AA} \times V. \text{ de aforo}}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \times Fd$$

Dónde:

- **Lec. AA** : Lectura del Equipo de absorción atómica
- **V. de aforo**: Volumen de aforo
- **Fd** : Factor de dilución

Elaborado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Responsable De Laboratorio Ing. Jeny M. Asto Gonzales	Jefe De Laboratorio Msc. Luz M. Acharte Lume	Responsable Del Comité De Seguridad Química De La UNH Msc. Luz M. Acharte Lume
Fecha De Elaboración: 15/01/2018	Fecha De Revisión: 15/01/2018	Fecha De Aprobación: 15/01/2018

Anexo 5: Protocolo del equipo de Absorción Atómica (EAA)

	IV PROTOCOLO DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA) PROCEDIMIENTO DEL ENCENDIDO, CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRA		
	ÁREA: LABORATORIO DE QUÍMICA	VERSIÓN: 01	
	CÓDIGO: P-PEAA-UNH-FIMCA-EPIM-LQ-005	PÁGINAS: 4	

1. FUNDAMENTO:

Es un método instrumental capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la tabla periódica.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS:

Está fundamentada en tres grandes conceptos:

- Todos los átomos pueden absorber luz.
- La longitud de onda a la cual la luz absorbe es específica para cada elemento.
- La cantidad de la luz absorbida es proporcional a la concentración de átomos absorbentes.

3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR LLAMA:

- La muestra líquida que contiene el metal disuelto, es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma pequeñas gotas de líquido (niebla).
- Estas gotas son conducidas a una llama, donde se produce la solvatación en el que se evapora el disolvente hasta producir un aerosol molecular sólido finamente dividido.

- Luego la disociación de la mayoría de estas moléculas produce un gas que originan la formación de átomos.

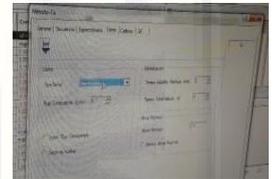
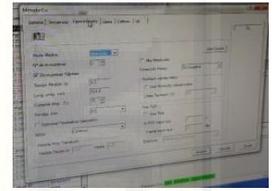
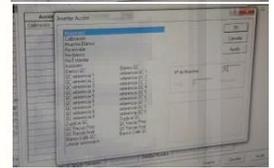
4. ENCENDIDO DEL EQUIPO EAA:

4.1. Optimización del equipo

Enchufar el transformador

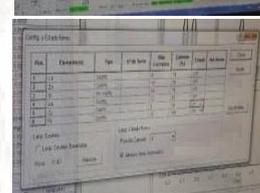
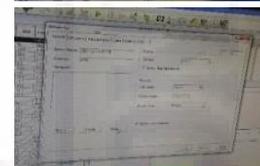
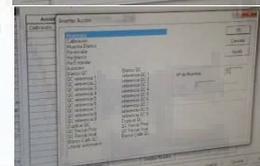
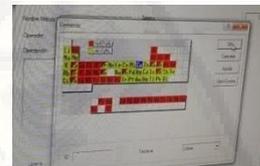
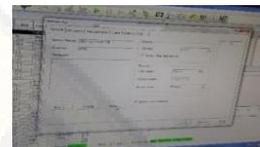
- Subir las cuchillas de carga no estabilizada, entrada del transformador, entrada de UPC, PVSS, BYPASS, carga 1, (ICE 3500) y carga 2 (CPU), del tablero de control.
- Luego presionar el botón ON del UPC hasta que tenga un sonido como un CLIK
- Prender el equipo de absorción atómica (en el lado derecho) POWER SWITCH
- Prender el CPU
- Verificar la presión de gases
 - Presión de aire 30 PSI
 - Presión de acetileno 9 PSI
 - Presión de N₂O 40 PSI
 - Presión de argón 16-17 PSI

Activar con doble click el software “SOLAR” del CPU



4.2. Pasos para crear MÉTODO

- Mostrar MÉTODO, crear método
- Ir a **NUEVO** y seleccionar el elemento químico.
- Ir a **SECUENCIA**, en acción debe ir “calibración”, debajo poner el N° de muestras, para ello hacer CLICK para insertar acción, luego poner el número de muestras.
- Ir a **ESPECTRO**
- **NOTA:** ver el tiempo de medida =2s
- **Verificar:** en el “libro de cocina” la longitud de onda
- Ir a **LLAMA**
- **NOTA:** ver el tiempo de nebuluz= 2s
- Ir a **CALIBRACIÓN**
- Alimentar el cuadro de estándares
- Ir a **LÁMPARA** y activar los elementos que se va a trabajar, luego verificar en el equipo que esté prendida la lámpara del elemento.
- Ir a **CONFIGURACIÓN ÓPTICA**
 - Ver en el equipo que busca la posición de la lámpara y también busca la longitud de onda, después que termina de operar, los íconos se activan.
 - Activar los botones de encendido del compresor de aire, extractor de gases y óxido nitroso.
- **NOTA:** siempre activar el compresor de aire y el extractor de gases.
- Encender la **LLAMA** del equipo en el botón 
- Ir a **AUTOCERO**, esperar que se activen los íconos
- Verificar la **ABSORVANCIA**
- Con $5\text{PPM Cu A} \geq 0.5$
- Ir a **ANALIZAR**
 - poner el nombre del análisis
 - aspirar agua o aire



- aspirar blanco
- aspirar estándar 1
- aspirar estándar 2
- aspirar estándar 3
- Después de todo esto, analizar las muestras y seguir la secuencia hasta llegar a la última muestra y poner **PARAR**

Elaborado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Responsable De Laboratorio Ing. Jeny M. Asto Gonzales	Jefe De Laboratorio Msc. Luz M. Acharte Lume	Responsable Del Comité De Seguridad Química De La UNH Msc. Luz M. Acharte Lume
Fecha De Elaboración: 15/01/2018	Fecha De Revisión: 15/01/2018	Fecha De Aprobación: 15/01/2018