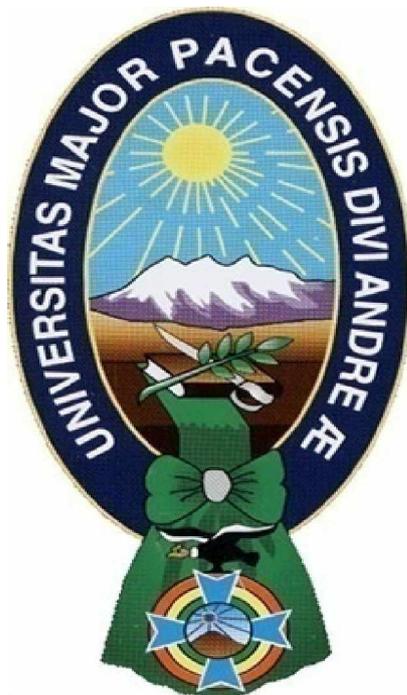


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACION DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS
AGRICOLAS Y CULTIVOS EN TRES MICRO-CUENCAS DEL MUNICIPIO DE
POOPÓ**

LOURDES JANNETH CHAMBI PARISACA

La Paz – Bolivia

2010

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**“EVALUACION DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS
AGRICOLAS Y CULTIVOS EN TRES MICRO-CUENCAS DEL MUNICIPIO DE
POOPO”**

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

LOURDES JANNETH CHAMBI PARISACA

Asesor (es):

Ing. Ph.D. Vladimir Orsag Céspedes

Ing. M.Sc. Hugo Bosque Sánchez

Lic. Amalia Niura Zurita

Tribunal Examinador:

Ing. Roberto Miranda Casas

Ing. Fredy Navia Dávalos

Ing. René Calatayud Valdez

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador:

2010

DEDICATORIA

A la conclusión del presente trabajo deseo dedicar al supremo Dios por darme el privilegio de vivir, a mi señor padre Juan Chambi y a mi señora madre Lorenza Parisaca, por ser parte de mi lucha, por todo el apoyo brindado y la confianza depositada. También dirigido a mis hermanos Milton, Oscar y Yojhan por el amor, cariño y comprensión que me brindan siempre.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a la Universidad Mayor de San Andrés, y en particular a la Facultad de Agronomía donde se forjan miles de recursos humanos con el único fin de superarse y servir a su país.

Al Ing. Ph.D. Vladimir Orsag, por la orientación y entusiasmo desinteresado que mostró siempre, a la Lic. Amalia Niura y al Ing. Hugo Bosque por los consejos brindados y la colaboración versátil expuesta, para la realización del presente trabajo.

A los tribunales revisores Ing. Roberto Miranda, Ing. Fredy Navia y Ing. René Calatayud quienes con sus sugerencias y aclaraciones participaron en la elaboración del presente trabajo.

Un agradecimiento profundo al Proyecto CAMINAR (Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America) International Cooperation Programme y al Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), quienes hicieron realidad el presente trabajo con la financiación de la investigación.

Al Lic. Jorge Quintanilla y al Lic. Oswaldo Ramos por sus consejos brindados y colaboración desinteresada, a mis amig@s Fanny Arragan, Efrain Blanco, Liliana Flores, Magiver Pilco, Julia Chura, Estanislao Tumiri, Braulio Calle, Victor Hilari, Martha Villalobos, Daniel Alanes que me colaboraron para el desarrollo de este trabajo.

Al Municipio de Poopó quien participo de manera activa para colaborar con las investigaciones realizadas en el presente trabajo.

A Dios, quien es el fajador de paz, tranquilidad y luz en la vida de las personas. Y en especial a todos mis amigos y compañeros de la facultad.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|---------------|
| CONTENIDO | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | viii |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xii |
| RESUMEN | xiii |
| SUMARY | xv |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 Definición de Metal Pesado | 3 |
| 2.1.1 Arsénico (As) | 3 |
| 2.1.2 Plomo (Pb) | 4 |
| 2.1.3 Cadmio (Cd) | 5 |
| 2.1.4 Zinc (Zn) | 7 |
| 2.2 Metales Pesados en el Suelo | 7 |
| 2.2.1 Dinámica de los Metales Pesados en el Suelo | 8 |
| 2.2.2 Factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de metales pesados | 9 |
| 2.3 Metales Pesados en la Vegetación | 11 |
| 2.3.1 Consecuencia de Metales Pesados en las Plantas | 12 |
| 2.4 La Bioacumulación | 12 |
| 2.5 Límite Permisible | 13 |
| 2.6 Antecedentes de Contaminación | 13 |
| 2.6.1 Contaminación de las Aguas en el Altiplano Boliviano | 13 |
| 2.6.2 Monitoreo Hidroquímico Ambiental 2007- 2008 en el Municipio de Poopó "Proyecto CAMINAR" | 13 |
| 2.7 Información sobre la situación minera en el municipio de Poopó- elaborado por la fundación MEDMIN-2006 | 14 |
| 2.7.1 Descripción de la minas en operación | 14 |
| 2.7.2 Descripción de las minas abandonadas | 17 |
| 3. LOCALIZACIÓN | 18 |
| 3.1 Ubicación Geográfica | 18 |
| 3.2 Ecología del Municipio | 20 |
| 3.2.1 Ecosistema. | 20 |
| 3.3. Fisiografía y Geología del Municipio | 21 |
| 3.3.1. Mineralogía | 21 |
| 3.4. Aspectos económicos productivos | 22 |
| 3.4.1. Sistema de producción agrícola | 22 |
| 3.4.2. Destino de la producción agrícola | 22 |
| 3.5. Descripción de las principales microcuencas del municipio de Poopó | 23 |
| 3.5.1. Microcuenca Venta y Media (P1) | 23 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.5.3. | Microcuenca Coriviri (P2) | 23 |
| 3.5.2. | Microcuenca Poopó (P3) | 23 |
| 4. | MATERIALES Y MÉTODOS | 24 |
| 4.1 | Materiales | 24 |
| 4.1.1 | Material de gabinete | 24 |
| 4.1.2 | Material de Campo | 24 |
| 4.1.2.1 | Material de muestreo de suelos y productos agrícolas | 24 |
| 4.1.3 | Material de Laboratorio | 24 |
| 4.1.3.1 | Materiales del Procedimiento Experimental | 24 |
| 4.1.3.2 | Equipos | 25 |
| 4.1.3.3 | Reactivos | 25 |
| 4.2 | Metodología | 26 |
| 4.2.1 | Caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de las parcelas agrícolas. | 35 |
| 4.2.1.1 | Muestreo de Suelos. | 35 |
| 4.2.1.2 | Codificación de muestras | 36 |
| 4.2.1.3 | Preparación de la muestra de suelo | 37 |
| 4.2.1.4 | Análisis de parámetros | 38 |
| 4.2.1.4.1 | Propiedades Físicas (Octubre-2008) | 38 |
| 4.2.1.4.2 | Propiedades Químicas y Biológicas (Septiembre-2008) | 40 |
| 4.2.2 | Cuantificación de los contenidos totales de metales pesados (Zn, Pb, Cd) y otros como el As, en los suelos de las parcelas agrícolas | 41 |
| 4.2.2.1 | Muestreo de suelos y preparación de la muestra | 41 |
| 4.2.2.2 | Digestión de las muestras secas (Suelos Agrícolas) | 42 |
| 4.2.2.3 | Análisis cuantitativo (Suelos Agrícolas) | 43 |
| 4.2.3 | Determinación de la presencia de metales pesados en productos agrícolas y forraje | 43 |
| 4.2.3.1 | Muestreo de productos agrícolas y forraje | 43 |
| 4.2.3.2 | Preparación de la muestra de cultivos | 45 |
| 4.2.3.3 | Digestión de las muestras secas (Productos Agrícolas y forraje) | 47 |
| 4.2.3.4 | Análisis cuantitativo (Productos Agrícolas y forraje) | 47 |
| 4.2.4 | Determinación de la bioacumulación de contaminantes en los productos agrícolas y forraje | 47 |
| 4.2.4.1 | Índice de bioacumulación | 47 |
| 4.2.5 | Identificación de la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores | 48 |
| 4.2.5.1 | Elaboración de planillas | 48 |
| 4.2.5.2 | Reunión con las comunidades | 48 |
| 4.2.5.3 | Entrevista | 48 |
| 4.3 | Sistema de Evaluación para el contenido de metales pesados. | 49 |
| 4.3.1 | Sistema de evaluación para el contenido de elementos pesados en los suelos. | 49 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.2 | Sistema de evaluación para el contenido de elementos pesados en los Vegetales. | 50 |
| 5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 51 |
| 5.1 | Micro-cuenca Venta y Media (P1) | 51 |
| 5.1.1 | Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media | 51 |
| 5.1.2 | Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles | 54 |
| 5.1.3 | Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles | 64 |
| 5.1.4 | Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media | 74 |
| 5.2 | Microcuenca Coriviri (P2) | 75 |
| 5.2.1 | Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas en la micro-cuenca Coriviri | 75 |
| 5.2.2 | Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas en la micro-cuenca Coriviri (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los límites permisibles | 78 |
| 5.2.3 | Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles | 85 |
| 5.2.4 | Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri | 93 |
| 5.3 | Microcuenca Poopó (P3) | 95 |
| 5.3.1 | Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas en la micro-cuenca Poopó | 95 |
| 5.3.2 | Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los límites permisibles | 98 |
| 5.3.3 | Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles | 106 |
| 5.3.4 | Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó | 114 |
| 5.4 | Identificación de la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores | 115 |
| 6. | CONCLUSIONES | 118 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 120 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA | 122 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Descripción | Pag. |
|--------------|---|-------------|
| 1. | Forma de retención de metales pesados en el suelo y su disponibilidad relativa. | 11 |
| 2. | Elementos esenciales en la nutrición vegetal | 11 |
| 3. | Información general de la Consolidación Minera Frontanilla–Mina Challa Apacheta | 14 |
| 4. | Información general de la Mina Villa Esperanza | 15 |
| 5. | Información general de la Mina San Francisco | 16 |
| 6. | Información general del Ingenio-Compañía Minera Tiahuanacu | 16 |
| 7. | Información general de la Mina Machacamarquita | 17 |
| 8. | Información general de la Mina Molle Puncu | 17 |
| 9. | Información general de la Planta de concentración | 17 |
| 10. | Los principales cultivos agrícolas practicados en el municipio de Poopó | 22 |
| 11. | Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Venta y Media (P1). | 29 |
| 12. | Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Coriviri (P2). | 31 |
| 13. | Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Poopó (P3). | 33 |
| 14. | Ejemplo de codificación de las muestras de suelos y cultivos agrícolas. | 37 |
| 15. | Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados totales en Suelos. | 50 |
| 16. | Concentración Tolerable, Máxima Permitida y Excesiva o tóxica de Metales Pesados Totales en Cultivos Agrícolas. | 50 |
| 17. | Características físicas de los suelos de la Microcuenca Venta y Media. | 51 |
| 18. | Características químicas y biológicas de los suelos de la Microcuenca Venta y Media. | 52 |
| 19. | Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media. | 54 |
| 20. | Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media. | 57 |
| 21. | Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media. | 59 |
| 22. | Contenido de Zinc en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media. | 61 |
| 23. | Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media. | 64 |
| 24. | Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media. | 67 |
| 25. | Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media. | 69 |
| 26. | Contenido de Zinc en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media. | 71 |
| 27. | Características físicas de los suelos de la micro-cuenca Coriviri. | 75 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 28. | Características químicas y biológicas de los suelos de la micro-cuenca Coriviri. | 76 |
| 29. | Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca de Coriviri. | 78 |
| 30. | Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri. | 80 |
| 31. | Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri. | 82 |
| 32. | Contenido de Zn en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri. | 84 |
| 33. | Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri. | 85 |
| 34. | Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri. | 87 |
| 35. | Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri. | 89 |
| 36. | Contenido de Zinc en Productos agrícolas de la micro-cuenca Coriviri. | 90 |
| 37. | Características físicas de los suelos de la micro-cuenca Poopó. | 95 |
| 38. | Características químicas y biológicas de los suelos de la micro-cuenca Poopó. | 96 |
| 39. | Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó. | 98 |
| 40. | Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó. | 100 |
| 41. | Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó. | 102 |
| 42. | Contenido de Zinc en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó. | 104 |
| 43. | Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó. | 106 |
| 44. | Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó. | 108 |
| 45. | Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó. | 109 |
| 46. | Contenido de Zinc en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó. | 111 |
| 47. | Listado de casos de estudio y comunidades afectadas por actividad minera. | 134 |
| 48. | Límites Máximos Permitidos de Metales Pesados totales en Suelos Agrícolas en distintos países. | 135 |
| 49. | Concentración Tolerable, Máxima Permitida Y Excesiva o tóxica de Metales Pesados Totales en Cultivos Agrícolas. | 135 |
| 50. | Escala de porcentaje para el cálculo del valor de la fertilidad potencial | 136 |
| 51. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Venta y Media de los productos agrícolas y forraje | 137 |
| 52. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Coriviri de los productos agrícolas y forraje. | 137 |
| 53. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Poopó de los productos agrícolas y forraje. | 138 |
| 54. | Manejo del cultivo y destino de la producción. | 139 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 55. | Percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores de las zonas en estudio. | 140 |
| 56. | Caracterización de las propiedades químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la microcuenca Venta y Media. | 141 |
| 57. | Caracterización de las propiedades químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la microcuenca Coriviri. | 142 |
| 58. | Caracterización de las propiedades químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la microcuenca Poopó. | 142 |

INDICE DE GRÁFICOS

| Gráfico | Descripción | Pag. |
|----------------|---|-------------|
| 1. | Contenido de As en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 55 |
| 2. | Contenido de Pb en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 58 |
| 3. | Contenido de Cd en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 60 |
| 4. | Contenido de Zn en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 62 |
| 5. | Contenido de As en Productos Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 65 |
| 6. | Contenido de Pb en Productos Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 68 |
| 7. | Contenido de Cd en Productos Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 69 |
| 8. | Contenido de Zn en Productos Agrícolas de la Microcuenca VENTA Y MEDIA (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 71 |
| 9. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Venta y Media de los productos agrícolas y forraje | 74 |
| 10. | Contenido de As en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 79 |
| 11. | Contenido de Pb en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 81 |
| 12. | Contenido de Cd en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 83 |
| 13. | Contenido de Zn en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 84 |
| 14. | Contenido de As en Productos Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 86 |
| 15. | Contenido de Pb en Productos Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 87 |
| 16. | Contenido de Cd en Productos Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 89 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 17. | Contenido de Zn en Productos Agrícolas de la Microcuenca CORIVIRI (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles. | 91 |
| 18. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Coriviri de los productos agrícolas y forraje | 93 |
| 19. | Contenido de As en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Partes: Alto, Medio, Bajo y Sub-Bajo) respecto a los Límites Permisibles. | 99 |
| 20. | Contenido de Pb en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Partes: Alto, Medio, Bajo y Sub-Baja) respecto a los Límites Permisibles. | 101 |
| 21. | Contenido de Cd en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Partes: Alto, Medio, Bajo y Sub-Baja) respecto a los Límites Permisibles. | 103 |
| 22. | Contenido de Zn en Parcelas Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Partes: Alto, Medio, Bajo y Sub-Baja) respecto a los Límites Permisibles. | 105 |
| 23. | Contenido de As en Productos Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Parte: Alto, Medio, Bajo y Sub-Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 107 |
| 24. | Contenido de Pb en Productos Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Parte: Alto, Medio, Bajo y Sub-Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 108 |
| 25. | Contenido de Cd en Productos Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Parte: Alto, Medio, Bajo y Sub-Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 110 |
| 26. | Contenido de Zn en Productos Agrícolas de la Microcuenca POOPÓ (Parte: Alto, Medio, Bajo y Sub-Bajo), respecto a Límites Permisibles. | 111 |
| 27. | Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Poopó de los productos agrícolas y forraje | 114 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Descripción | Pag. |
|---------------|--|-------------|
| 1. | División Política Municipio de Poopó con la ubicación de las áreas de estudio | 19 |
| 2. | Ubicación general de los puntos de muestreo en la Microcuenca de Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3) | 28 |
| 3. | Ubicación de los puntos de muestreo en la Microcuenca Venta y Media (P1). | 30 |
| 4. | Ubicación de los puntos de muestreo en la Microcuenca Coriviri (P2). | 32 |
| 5. | Ubicación de los puntos de muestreo en la Microcuenca Poopó (P3) | 34 |
| 6. | Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la Microcuenca Venta y Media parte alta, media y baja. | 73 |
| 7. | Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la Microcuenca Coriviri parte alta, media y baja. | 92 |
| 8. | Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) en parcelas agrícolas de la Microcuenca Poopó parte alta, media, baja y sub-baja. | 113 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | | |
|----|--|-----|
| A. | Descripción de Métodos Analíticos Empleados | 126 |
| | 1.- DETERMINACIÓN DEL % PENDIENTE. | 126 |
| | 2.- DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDAD EFECTIVA. | 126 |
| | 3.- DETERMINACIÓN DEL % GRAVA. | 126 |
| | 4. DETERMINACIÓN DEL PH. | 127 |
| | 5. DETERMINACION DE LA CONDUCTI VIDAD ELECTRICA. | 128 |
| | 6. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA. | 129 |
| | 7. METODOLOGIA DE LA DIGESTION DE SUELOS Y VEGETALES. | 131 |
| | 8. METODOLOGIA DEL MANEJO DEL ESPECTRÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA Perkin Elmer Modelo AAnalyst 100 | 133 |
| B. | Tablas de Datos | 134 |
| C. | Tabla de Resultados | 137 |
| D. | Registro Fotográfico | 143 |

RESUMEN

La contaminación de los suelos por metales pesados es un problema ambiental que preocupa a la población, ya que desde el suelo los metales pueden ser transferidos a otras partes del ecosistema como a los cultivos y aguas subterráneas, entrando no solo en la cadena trófica ocasionando riesgos a la salud, si no generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de la vegetación.

El propósito del estudio fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) en suelos agrícolas y cultivos representativos en tres Micro-cuencas del municipio Poopó; divididas en tres partes (alto, medio y bajo).

Desde el punto de vista geológico y mineralógico la zona es rica en varios metales pesados como Sn, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Fe y otros como el As, los mismos que se encuentran en forma polimetálica, situación que favorece las actividades mineras desde tiempos pasados (Montes de Oca, 2007).

Se muestrearon suelos de parcelas agrícolas y cultivos fracción comestible (Papa, Haba, Cebada y Alfalfa), en puntos previamente seleccionados, según la disponibilidad, en la micro-cuenca 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 Micro-cuencas 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 copagira 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).

La Microcuenca Coriviri (P2), es la que manifiesta menor contaminación por metales pesados (Pb, Cd y Zn) en relación a las otras micro-cuencas.

La planta *Hymenoxys robusta* llamada vernáculamente Botón de oro, presentó una bioacumulación intensa de (Cd-Zn) y moderada de As, en sus (hojas y flores), debido a esta facultad se la puede considerar como una planta nociva para los animales que lo consumen.

SUMMARY

The contamination of the soils for heavy metals is an environmental problem that worries the population, from the soil the metals can be transferred to other parts of the ecosystem as at the cultivations, underground waters, entering in the chain trófica, generating poor soils for plant establishment and health hazard for humans. The purpose of the study was to determine the presence of heavy metals (Pb, Cd, Zn and As) in agricultural soils and representative cultivations in three Micro-basins of the municipality of the Poopó divided in parts (high, half and under). From the geologic and mineralogical point of view the area is rich in several heavy metals as Sn, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Fe and others as the As, the same that are in form polimetálica, situation that favors the mining activities from last times.

Samples of agricultural soils and cultivations eatable fraction were extracted (Potato, Bean, Barley and Medic), in previously selected points, according to the readiness in the micro-basin of: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) and Poopó (P3). Metal concentrations were evaluated with the permissible maximum limits and the dangerous levels for soils, proposed by the Agency Environmental Dutchwoman and the Law of Environmental Administration of the Ecuador, the agricultural cultivations were evaluated with the maximum contents proposed for Kabata-Pendias, 2000. The samples with small concentrations were read by atomic absorption in flame and graphite oven. The results show that the agricultural soils of the three Micro-basins in study are contaminated by arsenic, overcoming the dangerous level of (55 mg/kg soil), for natural mineralización of the area as for the contribution of the surrounding mining in the region (dismount, copagira waters tossed to the bleakness and the rivers), situation that deserves an immediate remediation, for can to avoid the intensity of accumulation. The bean cultivations and potato eatable fraction present tendencies of accumulating bigger quantity of arsenic, ending up in some cases to overcome the maximum content in cultivations (1,7 sample mg/kg). The Microcuenca Coriviri (P2), it is that manifest smaller contamination for heavy metals in relation to the other micro-basins. It is very necessary to study with more depth to the plant *Hymenoxys robusta*, this plant has the particularity of absorbing high concentrations of pollutants (heavy metals).

1. INTRODUCCION

El municipio del Poopó se encuentra dentro la zona semi-árida del Altiplano Central boliviano, donde la agricultura se desenvuelve limitada por precipitaciones escasas (427 mm/año), existiendo una marcada época seca con presencia de heladas y granizadas. Los pobladores se dedican a la producción de cultivos tradicionales como papa, haba, quinua y otros, los mismos que sirven para el autoconsumo. Así también, debido a la intensificación de la ganadería, se cultiva alfalfa y cebada para forrajes.

La contaminación medioambiental producida a causa de las actividades mineras puede conducir a impactos variados y difíciles de evaluar, al estar especialmente condicionados por su situación medioambiental. Entre todos los impactos cabe destacar la contaminación por drenaje de aguas ácidas ($\text{pH} < 5$) procedentes de aguas de minas y el lixiviado de residuos mineros ricos en sustancias solubles tóxicas y metales pesados. Las características de extrema infertilidad y/o toxicidad presentes en zonas mineras, acarrearán problemas para el desarrollo vegetal (Quintas-Mosteiros, 1997).

La minería es una de las principales actividades económicas en Bolivia, sin embargo esta actividad debido a la explotación inadecuada de minerales durante varias décadas, está afectando también el recurso suelo y por ende su capacidad productiva y calidad de los alimentos. Esto se debe principalmente a que los desechos sólidos y líquidos de esta actividad se vierten directamente sobre los suelos y aguas de ríos y/o lagos, las que son usadas para la actividad agropecuaria (riego o consumo animal), provocando daños en la fauna, flora y al ser humano (Orsag, 2009).

Ante esta situación donde la actividad minera en Bolivia está pasando por una época de auge económico contemplando solo el aspecto monetario y no así el impacto medioambiental. Es muy necesario cuantificar y conocer que proporción

de estos metales pesados pueden quedarse en el suelo pasar a la vegetación y posteriormente a los animales y hombre, para tomar precauciones necesarias relacionadas con el uso sostenible de los recursos naturales.

Por lo expuesto, el presente trabajo tuvo por finalidad alcanzar los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo General.

- Determinar la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos representativos en tres Micro-cuencas del municipio de Poopó.

1.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar las propiedades física-químicas de los suelos de las parcelas agrícolas (capa arable).

- Cuantificar los contenidos totales de metales pesados Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y otros como el arsénico (As), en suelos agrícolas seleccionados.

- Determinar la presencia de metales pesados en los productos agrícolas y forraje de papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*), haba (*Vicia faba*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

- Determinar la bioacumulación de los contaminantes en los productos agrícolas y forraje en estudio.

- Identificar la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores de las zonas en estudio.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1. Definición de metal pesado

Dorrnsoro (1999), indica que se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior a 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son ligeros o no metálicos se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados, es el caso del arsénico.

2.1.1. Arsénico (As)

Fuentes, el Arsénico se encuentra libre y combinado en un gran número de minerales. Aparece en la naturaleza en dos estados de oxidación: As (III) y (V), asociados principalmente a los depósitos de sulfuros, siendo muy abundante en las franjas de pirita. Alrededor de un tercio del arsénico presente en la atmósfera proviene de fuentes naturales, por ejemplo de los volcanes y el resto de actividades humanas como la minería, uso de compuestos de arsénico en la fundición de metales no férreos, especialmente el cobre, plomo y zinc.

Aplicación, el arsénico se usa en: Medicina, veterinaria, aleaciones, pirotecnia, esmaltes, agente depilador, insecticidas, pigmentos, pintura, productos electrónicos, tintes.

Toxicología, La exposición crónica a arsénico causa cuadros tóxicos bien definidos; conocidos con el nombre de pie negro (black foot disease), caracterizados por la aparición de lesiones en la piel (hiperqueratosis) y lesiones vasculares. La exposición a dosis elevadas de arsénico puede ser letal, sus efectos

agudos consisten en fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardiaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia.

El arsénico esta clasificado en el grupo I de sustancias cancerígenas por la IARC (International Agency for Research on Cancer), es decir, se consideran que existe evidencias suficientes sobre sus efectos cancerígenos en personas. Los tipos de cáncer implicados son: cáncer de piel, cáncer de pulmón, leucemia y canceres de vejiga urinaria riñón y nasofaringe (Moreno, 2003), citado por (Ávila, 2006).

El arsénico es elemento no esencial para las plantas. En altas concentraciones interviene en los procesos metabólicos de las plantas, pudiendo inhibir el crecimiento y frecuentemente llegar a la muerte de la planta. (Tu y Ma, 2002). El arsénico en el suelo se encuentra en formas móviles en el rango de pH 7 a 9 (Kabata-Pendias, 2000).

Con altas concentraciones de As la producción de biomasa y el rendimiento de varios cultivos se reducen significativamente (Carbonell-Barrachina., 1997), con la aplicación de 50 mg de As kg⁻¹ de suelo los rendimientos de cebada (*Hordeum vulgare L.*) y ballica (*Lolium perenne L.*) disminuyeron significativamente. (Jiang and Singh, 1994) citado por (Kabata-Pendias, 2000).

2.1.2. Plomo (Pb)

Fuentes, el Pb se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. Ocupa el lugar 36 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. La cerusita y la anglesita son sus menas más importantes después de la galena. (Microsoft, 2007).

En la naturaleza el plomo se presenta como un constituyente menor del suelo y de las plantas. El valor medio es superior en suelos superficiales que en suelos tomados a cierta profundidad. El Pb es fuertemente absorbido en los suelos y

sedimentos especialmente en las arcillas, limos y óxidos de hierro y manganeso. (Stocker, 1981).

Aplicación, el plomo se usa en: Baterías, gasolina, pigmentos, munición, soldadura, pintura, industria automovilística, productos metálicos, productos químicos.

Toxicología, la intoxicación aguda por Pb no es muy frecuente; tiene lugar por ingestión de compuestos de plomo o inhalación de vapores, los síntomas son: sequedad de boca, sed y gusto metálico, seguido por náuseas dolores abdominales y vómitos. Los efectos de intoxicación crónica por Pb se pueden agrupar en: gastrointestinales, neuromusculares, sistema nervioso central, hematológicos, renales y reproductivos (Moreno, 2003).

El plomo y sus compuestos están clasificados por la IARC en el grupo 2B, como, posiblemente cancerígenos para el hombre.

Nocivo para la fotosíntesis reemplaza el Mg^{+2} de la clorofila evitando que el pigmento capte la luz. También afecta la presión osmótica de las células, el potencial hídrico y aumenta la transpiración por hojas. La pérdida de agua genera daño en las hojas y raíces (Laura, 2005).

Las plantas pueden absorberlos pero no trastocarlos a los tallos o generalmente no son fitotóxicos excepto a concentraciones muy altas. Causa mínimos riesgos para la cadena alimentaria. (Chaney, 1980) citado por (Kabata-Pendias, 2000).

2.1.3. Cadmio (Cd)

Fuentes, este elemento proviene principalmente del desgaste y la erosión de las rocas. Sus depósitos están asociados geoquímicamente a los del Zn, sobre todo en los minerales esfalerita, blenda de zinc, etc. Cabe aclarar que los procesos

naturales por los cuales se libera el Cd son insignificantes como fuente de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre ya que se han descubierto muchas aplicaciones para el Cd y sus compuestos en el mundo industrializado actual. Debido a que los minerales de Zn constituyen la principal fuente de cadmio, éste se obtiene durante los procesos electrolíticos de fundición que se utilizan para la refinación de zinc y otros metales. (Albert, 1985).

Aplicación, el cadmio se usa en: Galvanización, pigmentos, baterías, aleaciones de bajo punto de ebullición.

Toxicología, La mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente de emisión. Los efectos tóxicos agudos corresponden a la inhalación de humos y materia particulada con Cd, que produce neumonitis, edema pulmonar e incluso la muerte. La exposición crónica a bajas concentraciones de cadmio destaca las enfermedades obstructivas pulmonares crónicas, la degeneración de los tubos renales, hipertensión y las alteraciones óseas (Moreno, 2003).

El cadmio está clasificado como agente cancerígeno del grupo I por la IARC (1993). Esta clasificación se basa en la asociación entre exposición e inhalación de cadmio y la aparición de cáncer de pulmón.

En las plantas los síntomas más generales de toxicidad por Cd es la atrofia y clorosis. La clorosis puede aparecer debido a una interacción directa o indirecta con el Fe, Zn, P y Mn. Altos contenidos de Cd en el medio de crecimiento inhiben la absorción de Fe en las plantas. Aun cuando los efectos de Cd varían a nivel de especie, e incluso varietal, en general el Cd interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P y K) y del agua (Das et al., 1998).

2.1.4. Zinc (Zn)

Fuente, Ocupa el lugar 24 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Se encuentra en varias partes de nuestro organismo, cumpliendo diferentes funciones, también es nutriente para diferentes organismos vivos. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de cinc (ZnO) en el mineral cincita y como silicato de cinc ($2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) en la hemimorfita. Las menas utilizadas más comúnmente como fuente de cinc son la esmitsonita y la esfalerita. (Encarta, 2007).

Aplicación, el zinc se usa en: Aleaciones, bronce y latón, galvanización, baterías, pintura, productos agrícolas, cosméticos y medicinales.

Toxicología, La exposición aguda por ingestión es poco común, aunque se dieron casos de molestias gastrointestinales y diarreas.

Las plantas no concentran el Zn a niveles superiores a los encontrados en los suelos en que se desarrollan, ya que solo es asimilado por las plantas como un nutriente. El zinc se encuentra incluido en el grupo D, no clasificable respecto a su actividad cancerígena, por la USEPA (United States Environmental Protection Agency).

2.2. Metales Pesados en el Suelo

Impens (1990) indica que la acumulación de metales pesados en las capas superficiales del suelo, donde se desarrollan las raíces de la vegetación cultivada, puede tener tres tipos de consecuencia:

- Reducción de la fertilidad de los suelos debido a los efectos tóxicos.
- Transferencia de la fracción biodisponible de los metales hacia los forrajes, legumbres y otros productos.

- Contaminación progresiva de la napa freática por lavado y percolación de la solución mineral.

2.2.1. Dinámica de los Metales Pesados en el Suelo

Según García y Dorronsoro (1998) los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Arsénico.- En los sedimentos y suelos los arseniatos son fácilmente adsorbidos en hidróxidos de aluminio o de hierro; de este modo se reducen sus capacidades y velocidad de percolación, así como su disponibilidad para los sistemas biológicos.

Cadmio.- La capacidad de retención del cadmio depende del contenido de álcalis. Debido a que se adsorbe a partículas orgánicas del suelo, casi no se produce lixiviación. El horizonte de acumulación para el cadmio es la rizósfera (raíces). Con un pH de 6.5, la disponibilidad es mínima; al disminuir el pH del suelo, aumenta la asimilación de cadmio por parte de las plantas.

Zinc.- La movilidad del Zinc aumenta considerablemente al descender el pH, ya que aumenta su solubilidad y el grado de disociación de los complejos orgánicos. Disminuye su absorción a las superficies de la matriz sólida. Por lo tanto, el Zn puede incorporarse al lixiviado y desplazarse hacia las aguas subterráneas, fundamentalmente en medios ácidos, como los encontrados en residuos mineros.

Plomo.- Este elemento se presenta en los suelos bajo la forma de Pb^{2+} y también como Pb^{4+} , se trata de un metal pesado que no tiene acciones benéficas para los organismos, su biodisponibilidad está condicionada por el pH, siendo su movilidad cada vez más alta conforme el pH disminuye, aunque, debido a la poca movilidad de este (ejemplo, es poco móvil que el cadmio), permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en la misma medida que el cadmio por las plantas, por lo que los suelos resultan ser una importante trampa para los compuestos de plomo.

2.2.2. Factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de metales pesados

Según García y Dorronsoro (1998), la toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas.

a) pH.- Es un factor esencial, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalinos. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. Por otra parte, algunos metales pueden estar en la disolución del suelo como aniones solubles, tal es el caso de los siguientes: Se, V, As, Cr.

b) Textura.- La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

c) Estructura.- Favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo.

d) Materia Orgánica.- Reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede absorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles poco estables. La estabilidad de los complejos tiende a seguir la siguiente secuencia: $Cu > Fe > Mn = Co > Zn$.

e) Capacidad de Cambio.- Es función del contenido de arcilla y materia orgánica. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

f) Carbonatos.- La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, en los que como ya hemos visto tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos.

g) Salinidad.- El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn y Hg. Tienden a dar suelos de pH básicos.

Tabla 1.- Forma de retención de metales pesados en el suelo y su disponibilidad relativa.

| Forma de retención en el suelo | Disponibilidad relativa |
|---|---|
| Iones en solución del suelo | Fácilmente disponible |
| Ión en complejo de cambio | Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos |
| Metales quelados por compuestos orgánicos | Menos disponibles |
| Metal precipitado o coprecipitado | Disponible sólo si ocurre alguna alteración química |
| Incorporado a la matriz biológica | Disponible después de la descomposición |
| Metal en la estructura mineral | Disponible después de la meteorización |

Fuente: García y Dorronsoro, Contaminación de suelos (1999)

2.3. Metales Pesados en la Vegetación

Rodríguez (1982), indica, respecto a la nutrición vegetal, que entre los elementos disponibles en la naturaleza se cuenta con los no esenciales y los esenciales. Entre los no esenciales (en la fisiología de la planta) están: Ag, Au, entre otros. Los elementos esenciales reciben especialmente el nombre de *nutrientes vegetales*, ellos se indican en la tabla 2, además de carbono, hidrógeno y oxígeno. Otros elementos que poseen una esencialidad reducida son el sodio (Na), utilizado por algunos vegetales como el *Atriplex* (planta halófila); el cobalto (Co), utilizado por el cacao; el silicio (Si), absorbido por las gramíneas (como los cereales).

Tabla 2.- Elementos esenciales en la nutrición vegetal

| Elemento | | Símbolo | Elemento | | Símbolo |
|----------------------------------|-----------|---------|-----------------------|-----------|---------|
| Macronutriente Primario | Nitrógeno | N | Micronutriente | Hierro | Fe |
| | Fósforo | P | | Cloro | Cl |
| | Potasio | K | | Boro | B |
| Macronutriente Secundario | Calcio | Ca | | Cobre | Cu |
| | Magnesio | Mg | | Manganeso | Mn |
| | Azufre | S | | Molibdeno | Mo |
| | | | | Zinc | Zn |

Fuente: Rodríguez (1982)

Los macronutrientes (primarios y secundarios) poseen un alto umbral de toxicidad, es decir que pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos, en cambio los micronutrientes tienen un nivel de toxicidad bajo, el límite (referido a la cantidad absorbida) entre la carencia y la toxicidad está muy próximo. El hierro es, dentro de los micronutrientes, un elemento intermedio (Rodríguez, 1982).

2.3.1. Consecuencia de Metales Pesados en las plantas

Los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas, como son: Cu, Pb, Zn, Hg, As, etc. Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores ya que contaminan el aire, agua y la tierra utilizado por las plantas y los demás eslabones de la cadena trófica. Sus efectos en las plantas incluyen: necrosis en las puntas de las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces, junto con muchas fatalidades en muchas especies de plantas incapaces de tolerar estos metales.

2.4. La bioacumulación

Se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo, indicándonos el carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1 (Mas y Azcue, 1993).

Según los estudios realizados por García, Callejas, et al., (2007) sobre la Acumulación de arsénico en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), en el estado de Hidalgo, México, mencionan que las concentraciones de arsénico acumuladas más altas se obtuvieron en la raíz, el tallo, y las hojas, respectivamente. Concentraciones de 4 mg [l.sup.-1], fueron letales para el cultivo; el fenómeno se apreció a partir de la etapa III de desarrollo, con la aparición de daños en las raíces y un fuerte efecto en la floración, que inhibió la formación de vainas.

2.5. Límite Permisible

Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda de un elemento, compuesto en el agua, suelo y cultivo, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Para el reconocimiento de la contaminación se utilizan los “niveles de referencia” que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control. Por encima de estas guías se encuentran los “niveles de intervención” que obligan ya a tomar medidas correctoras. (MEDMIN, 2006).

2.6. Antecedentes de contaminación

2.6.1. Contaminación de las aguas en el altiplano boliviano

La mayor parte de la actividad minera en Bolivia se desarrolla en el Altiplano, casi todos los yacimientos mineros explotados están ubicados en la cuenca del sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares). Las aguas son contaminadas durante los procesos de extracción y procesamiento o por erosión y disolución de las escorias de las minas. Sin excepción todos los ríos que drenan aguas mineras en operación son químicamente contaminadas. Alguna de las muestras de agua, presentan contaminación extremadamente altas, pH alrededor de 3, gran cantidad de metales pesados y altas concentraciones de arsénico y en muchos casos de 10 a 100 veces los valores aceptados (MDSMA, 1996).

2.6.2. Monitoreo Hidroquímico Ambiental 2007- 2008 en el Municipio de Poopó “Proyecto CAMINAR”

En la zona alta del municipio de Poopó (cantón Coripata), se confirmó la presencia de arsénico en las aguas superficiales como en las aguas subsuperficial / subterráneas, estas últimas son consumidas en la localidad de Cantón Coripata, mostrando que la época de lluvias es el momento en el que a través de la mineralización este se incorpora en los cuerpos de agua, además se debe tomar en

cuenta que no se encontraron en esta zona aguas ácidas, resultado de la intervenciones mineras, por lo que podría ser resultados de la mineralización natural de la zona. (Ramos y Niura, 2008). En el cantón Venta y Media se analizó agua de embalse (piscinas de almacenamiento) donde se encontró altos contenidos de arsénico, por las características de este cuerpo de agua que es almacenado, no se conoce que sucede después de estabilización que podría de alguna manera disminuir las cargas de este elemento por la presencia de materia orgánica en el mismo. Las aguas de estas piscinas son bombeadas en grandes cantidades para la localidad de Huanuni.

En la zona sub-baja del municipio de Poopó (llanura de infiltración), los pozos de la comunidad de Kesukesuni revelaron valores altos de arsénico, con valores bajos de otros metales. En la misma zona el pozo de Puñaca, presenta los valores más altos de arsénico en el municipio, las características de esta fuente es que está influenciado por el lago, además por la elevada cantidad de sales disueltas estas ponen más en solución a metales, en este caso el arsénico. (Ramos y Niura, 2008).

2.7. Información sobre la situación minera en el municipio de Poopó- elaborado por la fundación MEDMIN-2006

2.7.1. Descripción de la minas en operación

Tabla 3.- Información general de la Consolidación Minera Frontanilla – Mina Challa Apacheta

| Consolidación Minera Frontanilla – Mina Challa Apacheta | |
|--|---|
| Extensión | Con una superficie de 45 Cuadrículas, es una de las concesiones más grandes de todo el municipio de Poopó. |
| Ubicación | Cantón: Coripata; Provincia: Poopó; Altura: 4,113 m.s.n.m. Coordenadas: 731866 – 7962883 |
| Acceso | El camino es de tierra, y es temporal, por la época de lluvia. La comunidad más próxima es Challa Apacheta a una distancia de 0.5 Km. |
| Minerales Explotados | Minerales complejos entre esfalerita o blenda ZnS; jamesonita $Pb_4 Fe Sb_6 S_{14}$, casiterita SnO_2 , y galena PbS |
| Vida de la Mina | Oscila entre 10 y 15 años, pero depende de muchos factores entre ellos, los sistemas y volúmenes de explotación de la veta. |
| Volumen de Explotación | Tiene una producción de 2 toneladas por mes, esta explotación esta limitada por falta de maquinaria y beneficio de minerales. |

| | |
|----------------------------|---|
| Situación Ambiental | No tiene elaborado L.A. En esta zona se observa descargas de agua de copagira en las secciones de Condor Nasa (32 L/seg), Rosa Pampa (15L/seg) y Caracachi (20 L/seg), los efluentes presentan valores de pH promedio de 3,6 y son descargados directamente al río Venta y Media. En esta zona existe una inadecuada disposición de colas, desmontes y chatarras que generan una serie de problemas ambientales y sanitarios. Los volúmenes aproximados de colas son de 15 000 m ³ y desmontes 20 000 m ³ , en su mayoría sulfurosos generan DAR que impactan sobre suelos, aguas superficiales y subsuperficiales. La materia prima y los productos de la mina se almacenan al aire libre, el viento arrastra partículas finas de minerales. |
| Extracción | Explotación subterránea y empleo de explosivos; dinamita, anfo, fulminante, etc. Han desarrollado 5 secciones, las principales son Chambi, Cacarachi, Rosa Pampa, Viscacha y Condor-nasa. Minera Frontanilla viene trabajando de manera temporal, desordenada y rústicamente siendo este el factor limitante para una producción, de 2 toneladas por mes. |
| Beneficio | Tratamiento del mineral es por flotación selectiva empleando reactivos químicos; cianuros, xantatos, cal, sulfatos de cobre, ácido nítrico, aceite pino y agentes espumantes. Tiene un ingenio precario en el que procesan el mineral casi artesanalmente, este proceso genera colas y otros residuos del proceso minero – metalúrgico. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

Tabla 4.- Información general de la Mina Villa Esperanza

| Mina Villa Esperanza | |
|-------------------------------|--|
| Extensión | Tiene una extensión de 15 hectáreas. |
| Ubicación | Cantón: Coripata; Provincia: Poopó; Altura: 4,150 m.s.n.m. Coordenadas:731888 - 7962901 |
| Acceso | Es dificultoso y la situación empeora en época de lluvia. La comunidad más próxima es Cobremayu a una distancia de 0.5 Km. |
| Minerales Explotados | Explota; cilindrita $Pb_6 Sn^2 + Sb_4 Fe^2 + 2Sn^4 + 6S_{27}$, casiterita SnO_2 , esfalerita o blenda ZnS y galena PbS |
| Vida de la Mina | Indefinido. |
| Volumen de Explotación | Produce aproximadamente 0.5 toneladas por mes, es decir que se práctica la minería de subsistencia. |
| Situación Ambiental | No cuenta con licencia ambiental de funcionamiento. En operación minero metalúrgico emite DAM de la bocamina con un caudal próximo a 10 L/seg, las descargas llegan al río de Venta y Media. El volumen estimado de desmontes es de 35 000 m ³ . La materia prima y los productos de la mina se almacenan al aire libre. Por acción del viento el mineral molido es arrastrado y depositado en ríos y suelos. |
| Extracción | La explotación actual es eventual, a cielo abierto y subterránea, extracción es manual no cuentan con maquinaria ni equipos, la capacidad de producción baja. Emplean explosivos –dinamita, fulminante - la bocamina principal tiene desagües o agua copagira, de manera natural las descarga al río Venta y Media. |
| Beneficio | La concentración y beneficio se la realiza en cancha mina, practican la trituración y molienda antes de trasladar el mineral al ingenio. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

Tabla 5.- Información general de la Mina San Francisco

| Mina San Francisco | |
|-------------------------------|---|
| Extensión | Superficie aproximada de 120 Has. |
| Ubicación | Cantón: Poopó; Provincia: Poopó; Altura: 4,445 m.s.n.m. Coordenadas: 715105 – 7965206 |
| Acceso | El camino es de tierra en buen estado de 7 Km. Desde Villa Poopó. En época de lluvia el acceso se hace dificultoso. |
| Minerales Explotados | Minerales complejos blenda ZnS; casiterita SnO ₂ ; estannita Cu ₂ FeSnS ₄ ; jamesonita Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄ y cilindrita Pb ₆ Sn ²⁺ + Sb ₄ Fe ²⁺ + ₂ Sn ⁴⁺ + ₆ S ₂₇ . |
| Vida de la Mina | Depende de los volúmenes de extracción, pero aun no se determinó el tiempo de vida del yacimiento de San Francisco. |
| Volumen de Explotación | La capacidad de producción que tiene Mina San Francisco y Grupo Ferrari alcanza a 3.035 toneladas mensuales aproximadamente. |
| Extracción | La explotación es subterránea y trabajan de manera convencional, para la extracción, producción y procesamiento del mineral emplean maquinaria y equipo. Para la extracción utilizan explosivos –dinamita, fulminante guía y anfo. |
| Beneficio | Se realiza en la planta de concentración de la Compañía Minera Tiahuanacu, practican la trituración y molienda antes de trasladar el material al ingenio. Los minerales son vendidos a la Fundación de VINTO y COMINUR. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

Tabla 6.- Información general del Ingenio-Compañía Minera Tiahuanacu

| Ingenio-Compañía Minera Tiahuanacu | |
|---|--|
| Extensión | Superficie 72 Has. |
| Ubicación | Cantón: Poopó; Provincia: Poopó; Altura: 3,689 m.s.n.m. Coordenadas 713046 - 7966717 |
| Acceso | Es permanente, la comunidad más próxima es Villa Poopó a 1 Km. de distancia. |
| Minerales Explotados | Los minerales tratados en el ingenio son; blenda ZnS; Casiterita Sn O ₂ Acantita Ag ₂ S |
| Vida de la Mina | Del ingenio no ha sido determinado sin embargo este factor depende del mantenimiento de la maquinaria. |
| Situación Ambiental | Ha cumplido con la M.A. y DAA. La maquinaria en la Planta es antigua, se observan derrames de aceites y grasas en los alrededores y en el ingenio. Por la actividad en la planta existen relaves y colas antiguos, dando lugar a la formación de lixiviados y filtración de líquidos, los residuos sólidos provenientes del proceso minero van a una presa de colas (PDC), ese estima un volumen aproximado de 35 000 m ³ entre colas y relaves diseminados, resultado de los procesos de molienda y trituración se emiten al aire partículas finas y por acción del viento las partículas acumuladas alrededor de los diques también producen contaminación atmosférica. |
| Extracción | Trabaja de manera convencional en el tratamiento y concentración del mineral. Dicho proceso está separado de la explotación pero estrechamente dependiente ya que el mineral producido en Mina San Francisco y Grupo Ferrari constituye su materia prima. |
| Beneficio | Trituración en la chancadora y molienda en molino de bolas. El mineral reducido es trasladado a una vibradora y el mineral se deposita en un buzón de finos. El producto molido es descargado por gravedad para retornar al molino. El proceso de recuperación es por flotación espumante. Separación la mena de la ganga empleando reactivos químicos como: xantatos, cianuros de sodio (NaCN), sulfatos de zinc (ZnSO ₄), sulfatos de cobre (CuSO ₄), agentes espumantes, reactivos y calcita. El mineral es procesado en la planta de concentración con una capacidad de recuperación del 70 a 90%. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

2.7.2. Descripción de las minas abandonadas

Tabla 7.- Información general de la Mina Machacamarquita

| Mina Machacamarquita | |
|-----------------------------|---|
| Ubicación | Cantón: Poopó; Provincia: Poopó; Altura: 3,783 m.s.n.m. Coordenadas: 715395 - 7966174 |
| Acceso | La comunidad más próxima es Poopó Viejo a una distancia de 2 Km. El acceso es permanente. |
| Situación Ambiental | La bocamina principal no presenta drenajes de agua copagira sin embargo el río Poopó pasa a unos 50 metros de distancia. El pH in situ presenta valores alrededor de 8,2. Existen pasivos (35,000 m ³ de colas) compuestos de óxidos y sales que probablemente generan elevados niveles de salinidad en el agua. Las minas no presenta descargas líquidas, existen pasivos ambientales. El paisaje se ve afectado por el movimiento de tierras que hubo. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

Tabla 8.- Información general de la Mina Molle Puncu

| Mina Molle Puncu | |
|-----------------------------|---|
| Ubicación | Cantón: Coripata; Provincia: Poopó; Altura: 4,121 m.s.n.m. Coordenadas: 731202 7968532 |
| Acceso | El acceso es temporal desde la estancia Molle Puncu Grande aproximadamente 5 Km. |
| Situación Ambiental | Se observa en época seca caudales mínimos de agua de copagira (0.05 L/seg con pH alrededor de 6,9) que puede aumentar en época húmeda, la ubicación de la mina contribuye a procesos de erosión del suelos debido a: la pendiente en la que se encuentra (60 grados) y la presencia de grandes volúmenes (mayores a 50, 000 m ³) de desmontes. Esta mina fue abandonada el año 1970 pero quedan pasivos ambientales. El paisaje se ve afectado y alterado por la actividad minera pasada. |
| Minerales explotados | Se explotaban complejos de blenda ZnS, cilindrita Pb ₆ Sn ₂ + Sb ₄ Fe ₂ + Sn ₂ +S ₂₇ , y galena PbS. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

Tabla 9.- Información general de la Planta de concentración

| Planta de concentración | |
|--------------------------------|---|
| Ubicación | Cantón: Poopó; Provincia: Poopó; Altura: 3,627 m.s.n.m. Coordenadas: 715565 - 7975621 |
| Acceso | Solo en época de estiaje es accesible, en época de lluvia el camino de tierra se torna dificultoso, la comunidad más Próxima es Jucumari a una distancia aproximada de 8 Km. |
| Situación Ambiental | No se observa efluentes de las bocaminas, la inadecuada disposición de los residuos y desmontes (volumen aprox. 12,000 m ³) generan problemas ambientales y cambios de paisaje significativos en la zona. |

Fuente: Fundación MEDMIN. 2006

3. LOCALIZACIÓN.

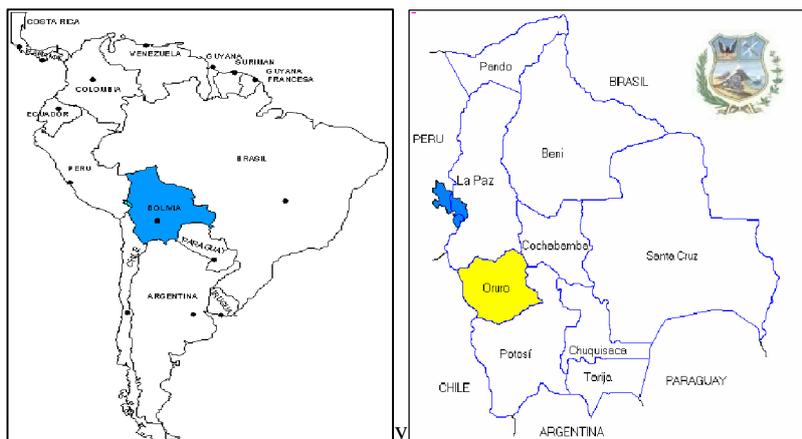
3.1. Ubicación Geográfica.

El presente estudio se realizó en el municipio de Poopó que es la primera sección municipal de la provincia Poopó del departamento de Oruro, geográficamente está localizada en el segmento medio oriental entre los meridianos de 18° 12' 20" de latitud Sur y los 67° 04' 00" de longitud Oeste (PDM¹ de Poopó, 2007).

Limita al Norte con municipios de Huanuni y Machacamarca primera y segunda sección municipal de la provincia Pantaleón Dalence, al Sur con los municipios de Pazña y Antequera segunda y tercera sección municipal de la provincia Poopó, al Este parte de los municipios de Huanuni, Antequera y Pazña, finalmente al Oeste con el municipio de El Choro segunda sección municipal de la provincia Cercado del departamento de Oruro.

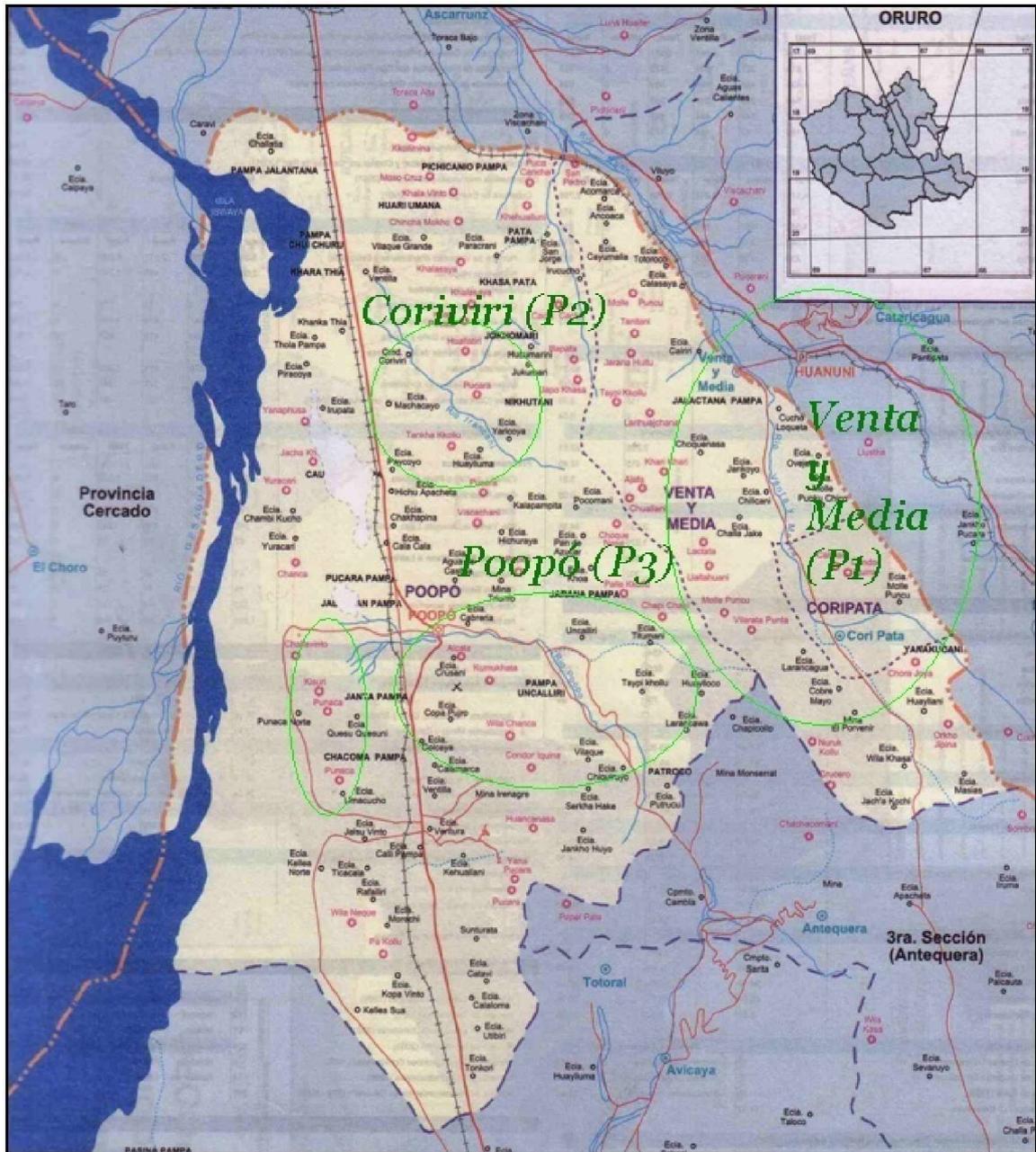
Según Costa Ardúz 2001, el municipio de Poopó cuenta 718,66 Kilómetros Cuadrados (Km²) de superficie, divididos de la siguiente manera:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Cantón Poopó | 554,12 Km ² |
| 2. Cantón Venta y Media | 80,64 Km ² |
| 3. Cantón Coripata | 83,90 Km ² |



¹PDM (Plan de Desarrollo Municipal del Municipio Poopó 2007-2011).

Figura 1: División Política del Municipio de Poopó con la ubicación de las Microcuencas en estudio



FUENTE: ATLAS ESTADÍSTICO DE MUNICIPIOS DE BOLIVIA 2005

3.2. Ecología del Municipio.

3.2.1. Ecosistema.

a) Pisos Ecológicos.

De acuerdo al mapa ecológico de Bolivia (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios MACA 1975), el municipio se encuentra en el piso ecológico MONTANO-ESTEPA cuya leyenda es **e-MST**. A su vez parte de su territorio se halla comprendido en el piso SUB-ALPINO BOSQUE HUMEDO, cuya leyenda es **bh-SAST**. La puna húmeda se distribuye bajo un patrón topográfico más o menos uniforme entre los 3.000 a 4.200 msnm interrumpido por áreas sometidas a la acción antrópica de cultivos de solanáceas, chenopodiáceas, gramíneas y leguminosas principalmente. La vegetación se caracteriza por gramíneas duras dispuestas en macollos y arbustos resinosos y las serranías están caracterizados por matorrales bajos. (PDM Poopó, 2007).

b) Clima.

Puede clasificarse árido a semiárido, con una **precipitación** media anual de 427 milímetros, siendo los meses de Diciembre a Marzo los más lluviosos y la época seca es de Abril a Octubre. La **evapotranspiración** es alta, determinando un elevado déficit hídrico. Las heladas y las granizadas que se presentan entre los meses lluviosos y la época de maduración de las cosechas, determinan que la actividad agrícola sea de alto riesgo (PDM de Poopó, 2007).

La **temperatura** media se encuentra entre 6 y 8°C y los valores extremos oscilan entre -3.05°C y 19.66°C. La dirección del **viento** es un elemento que actúa como agente de erosión, superando algunos meses, los 40 km/h originando casos tormentas de arena en varias partes de la zona. El efecto esta incrementándose por la falta de cobertura vegetal (árboles, arbustos y otros) que ocasionan una mayor fuerza y velocidad, en una dirección principal paralela al eje de la cordillera oriental o sea: sur-este y sur. Los vientos fuertes incrementan la vaporación, secan las

plantas en pocos días, conjugando sus efectos con el sol y las heladas (PDM de Poopó, 2001).

3.3. Fisiografía y Geología del Municipio.

El distrito minero Poopó está ubicado en el borde occidental de la Cordillera Oriental (Faja polimetálica), donde las colinas más altas se encuentran conformadas por rocas resistentes (areniscas, cuarcitas y limonitas de la formación Llallagua), mientras que las zonas bajas se hallan constituidas por lutitas y limonitas de la formación Uncía. En sus laderas se tienen, presente a los pie de monte y abanicos aluviales que en conjunto forman los declives que es una característica geomorfológica que indica la presencia de una falla regional conocida como Falla Poopó, la misma que abarca desde Machacamarca hasta Uyuni. Además de la presencia de escarpes en las laderas que dan lugar a la formación de los valles colgantes de origen geológico Holoceno sedimentario coluvial y gran parte de los suelos se hallan en una posición fisiográfica de terrazas (Chura, 2009).

3.3.1. Mineralogía

Caracterizan la zona polimetálica los **sulfoestannatos argentíferos**-frankeita, cilindrita y teallita, estannita, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, **sulfoantimoniuros de plomo**, jamesonita, boulangerita, zinkenita, **platas negras**, argirodita y accesoriamente estibina, wurtzita, pirrotina, oro nativo en una ganga de pirita, siderita cuarzo y marcasita¹. La franja de zinc, plata y estaño de Poopó – Candelaria, por sus rasgos correspondería al modelo de depósitos vertiformes polimetálicos de tipo boliviano, vinculado a intrusiones félsicas subvolcánicas de pequeñas dimensiones, y alteración hidrotermal zonada respecto a los cuerpos ígneos y varios yacimientos estanníferos al NE; E y SE de Poopó², como son Monserrat, Challa Apacheta y otros. (MEDMIN, 2006).

² Proyecto Medio Ambiente Industria y Minería Viceministerio de Minería y Metalurgia – MEDMIN. Caracterización Geológico – Minera Ambiental y Socioeconómico

3.4. Aspectos económico-productivos.

3.4.1. Sistema de producción agrícola.

Tabla 10.- Los principales cultivos agrícolas practicados en el municipio de Poopó son los siguientes:

| CULTIVO | VARIEDAD s | SIEMBRA | COSECHA | ENFERMEDAD s | PLAGAS |
|--------------------------------------|--|---------------------|------------------|---|-----------------------------|
| Papa (Solanum tuberosum) | Huaycha y sani imilla, pali-yari-lucki | Octubre-noviembre | Abril-mayo | Sarna común Tizón tardío-tempra de la papa | Gorgojo de los andes |
| Quinoa (Chenopodium quinoa) | Sajama y real | Agosto-septiembre | Marzo-abril-mayo | Mildium de la quinoa | Kona Kona Ticona |
| Trigo (Triticum aestivum) | Pilancha | Noviembre-diciembre | Marzo-abril | Carbón volador | Pájaros |
| Haba (Vicia faba) | Criolla y habilla | Agosto-septiembre | Marzo-abril-mayo | Mancha chocolatada | Gusano cortador Pulgones |
| Alfalfa (Medicago sativa) | Ranger y pampa flor | Diciembre-enero | Diciembre-marzo | | Liebre |
| Cebada (Hordeum vulgare) | Criolla | Diciembre-enero | Marzo-abril | Carbón volador | Pájaros Liebre |

FUENTE: Elaboración propia basado en el DIAGNOSTICO COMUNAL 2006

3.4.2. Destino de la producción agrícola.

Gran parte de la producción agrícola, prácticamente es para el consumo familiar, sin embargo, también se comercializa la papa, quinoa, haba y alfalfa en pequeñas cantidades. Los lugares de venta de los productos y sub-productos de la agricultura son las ferias que se llevan en Challapata, Oruro, Poopó, Venta y Media, Huanuni y otras de menor trascendencia. (PDM de Poopó, 2007).

3.5. Descripción de las principales Microcuencas del municipio de Poopó.

3.5.1. Microcuenca Venta y Media

Se caracteriza por la producción de haba, papa, quinua y cebada de manera extensiva, generalmente a secano y solo presenta riego en la parte baja de la micro-cuenca. También las serranías presentan un gran potencial para la ganadería camélida (Chura, 2009). Está micro-cuenca en la parte alta presenta dos minas en operación, la mina Frontanilla muy próxima a la comunidad de Challa Apacheta y la mina Villa Esperanza muy cerca a la localidad de Cobremayu y en la parte media de la micro-cuenca en la estancia Molle Puncu se encuentra la mina Molle Puncu actualmente abandonada.

3.5.2. Microcuenca Coriviri

Se caracteriza por la producción de cultivos y forrajes como haba, cebada, papa y alfalfa destinados para el autoconsumo y la comercialización. Así mismo al presentar una fisiografía de valle podemos encontrar árboles, arbustos que enriquecen el paisaje. En la parte media de la micro-cuenca se halla la planta de concentración que no está en operación, donde se evidencia escombros de mina y socavones abandonados.

3.5.3. Microcuenca Poopó

Se caracteriza por la producción limitada de papa y cebada destinada para autoconsumo. En esta micro-cuenca se desarrolla una gran actividad minera. Así en la parte baja de la micro-cuenca se encuentra la mina Tiahuanacu y San Francisco actualmente en operación y la mina Machacamarquita que se halla abandonada próxima a la comunidad Viejo Poopó.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales.

4.1.1. Material de gabinete

Se utilizaron cartas topográficas nacionales a escala 1:100000, mapas temáticos (políticos, geológicos, hidrológicos y de cobertura vegetal).

4.1.2. Material de Campo

4.1.2.1. Materiales de muestreo de suelos y productos agrícolas

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Pala, Picota, Barreno, Plomada y Cuchillo.
- Balde, Bolsas plásticas, Yute, Cordel de 5 a 7 m, Estaca.
- Flexómetro, Balanza portátil y Nivel de cuerda.
- Material etiquetador (Marcador indeleble, Cinta maskín)
- Libreta de apuntes.
- Cámara fotográfica

4.1.3. Material de laboratorio

4.1.3.1. Materiales del Procedimiento Experimental

- Micropipeta automáticas fijas y variables: Rango 100 μ L, 1000 μ L y 1-5 mL.
- Puntas Plásticas desechables.
- Matraces aforados de 10, 25 y 50 mL clase A.
- Espátulas, Cuchillo o bisturí.
- Embudo de vástago pequeño.
- Papel de Aluminio.

- Piseta de plástico
- Vasos precipitados de 500 ml.
- Gradilla de madera
- Probeta graduada de 100 y 1000 ml
- Agitador eléctrico y Agitador de madera.
- Tamiz de malla 2 mm
- Termómetro (°C).

4.1.3.2. Equipos

- Espectrofotómetro de Absorción atómica Perkin AAnalyst 100.
- Sistema de Horno de Grafito HG – 850 incluye Automuestreador AS – 800.
- Horno de Microondas Antón Paar Multiwave 3000 con Rotor SXQ80
- Balanza analítica resolución 0.0001g., Balanza Eléctrica “Metler Toledo”
- Extractor de gases corrosivos
- Lámpara EDL (para arsénico). Perkin Elmer System2 Serial N° 09625
- Potenciómetro Beckman.
- Hidrómetro (ASTM152H.)

4.1.3.3. Reactivos

- Agua destilada y Agua desionizada
- Ácido Nítrico Instra Analyzed HNO₃ 70%. d:1.41g/mL. Bidestilado
- Ácido Clorhídrico HCl 38%. d:1.19g/mL. Bidestilado
- Peróxido de Hidrógeno 30% V
- Solución STD Plomo (lead) Blei-Standardlösung Pb(NO₃)₂ en HNO₃ 0,5 mol/L 1000mg/L Pb MERCK.
- Solución STD Arsénico (arsenic) en HCl diluido 1000mg/L As
- Modificador AA 10% NH₄H₂PO₄ PERKIN ELMER part.
- Ioduro de Potasio. KI. 99,5%. ; Acetileno puro (Gas) m=5Kg _{mcilindro} =48Kg
- Hidróxido de Sodio, NaOH y Ácido Ascórbico, (C₆H₈O₆, pro-analysi).

- Argón Ultrapuro (Gas) Argón Ar Analítico comprimido.
- Cloruro de Potasio KCl
- Hexametáfosfato de sodio.

4.2. Metodología

a) Fase de Gabinete

Consistió en recabar información cartográfica, imágenes satelitales y estudios referidos al tema objeto del presente estudio (Economía Ambiental - UMSA y MEDMIN) los mismos que apoyaron la planificación de este estudio.

b) Fase de Campo.

i) Reconocimiento de campo. Se realizó (13 al 15 de marzo del 2008). Juntamente con autoridades locales y agricultores se visitaron las parcelas agrícolas tomando en cuenta las aéreas de mayor producción agrícola identificando así tres micro-cuencas:

- ü Micro-cuenca Venta y Media (P1).
- ü Micro-cuenca Coriviri (P2).
- ü Micro-cuenca Poopó (P3).

Donde la producción agrícola es limitada pero persiste en el tiempo asegurando la alimentación de la región.

ii) Selección de parcelas evaluadas. Se efectuó (en la cuarta semana del mes de abril de 2008). La evaluación de los suelos de las parcelas agrícolas se realizó desde el punto de vista de:

**** Ubicación en la micro-cuenca,** para facilitar la selección de las parcelas representativas en cada zona y divisar el efecto de la contaminación a diferentes alturas, se dividió en partes: Alto, Medio y Bajo en cada micro-cuenca.

**** Cercanía a la actividad minera,** debido a que la actividad minera se halla distribuido en diferentes partes.



Foto 1. Chatarras que generan una serie de problemas ambientales. Comunidad Challa Apacheta.



Foto 2. Inadecuada disposición de colas. Comunidad Challa Apacheta.



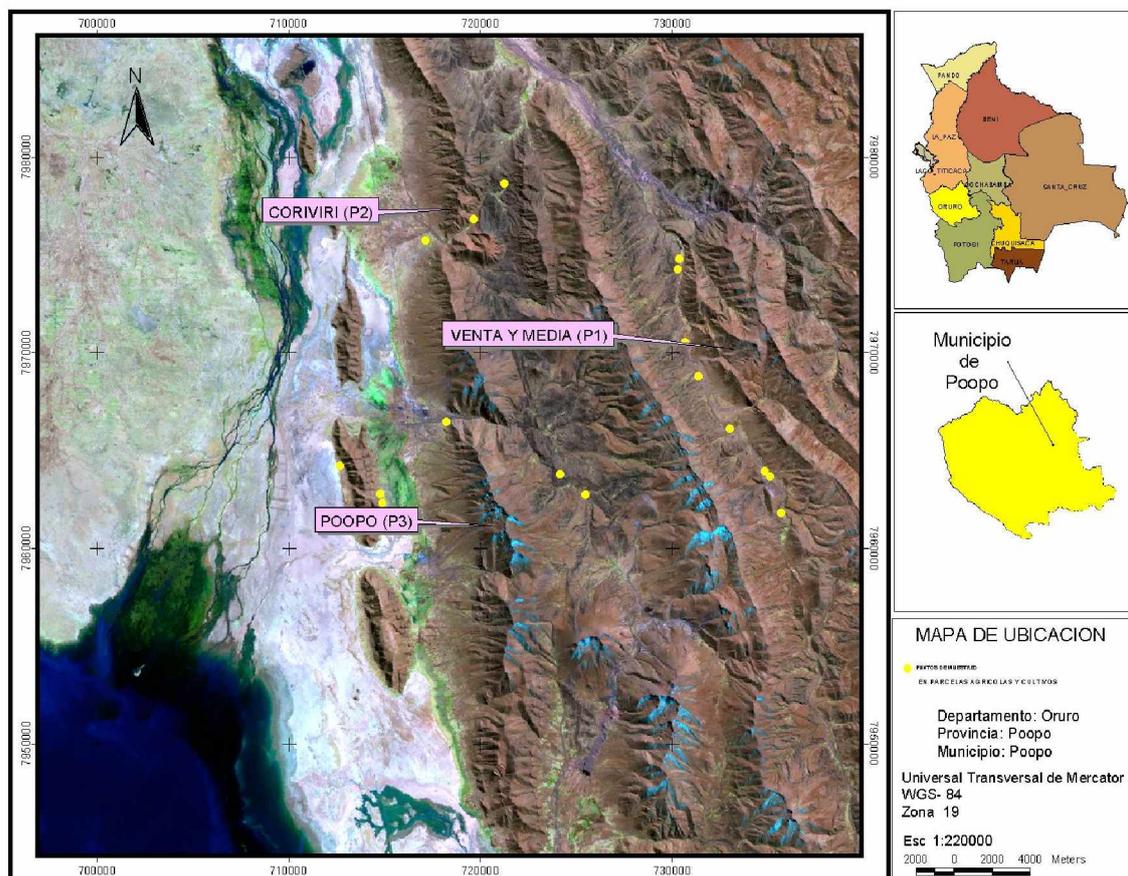
Foto 3. Aguas de copagira en dirección hacia áreas de cultivo. Cantón Coripata



Foto 4. Inadecuada disposición de desmontes a la intemperie. Microcuenca Poopó.

**** Zonas con actividad agrícola,** en las diferentes alturas se identificaron vegetación en común (haba, cebada, papa y alfalfa) entre las parcelas para la determinación del contenido de metales pesados en la biomasa de está, con algunas excepciones en las micro-cuencas. No se pudo evitar la cercanía de los cultivos a las carreteras en algunos casos, reflejando la realidad de la práctica agrícola de la región.

Figura 2: Ubicación general de los puntos de muestreo en la Microcuenca de Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3).



Los productos agrícolas y los suelos de las parcelas agrícolas fueron seleccionados por su disponibilidad (en la época de cosecha en el mes de abril de 2008) en las tres partes determinadas, respetando las características propias de cada unidad con el fin de observar la distribución de los metales pesados (contaminantes).

Tabla 11.- Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Venta y Media (P1).

| Nº | MICRO CUENC | CODIGO PARCELA | LOCALIDAD | PARTE | ALTTUD m.s.n.m. | COOR GEOGRAF | | FISIOGRAFIA | DESCRIPCION |
|----|--------------------|----------------|-----------------------|-------|-----------------|--------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | X | Y | | |
| 0 | VENTA Y MEDIA (P1) | VM1AA | Condor Apacheta | ALTA | 4160 | 732705 | 7961360 | Valle Colgante | asecano con presencia de vertientes |
| 1 | | VM1H | Challa-apacheta | ALTA | 4114 | 732094 | 7963225 | Pie de Monte | asecano |
| 2 | | VM1C | Challa-apacheta | ALTA | 4114 | 732094 | 7963225 | Terraza | asecano cerca al camino |
| 3 | | VM1P | Ayllu Coripata | ALTA | 4108 | 731854 | 7963505 | Pie de Monte | asecano cerca al camino |
| 4 | | VM2H | Coripata Alta | ALTA | 4074 | 730026 | 7965664 | Terraza | asecano |
| 5 | | VM2C | Coripata Alta | ALTA | 4074 | 730026 | 7965664 | Terraza | asecano |
| 6 | | VM2P | Coripata Alta | ALTA | 4074 | 730026 | 7965664 | Terraza | asecano |
| 7 | | VM3H | K'ara jara | MEDIA | 4028 | 728394 | 7968356 | Terraza | asecano |
| 8 | | VM3C | K'ara jara | MEDIA | 4028 | 728394 | 7968356 | Terraza | asecano |
| 9 | | VM3P | K'ara jara | MEDIA | 4028 | 728394 | 7968356 | Terraza | asecano |
| 10 | | VM4H | Frente al mullu punku | MEDIA | 4004 | 727672 | 7970117 | Valle de fondo | con riego |
| 11 | | VM4C | Frente al mullu punku | MEDIA | 4004 | 727672 | 7970117 | Terraza | asecano |
| 12 | | VM4P | Frente al mullu punku | MEDIA | 4004 | 727672 | 7970117 | Terraza | asecano |
| 13 | | VM5H | Asanquera | BAJA | 3952 | 727282 | 7973822 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río |
| 14 | | VM5C | Asanquera | BAJA | 3952 | 727282 | 7973822 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río |
| 15 | | VM5P | Asanquera | BAJA | 3952 | 727282 | 7973822 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río |
| 16 | | VM6H | Asanquera | BAJA | 3948 | 727358 | 7974353 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río |
| 17 | | VM6C | Asanquera | BAJA | 3948 | 727358 | 7974353 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río |
| 18 | VM6P | Asanquera | BAJA | 3948 | 727358 | 7974353 | Fondo de Valle | Cultivos a los bordes del río | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Ubicación de los puntos de muestreo en la micro-cuenca Venta y Media (P1).

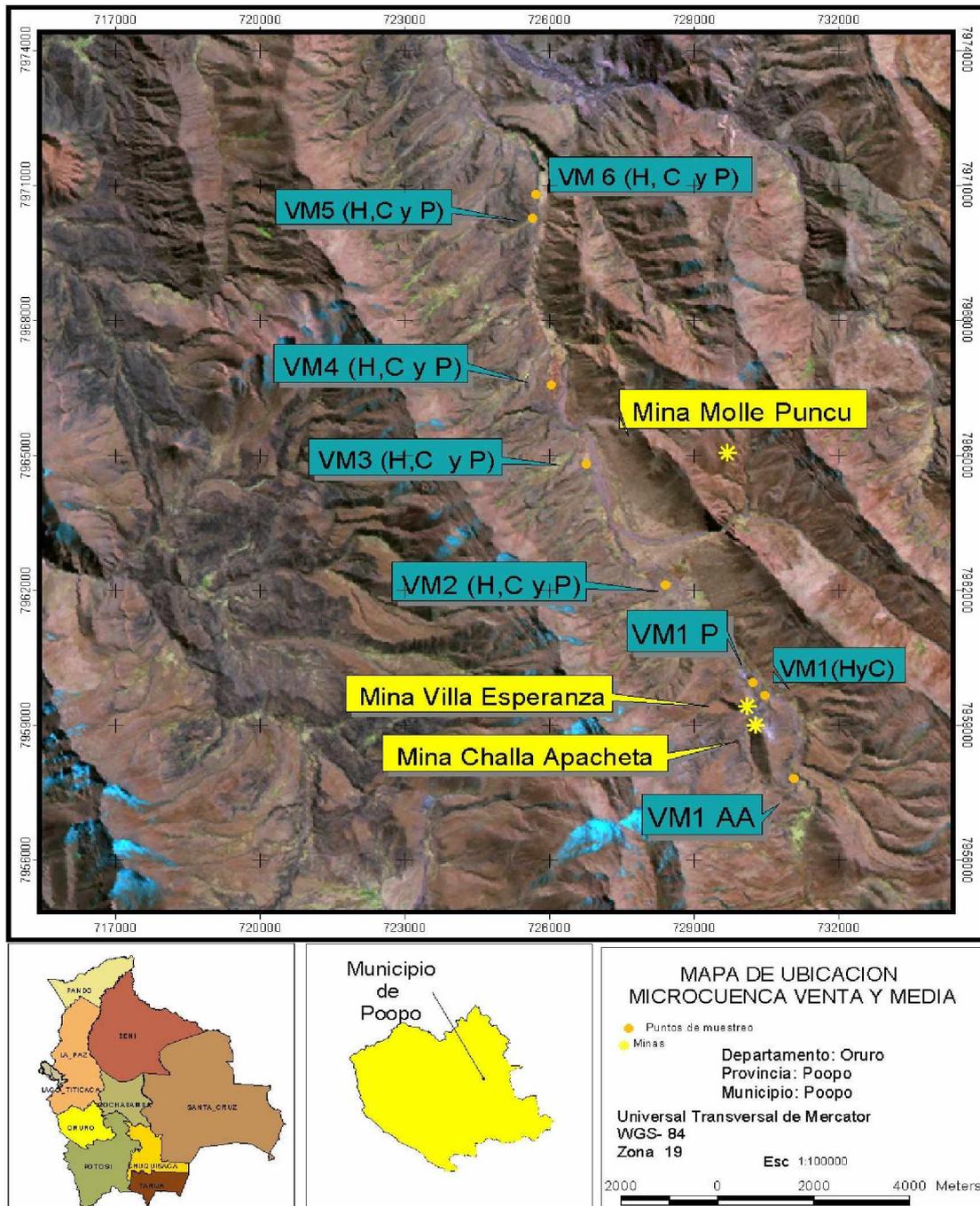


Tabla 12.- Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Coriviri (P2).

| Nº | MICRO CUENC | CODIGO PARCELA | LOCALIDAD | PARTE | ALTITUD (m.s.n.m.) | COOR GEOGRAF | | FISIOGRAFIA | DESCRIPCION |
|----|--|----------------|-----------|-------|--------------------|--------------|---------|----------------|------------------------------|
| | | | | | | X | Y | | |
| 19 | C O R I V I R I (P 2) | COR1H | Jucumari | ALTA | 3868 | 718260 | 7978230 | Valle Colgante | Con riego |
| 20 | | COR1C | Jucumari | ALTA | 3868 | 718260 | 7978230 | Valle Colgante | Con riego |
| 21 | | COR1P | Jucumari | ALTA | 3868 | 718260 | 7978230 | Valle Colgante | Con riego |
| 22 | | COR1AA | Jucumari | ALTA | 3868 | 718260 | 7978230 | Valle Colgante | asecano al bordes del camino |
| 23 | | COR2H | Coriviri | MEDIA | 3795 | 716650 | 7976396 | Terraza | asecano en pendiente |
| 24 | | COR2C | Coriviri | MEDIA | 3795 | 716650 | 7976396 | Terraza | asecano en pendiente |
| 25 | | COR2P | Coriviri | MEDIA | 3795 | 716650 | 7976396 | Terraza | asecano en pendiente |
| 26 | | COR2AA | Coriviri | MEDIA | 3795 | 716650 | 7976396 | Terraza | asecano en pendiente |
| 27 | | COR3H | Coriviri | BAJA | 3747 | 714161 | 7975293 | Llanura | Con riego por ocasión |
| 28 | | COR3C | Coriviri | BAJA | 3747 | 714161 | 7975293 | Llanura | Con riego por ocasión |
| 29 | | COR3P | Coriviri | BAJA | 3747 | 714161 | 7975293 | Llanura | Con riego por ocasión |
| 30 | | COR3AA | Coriviri | BAJA | 3747 | 714161 | 7975293 | Llanura | Con riego por ocasión |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Ubicación de los puntos de muestreo en la Microcuenca Coriviri (P2).

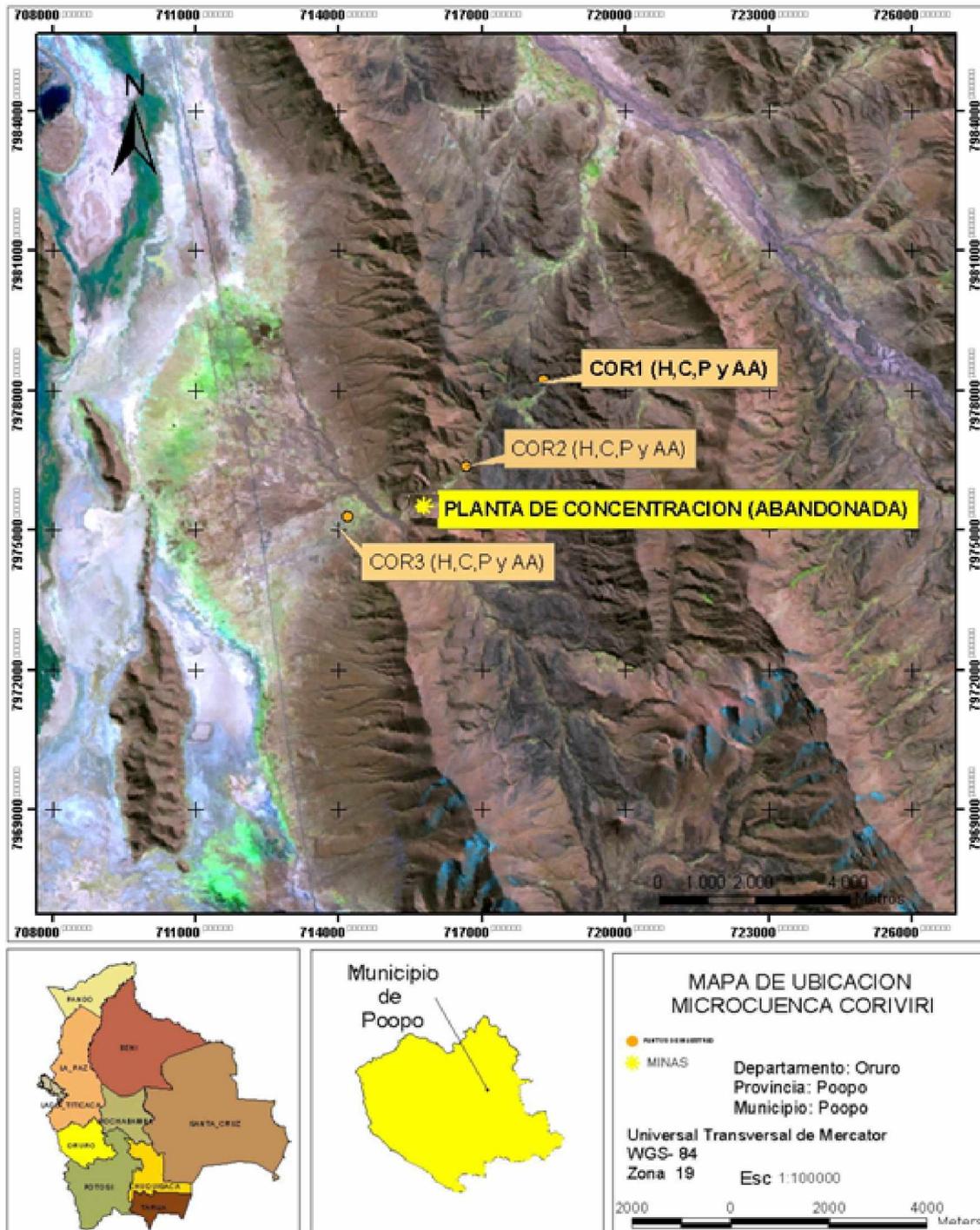
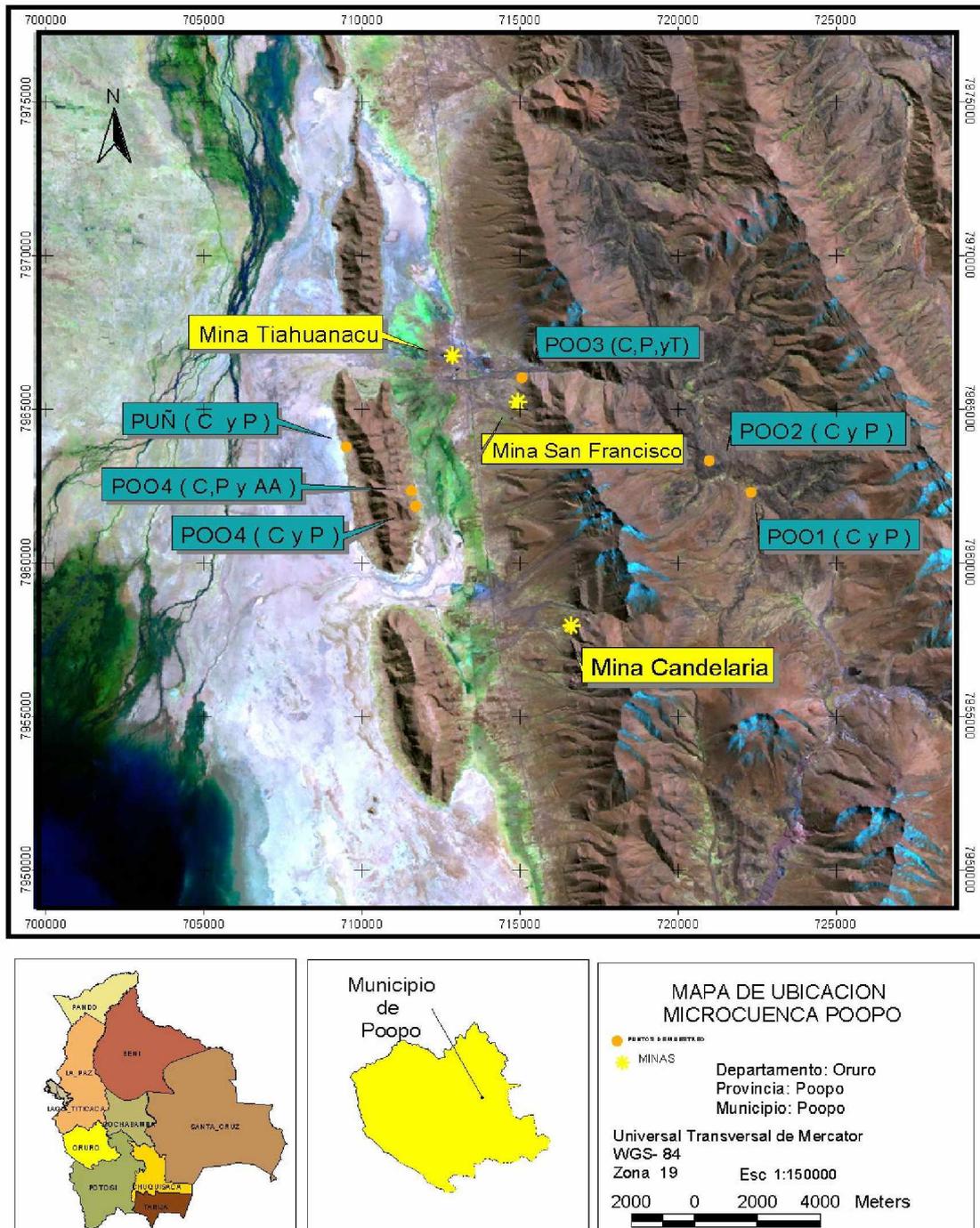


Tabla 13.- Ubicación geográfica de los puntos de muestreo con su identificación de unidades fisiográficas en la Microcuenca de Poopó (P3).

| Nº | MICRO CUENC | CODIGO PARCELA | LOCALIDAD | PARTE | ALTITUD (m.s.n.m.) | COORDENADAS | | FISIOGRAFIA | DESCRIPCION |
|----|---|----------------|----------------------|-----------|--------------------|-------------|---------|--------------|--|
| | | | | | | X | Y | | |
| 31 | P O O P O (P 3) | POO1C | Machacamarca Central | ALTA | 3926 | 722501 | 7962298 | Terraza | Asecano |
| 32 | | POO1P | Machacamarca Central | ALTA | 3926 | 722501 | 7962298 | Terraza | Asecano |
| 33 | | POO2C | Kalajawira | MEDIA | 3906 | 721182 | 7963346 | Pie de Monte | Asecano cerca al camino |
| 34 | | POO2P | Kalajawira | MEDIA | 3906 | 721182 | 7963346 | Pie de Monte | Asecano cerca al camino |
| 35 | | POO3C | Casa del Campamento | BAJA | 3838 | 715244 | 7966027 | Pie de Monte | Asecano sobre el camino/sin el funcionamiento de riego |
| 36 | | POO3P | Casa del Campamento | BAJA | 3838 | 715244 | 7966027 | Pie de Monte | Asecano sobre el camino/sin el funcionamiento de riego |
| 37 | | POO3T | Casa del Campamento | BAJA | 3838 | 715244 | 7966027 | Pie de Monte | Asecano sobre el camino/sin el funcionamiento de riego |
| 38 | | POO4C (Alta) | Quesu Qesuni | SUB- BAJA | 3718 | 711758 | 7962349 | Pie de Monte | Asecano/con deficit de agua para riego |
| 39 | | POO4C | Quesu Qesuni | SUB- BAJA | 3715 | 711874 | 7961862 | Llano | Asecano/con deficit de agua para riego |
| 40 | | POO4P (Alta) | Quesu Qesuni | SUB- BAJA | 3718 | 711758 | 7962349 | Pie de Monte | Asecano/con deficit de agua para riego |
| 41 | | POO4P | Quesu Qesuni | SUB- BAJA | 3715 | 711874 | 7961862 | Llano | Asecano/con deficit de agua para riego |
| 42 | | POO4AA | Quesu Qesuni | SUB- BAJA | 3715 | 711874 | 7961862 | Llano | Asecano/con deficit de agua para riego |
| 43 | | PUÑ4P | Puñaca | SUB- BAJA | 3711 | 709686 | 7963788 | Pie de Monte | Asecano/con presencia de elevada salinidad Visible |
| 44 | | PUÑ4C | Puñaca | SUB- BAJA | 3711 | 709686 | 7963788 | Pie de Monte | Asecano/con presencia de elevada salinidad |

Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Ubicación de los puntos de muestreo en la Microcuenca Poopó (P3)



c) Fase Laboratorio.

Se ejecutó los procedimientos de preparación de las muestras de suelo y cultivos agrícolas, con su respectivo análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos considerados para su evaluación detallados en la metodología respectiva para cada objetivo.

4.2.1. Caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de las parcelas agrícolas.

4.2.1.1. Muestreo de suelos

Se efectuó en la (cuarta semana del mes de abril del 2008). Se obtuvo la muestra compuesta-homogénea de aproximadamente 2 kg, de cada parcela agrícola, la misma que representó toda el área objeto de estudio, en base a 15 sub-muestras. Es decir, únicamente la muestra compuesta-homogénea se sometió al análisis químico cuyo resultado arrojó “un promedio” del estado de un lote. Para tal fin se sacaron muestras hasta una profundidad de 20 cm. Profundidad a la que llegan los implementos de aradura y que es generalmente 20 cm, coincidiendo con la profundidad a la cual desarrollan el mayor porcentaje de raíces de los cultivos. (Chilón, 2000?).



Foto 5. Muestreo del suelo con ayuda del barreno helicoidal.



Foto 6. Cuarteo de las muestras de suelo agrícola para alcanzar la homogeneidad.

La mayor parte de

los oligoelementos, y especialmente los metales pesados, se acumulan en la superficie del suelo, debido tanto a la contaminación local como al transporte vía aire de los contaminantes desde largas distancias (Kabata-Pendias, 2000).

Los puntos específicos para la toma de cada sub-muestra (hoyos) fueron equidistantes y determinados a través de un recorrido (transecto) en “zig zag” recomendado por (Chilón, 2000). A lo largo de éste recorrido se tomó cuantas sub-muestras eran necesarias para cubrir toda el área (Foto 7). Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno grueso (27x33 cm), debidamente numeradas y etiquetadas.



Foto 7. Forma de la realización del muestreo “Transecto en zig-zag” en las parcelas agrícolas de manera efectiva.

4.2.1.2. Codificación de muestras.

El primer símbolo: letras en mayúscula correspondiente a las micro-cuencas en estudio: (**VM, COR, POO**).

Segundo símbolo: es numérico correspondiente a la parte (Alta=1, Medio=2 y Bajo=3). Considerando que para la micro-cuenca Poopó se tomó en cuenta la parte (Sub-Baja=4) que pertenece a las llanuras de infiltración.

Tercer símbolo: letra en mayúscula correspondiente al tipo de cultivo (**Haba, Papa, Cebada y Alfalfa**).

Tabla 14.- Ejemplo de codificación de las muestras de suelos y cultivos agrícolas.

| Codificación para suelos agrícolas | Codificación para cultivos agrícolas |
|---|---|
| COR1H | COR1H Veg. |
| POO2C | POO2C Veg. |
| VM3P | VM3P Veg. |

4.2.1.3. Preparación de la muestra de suelo

La desecación de las muestras de suelo se hizo en dos meses (mayo y junio del 2008), en un ambiente cerrado (laboratorio) donde los rayos del sol no ingresaron para evitar la evaporación de algunos elementos, a temperatura ambiente de 17° C libre de contaminantes (Foto 8). Los suelos para los análisis físicos, químicos y biológicos fueron desterronados y tamizados, pasando por una malla milimétrica de 2 mm de diámetro. Las muestras se pesaron en una balanza analítica destinando:

- * 30 g de suelo para la determinación de pH con agua destilada.
- * 30 g de suelo para la determinación de pH con ClK
- * 30 g de suelo para la determinación de la Conductibilidad Eléctrica.
- * 50 g de suelo para la determinación de la textura.
- * 200 g de suelo para la determinación de las propiedades químicas convencionales.



Foto 8. Secado de las muestras de Suelo



Foto 9. Mezcla, Partición de las muestras de suelo. Implementos de seguridad en el laboratorio como barbijo, guardapolvo, gorra y guantes.

4.2.1.4. Análisis de parámetros

4.2.1.4.1. Propiedades Físicas (Octubre-2008)

- **Pendiente.** Se realizó por el método indirecto de la Soga (Orsag, 2006), utilizando un cordel, flexometro, nivel de cuerda y plomada, consiste en determinar el desnivel del suelo. Con los valores obtenidos se reemplazó en la fórmula de la pendiente $[\%Pend = ((H altura)/(L distancia)) * 100\%]$ y se calculó su valor expresado en porcentaje. Detallado en Anexos A.



Foto 10.



Foto 11.

Foto 10 y 11. Determinación de la Pendiente por el método del cordel con el empleo de la plomada, cordel, nivel de cuerda y flexómetro.

- **Profundidad efectiva.** Se determinó en base a la profundidad del suelo en el cual las raíces se desarrollan adecuadamente para aprovechar los nutrientes y agua, en función al requerimiento de cada cultivo para el desarrollo de sus raíces,

Se ahuecó la superficie del suelo hasta encontrar el punto donde las raíces se desarrollan adecuadamente, posteriormente se tomó la altura a ese nivel con ayuda de un flexómetro. Dicha magnitud se expresó en centímetros.



Foto 12. Medición de la profundidad efectiva del suelo con ayuda del flexómetro.

- **Contenido de materia gruesa (gravilla).** Consistió en la determinación de partículas mayores a 2 mm de diámetro a través del tamizado, lavado y secado de la muestra problema. El cual recibe el adjetivo apropiado de gravoso o pedregoso. Expresando el valor en porcentaje a través de una relación con el peso inicial de la muestra. Detallado en Anexos A.



Foto 13. Proceso de determinación de Grava. Empleo de las medias nilón para escurrir el agua con suelo de tal manera que se obtenga la fracción de partículas sólidas.



Foto 14. Partículas sólidas mayores a dos milímetros como se observa en los platillos la grava pura.

- **Textura.** La técnica que se utilizó fue la del Hidrómetro de Bouyoucus. Es un procedimiento en el cual la densidad de la suspensión es medido por un hidrómetro a diferentes tiempos, de acuerdo con la velocidad de caída de las partículas, la que esta en relación a su diámetro siguiendo las instrucciones de (Chilón, 2000 y

Miranda, 2005). Y para su interpretación se utilizó el triángulo textural, según el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Detallado en Anexo A.



Foto 15. Agitador eléctrico que sirve para disolver el suelo en un líquido. Proceso que facilita la determinación de la textura.



Foto 16. Probetas graduadas conteniendo la solución de suelo más agua destilada y Hexametáfosfato de sodio en la determinación de la textura.

4.2.1.4.2. Propiedades Químicas y Biológicas (Septiembre-2008)

- **Reacción del suelo (pH) en solución.** Se determinó mediante el método del potenciómetro en una relación de suelo: agua de 1: 2,5 respectivamente y también suelo: solución de Cloruro de Potasio (ClK) 1: 2,5. El cual se realizó en el laboratorio de la Facultad de Agronomía (UMSA) del departamento de La Paz. Y para la apreciación se fundamentó en el manual de interpretación de análisis de suelos (Villarreal, 1997).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).** Que es la sumatoria de las Bases cambiables más Acidez cambiante. Las muestras obtenidas se enviaron al laboratorio del (IBTEN) Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear, la metodología que se empleó fue la extracción con ayuda del Acetato de Amonio, previo lavado con alcohol. Los valores fueron expresados en (cmol/Kg).

- **Conductividad Eléctrica.** Se determinó con la ayuda del potenciómetro en una proporción suelo-agua de 1: 2,5; realizada en el laboratorio de la Facultad de

Agronomía (UMSA) del departamento de La Paz. Los valores fueron expresados en ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Detallado en Anexos A.

- **Fosforo Asimilable.** Se empleo el Método de Olsen Modificado, fue realizado en el laboratorio del (IBTEN) Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. Expresando la magnitud en parte por millón.

- **Nitrógeno total.** Método utilizado fue Macro Kjeldahl el cual fue realizado en el laboratorio del (IBTEN) Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. Expresando sus valores en porcentaje.

- **Materia Orgánica.** Se determinó por el Método de Walkley y Black en el laboratorio del IBTEN (Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear). Expresando el valor en porcentaje.

- **Fertilidad Potencial.** En base a los parámetros químicos se calculó la fertilidad de los suelos de las parcelas agrícolas de las tres micro-cuencas en estudio, para ello se utilizó la metodología recomendada por CUMAT, que sugiere el uso de la tabla planteada por IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (Anexo B; Tabla 50). Los parámetros evaluados son: Acidez (pH), Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.), Total de Bases intercambiables (T.B.I.), Saturación de bases (%S.B.), Carbono Orgánico (%C), Nitrógeno total (Nt) y Fósforo disponible (Pd).

4.2.2. Cuantificación de los contenidos totales de los metales pesados (Zn, Cd, Pb) y otros como el As, en los suelos de las parcelas agrícolas.

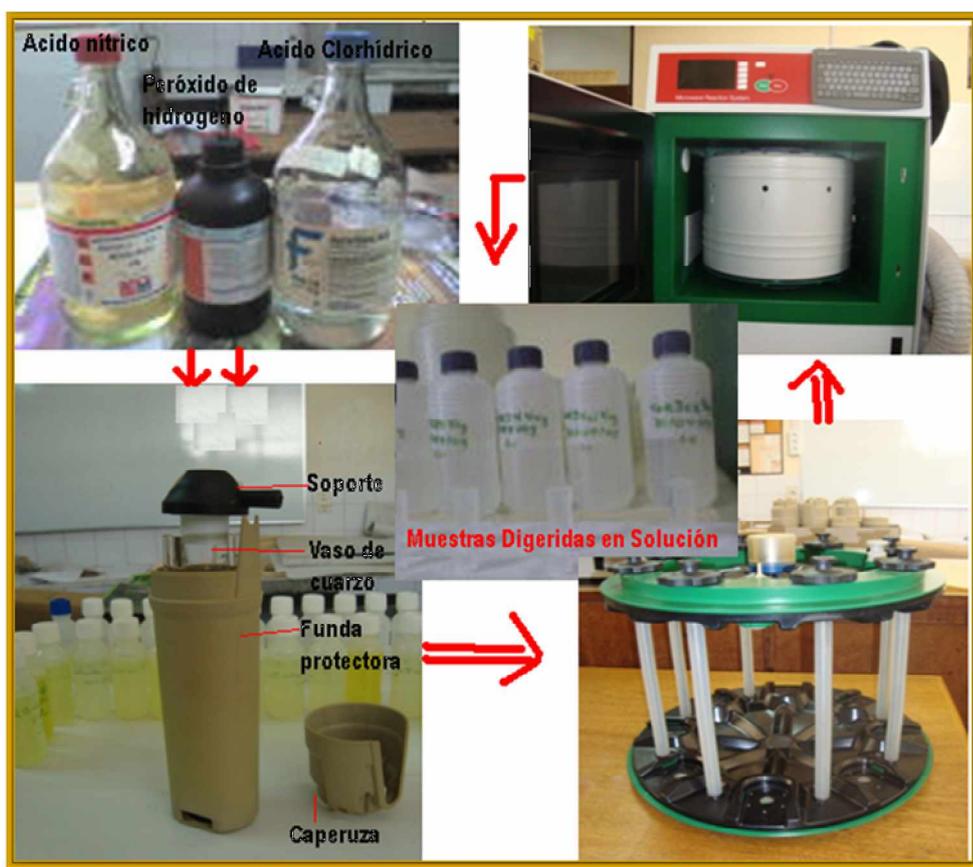
4.2.2.1. Muestreo de suelos y preparación de la muestra.

El muestreo de suelos fue realizado según el método empleado por Chilón y descrito en el (sub-título 4.2.1.1). Para la preparación de la muestra se siguió la misma metodología empleada para las características físicas-químicas con la diferencia que se destinó 50 g de suelo para su posterior análisis.

4.2.2.2. Digestión de Muestras Secas (Suelos Agrícolas)

El método para determinar la concentración de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico, en muestras de suelo agrícolas, requiere que dichos analitos se encuentren en solución. Para dicho fin se procedió a eliminar la materia orgánica mediante el Proceso de Digestión ácida en Horno de Microondas, que nos garantizó seguridad de manera práctica. Este análisis se la realizó en el mes de diciembre del 2008 en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Química (UMSA) del departamento de La Paz. Se utilizó para digestión de una muestra 0,5000 g de suelo y los volúmenes de reactivos empleados fueron: 3ml Ácido Nítrico y 9 ml de Ácido Clorhídrico.

Foto 17. Conjunto de Fotografías del Proceso de Digestión.



Siguiendo las instrucciones del manual del equipo Multiwave 3000 (Anton Paar, 2006) se consiguió mineralizar las muestras secas. Detallado en Anexo A.

4.2.2.3. Análisis Cuantitativo (Suelos Agrícolas)

La determinación cuantitativa de Plomo, Arsénico, Cadmio y Zinc se realizó mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica equipo capaz de variar el método según el sistema acoplado a él.

Foto 18. Espectrofotómetro de Absorción atómica.



Se realizó las lecturas primero mediante Espectroscopia de Absorción Atómica por llama: EAA (es el caso de la lectura de Zinc), para aquellas muestras cuyos valores reportan por debajo del limite de detección, se selecciona Espectroscopia de Absorción Atómica con Horno de Grafito: EAAHG es el caso de (Plomo, Arsénico y Cadmio). Los valores fueron expresados en (mg/L). Este análisis se efectuó en el mes de (febrero, marzo y abril del 2009) en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Química (UMSA) del departamento de La Paz. Descripción del método se encuentra en Anexo A

4.2.3. Determinación de la presencia de metales pesados en productos agrícolas y forraje.

4.2.3.1. Muestreo de productos agrícolas y forraje.

En las parcelas seleccionadas donde se obtuvieron muestras de suelos, también se recolectaron muestra de vegetación, para evaluar la incidencia de los metales pesados en los productos agrícolas y forraje. Este muestreo de cultivos se la realizó en la etapa de cosecha (cuarta semana del mes de abril y primera semana del mes de mayo de 2008).

a) Cultivo: Papa (Tubérculo), se procedió a tomar muestras de la parte subterránea (tubérculo). Para tal efecto se muestrearon unas (15) plantas o más según el tamaño de la parcela en distintos puntos, utilizando el transecto en “zig zag” recomendado por (Chilón, 2000?). Luego para obtener una homogeneidad se mezcló, cuarteó y se consiguió una muestra compuesta representativa de aproximadamente 2 kg de muestra, posteriormente se la colocó en una bolsa de polietileno (27 x 33 cm), limpia de impurezas, siguiendo con su debida codificación.

b) Cultivo: Haba (Dicotiledón), se recolectó muestras de (vainas) de la parte media y superior de la planta, debido a que esta parte de la planta se la considera madura (presenta el pleno desarrollo). Para tal efecto se muestrearon unas (15) plantas o más según el tamaño de la parcela en distintos puntos al azar utilizando el transecto en “zig zag” recomendado por (Chilón, 2000). Para alcanzar la homogeneidad se mezcló, cuarteó logrando obtener una muestra compuesta de 1,5 kg; posteriormente se lo recogió en bolsas de polietileno debidamente cerradas.

c) Forraje: Cebada (Espiga), se recolectó muestras de (espiga), de la parte media y superior de la planta de cebada, dentro de la parcela se aplicó el método de transecto en “zig zag” recomendado por (Chilón, 2000). Posteriormente se acumuló todas las muestras para mezclarlas y cuartearlas de tal manera de obtener una muestra compuesta homogénea de aproximadamente 1 kg, y se la conservó en bolsas de polietileno (27 x 33 cm), debidamente cerradas y codificadas.

d) Forraje: Alfalfa (Hojas), se recolectó muestras de (hojas), considerando la parte superior y media de la planta, debido a que los animales llegan a consumir generalmente estas partes. Dentro la parcela se aplicó el método de transecto en “zig zag” recomendado por (Chilón, 2000). Siguiendo la misma metodología del cultivo de haba para su posterior análisis.



Foto 19. Muestro del cultivo de Haba (Vaina)



Foto 20. Muestreo del cultivo de papa (tubérculo).



Foto 21. Muestro del cultivo de Cebada (espiga)



Foto 22. Muestreo de la cultivo de alfalfa (hojas).

4.2.3.2. Preparación de la muestra de cultivos.

Establecidas las muestras en laboratorio, inmediatamente se procedió al lavado adecuado de los productos agrícolas y forraje (Haba, Papa, Cebada y alfalfa) con bastante agua destilada, cepillos, coladeras y papel sabana, para evitar la contaminación por algún agente externo.



Foto 23, 24. Proceso de lavado de la vaina de Haba y del tubérculo de la Papa con agua destilada.

Una vez lavadas las muestras se tardó en el secado de las mismas (aproximadamente los meses de junio y julio del 2008) ya que las hojas de la alfalfa y la espiga de cebada son bastante delicadas requiriendo de cambios de papel sabana constante. Para el análisis de los tubérculos y las vainas necesariamente se quitó las envolturas externas de estos cultivos. Para pelar la cáscara de la papa se utilizó cuchillos de plástico evitando el contacto con algún metal que altere la muestra. En el caso de las vainas del cultivo de haba fue más sencillo ya que las envolturas fueron extraídas manualmente utilizando guantes de látex.

Foto 25. Proceso de secado del tubérculo de papa a temperatura ambiente.



Foto 26.



Foto 27.

Foto 26 y 27. Proceso de secado en papel sabana a temperatura ambiente de las muestras de Haba (Dicotiledón) y Alfalfa (Hojas).

Para realizar la molienda se trabajó con grado de asepsia, se utilizó un batan plastificado con nylon en algunos casos se empleó el mortero de porcelana. Una vez bien molida las muestras (Haba-dicotiledón, Papa-tubérculo, Cebada-espiga y Alfalfa-hojas), se trasladó aproximadamente 60 g de muestra a sobres de papel sabana para su respectiva codificación.

Foto 28. Proceso de molienda del tubérculo de papa.



4.2.3.3. Digestión de Muestras Secas (Productos Agrícolas y forraje)

Las muestras secas de (Haba-dicotiledón, Papa-tubérculo, Cebada-espiga y Alfalfa-hojas), se sometió al Proceso de Digestión ácida en Horno de Microondas. Siguió la misma metodología empleada para los suelos, indicada en el (subtitulo 4.2.2.2), con la única diferencia que para la digestión de una muestra se utilizó 0.3000 g de vegetal y los volúmenes de reactivos empleados fueron: 4 ml Peróxido de Hidrogeno; 0,5 ml de Ácido Clorhídrico bidestilado y 4ml Ácido Nítrico bidestilado.

4.2.3.4. Análisis Cuantitativo (Productos Agrícolas y forraje)

Se realizó con la misma metodología descrita para los suelos.

4.2.4. Determinación de la bioacumulación de contaminantes en los productos a agrícolas y forraje.

4.2.4.1. Índice de bioacumulación.

Se determinó por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo, y para su interpretación se utilizó el grado de acumulación de: carencia 10^{-3} , ligera 10^{-2} , media 10^{-1} e intensa 10^1 (según Mas y Azcue 1993).

4.2.5. Identificación de la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores.

4.2.5.1. Elaboración de planillas

Se elaboró un cuestionario para obtener la información de la situación actual de las parcelas agrícolas, sobre el manejo de los suelos, cultivos, riego y para identificar la percepción de las comunidades sobre la contaminación. (Tabla 11; 53).

4.2.5.2. Reunión con las comunidades

Se organizaron reuniones y talleres (27 y 28 de febrero del 2008) con las autoridades locales y comunarios, con el propósito de explicar la importancia del trabajo a realizar. Destacándose la preocupación sobre la creciente contaminación en el municipio.

Foto 29. Taller participativo con los representantes de las tres micro-cuencas, realizados en la Municipalidad de Poopó.



4.2.5.3. Entrevistas

Para conocer la situación actual de las parcelas agrícolas respecto al manejo de suelo y cultivo, se realizó reuniones de manera directa con las familias de las parcelas seleccionadas. De la misma manera para identificar la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores de las micro-cuencas, se les formuló las siguientes preguntas basadas en tres ejes temáticos:

a) Manejo del cultivo y destino de la producción; b) Percepción de problemas ambientales a causa de la contaminación minera; c) Efecto en la salud humana a causa de la contaminación minera.

Estas preguntas se realizaron de manera informal sin la presencia de la hoja de cuestionario que facilitaron para que el comunario se desenvuelva con la verídica información de la situación actual. Ya que algunos pobladores son reacios a las encuestas. (Tabla 54 y 55 de Anexo C).

La información obtenida se fundamentó también en el diagnóstico realizado por Economía Ambiental con fondos ASDI-SAREC (UMSA), quienes utilizaron para la encuesta el muestreo estratificado del municipio de Poopó, realizando visitas a las viviendas seleccionadas, utilizando instrumentos que permitieron operativizar el marco de conceptos de la encuesta en base a un equipo de entrevistadores y supervisores de campo. (Chapi, 2008), Quienes trabajaron en áreas comunes al presente estudio.

4.3. Sistema de Evaluación para el contenido de metales pesados.

4.3.1. Sistema de evaluación para el contenido de elementos pesados en los suelos.

Para evaluar y cuantificar el posible grado de contaminación de los suelos de interés con metales pesados, se compararon los resultados obtenidos con los parámetros y límites propuestos (Tabla 15) por los siguientes autores:

- Máximo Permitido, propuesta por Ley de Gestión Ambiental de Ecuador y Agencia Ambiental Holandesa.

- Intervención Nivel/Peligroso, propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y Comisión de las Comunidades Europeas (CCE).

Tabla 15.- Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados totales en Suelos.

| Elemento (mg/kg) | LMP* (ECUADOR) | LMP** (HOLANDA) | IP** (HOLANDA) | FUENTE | |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--|--|
| | | | | Organismo Legislador | Referencia |
| As | 12,00 | 29,00 | 55,00 | *Ley de Gestión Ambiental del Ecuador | MEDMIN (Medio Ambiente Minería e Industria), 2006; |
| Pb | 100,00 | 85,00 | 530,00 | | |
| Cd | 2 | 0,8 | 12 | **Agencia Ambiental Holandesa-(CCE), 2002. | SIMBIOSIS (Servicios Integrales de Medio Ambiente), 2008 |
| Zn | 200 | 140 | 720 | | |

LMP: Límite Máximo Permissible; IP: Intervención Nivel/Peligroso

4.3.2. Sistema de evaluación para el contenido de elementos pesados en los Vegetales.

Para evaluar y cuantificar el posible grado de contaminación de los cultivos de interés con metales pesados, se compararon los resultados obtenidos con los parámetros y límites propuestos en la (Tabla 16) por los siguientes autores:

- Contenidos Máximos Permitidos y Excesiva o Tóxica, propuesta por (Kabata-Pendias, 2000); Chile – INN.

Tabla 16.- Concentración Tolerable, Máxima Permitida y Excesiva o tóxica de Metales Pesados Totales en Cultivos Agrícolas.

| Nivel | Elementos Concentración (mg/kg, peso seco) | | | | Fuente | Referencia |
|-----------------------|--|-----|-----|-------|------------------------------------|---|
| | As | Pb | Cd | Zn | | |
| Tolerable en cultivos | 1 | 0,5 | 0,2 | 50 | Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN | http://www2.sag.gob (en línea) |
| Contenidos Máximos | 1,7 | 5,0 | 0,5 | 100,0 | | |
| Excesiva o Tóxica | 5 | 30 | 5 | 150 | | |

Los valores no incluyen a especies muy sensibles o tolerantes.

Concentración de elementos traza para varias especies en tejidos de hojas maduras (Kabata -Pendias, 2000).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Micro-cuenca Venta y Media (P1)

5.1.1. Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media

Los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media presentan profundidades efectivas reducidas como se muestra en la tabla 17, notándose un leve incremento en la parte baja de la micro-cuenca (Comunidad: Asanquera), producto de su unidad fisiográfica de valle de fondo.

Tabla 17.- Características físicas de los suelos de la micro-cuenca Venta y Media.

| Micro cuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | Prof. Efe.(cm) | % Arena | % Limo | % Arcilla | Clase Textural | % Gravilla | % Pend. |
|--------------------|-------|----------------|-----------------------|----------------|---------|--------|-----------|-----------------------|------------|---------|
| VENTA Y MEDIA (P1) | Alto | VM1AA | Condor Apacheta | > 60 | 57,2 | 22 | 20,8 | Franco Arcillo Arenc | 41 | 12 |
| | | VM1H | Challa-apacheta | 30 | 31,2 | 40 | 28,8 | Franco Arcilloso | 9 | 18 |
| | | VM1C | Challa-apacheta | 12 | 46 | 37,2 | 16,8 | Franco | 1 | 6 |
| | | VM1P | Ayllu Coripata | 35 | 37,2 | 42 | 20,8 | Franco | 4 | 3 |
| | | VM2H | Coripata Alta | 30 | 47,2 | 32 | 20,8 | Franco | 26 | 3 |
| | | VM2C | Coripata Alta | 12 | 43,2 | 36 | 20,8 | Franco | 22 | 3 |
| | | VM2P | Coripata Alta | 33 | 46 | 35,2 | 18,8 | Franco | 27 | 3 |
| | Medio | VM3H | K'ara jara | 30 | 43,2 | 36 | 20,8 | Franco | 15 | 10 |
| | | VM3C | K'ara jara | 12 | 47,2 | 30 | 22,8 | Franco | 33 | 6,8 |
| | | VM3P | K'ara jara | 40 | 48 | 29,2 | 22,8 | Franco | 36 | 7 |
| | | VM4H | Frente al mullu punku | 30 | 17,2 | 54 | 28,8 | Franco Arcillo Limoso | 0 | 8 |
| | | VM4C | Frente al mullu punku | 12 | 29,6 | 40 | 30,4 | Franco Arcilloso | 9 | 1 |
| | | VM4P | Frente al mullu punku | 40 | 28,4 | 45,2 | 26,4 | Franco | 1 | 1,4 |
| | Bajo | VM5H | Asanquera | 32 | 47,6 | 34 | 18,4 | Franco | 8 | 3,1 |
| | | VM5C | Asanquera | 13 | 41,2 | 40 | 18,8 | Franco | 4 | 6 |
| | | VM5P | Asanquera | 45 | 39,6 | 38 | 22,4 | Franco | 9 | 5 |
| | | VM6H | Asanquera | 33 | 43,2 | 39,2 | 17,6 | Franco | 4 | 18 |
| | | VM6C | Asanquera | 12 | 56,4 | 20,8 | 22,8 | Franco Aecillo Arenc | 34 | 19 |
| VM6P | | Asanquera | 45 | 50,4 | 32,8 | 16,8 | Franco | 1 | 12 | |

Fuente: Elaboración propia

Las capas arables en su mayoría son de clase textural franco tabla 17, a excepción de los suelos agrícolas VM1AA (Comunidad: Cónдор Apacheta) ubicada en la parte

alta de la micro-cuenca y VM6C (Comunidad: Asanquera) ubicada en la parte baja de la micro-cuenca que presentan clases texturales franco arcillo arenosa, manifestándose en el porcentaje de gravilla del 41 y 34% respectivamente, atribuible a la ubicación en pendiente de 12 y 19% respectivamente, situación que favorece su alta permeabilidad y baja capacidad de retención de metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. En la parte media de la micro-cuenca los suelos de las parcelas agrícolas VM4H y VM4C (Frente al mullu punku) presentan un contenido de arcilla elevado de 28 y 30%, con clases texturales Franco arcillo limoso y Franco arcilloso respectivamente, favoreciendo estos contenidos de arcilla a la adsorción de los metales pesados.

Tabla 18.- Características químicas y biológicas de los suelos de la micro-cuenca Venta y Media.

| Micro cuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | pH(CIK) 1:25 | CE (ds/m) | CIC (cmol/kg) | M.O. (%) | Nt (%) | P asim (ppm) | |
|--------------------|-------|----------------|-----------------------|---------------|-----------|---------------|----------|--------|--------------|-------|
| VENTA Y MEDIA (P1) | Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 6,14 | 0,48 | 9,23 | 2,31 | 0,2 | 13,39 | |
| | | VM1H | Challa-apacheta | 5,91 | 0,25 | 11,66 | 1,97 | 0,1 | 28,32 | |
| | | VM1C | Challa-apacheta | 5,45 | 0,07 | 5,73 | 2,50 | 0,2 | 5,11 | |
| | | VM1P | Ayllu Coripata | 5,51 | 0,12 | 7,93 | 2,22 | 0,1 | 5,24 | |
| | | VM2H | Coripata Alta | 5,98 | 0,09 | 8,5 | 1,50 | 0,1 | 10,39 | |
| | | VM2C | Coripata Alta | 6,05 | 0,05 | 7,78 | 1,22 | 0,1 | 6,7 | |
| | | | VM2P | Coripata Alta | 5,81 | 0,09 | 7,91 | 1,79 | 0,1 | 10,69 |
| | Medio | VM3H | K'ara jara | 6,19 | 0,07 | 7,96 | 0,71 | 0,1 | 6,7 | |
| | | VM3C | K'ara jara | 6,09 | 0,08 | 9,35 | 0,91 | 0,1 | 8,24 | |
| | | VM3P | K'ara jara | 5,94 | 0,09 | 9,42 | 1,16 | 0,1 | 7,99 | |
| | | VM4H | Frente al mullu punku | 5,98 | 0,15 | 15,79 | 1,97 | 0,2 | 11,29 | |
| | | VM4C | Frente al mullu punku | 6,51 | 0,45 | 18,55 | 1,59 | 0,2 | 8,34 | |
| | | VM4P | Frente al mullu punku | 7,20 | 0,88 | 17,25 | 1,28 | 0,1 | 10,91 | |
| | Bajo | VM5H | Asanquera | 7,73 | 1,55 | 14,03 | 0,98 | 0,1 | 7,77 | |
| | | VM5C | Asanquera | 7,38 | 1,03 | 11,96 | 1,19 | 0,1 | 12,02 | |
| | | VM5P | Asanquera | 7,06 | 1,12 | 13,76 | 1,10 | 0,1 | 8,89 | |
| | | VM6H | Asanquera | 7,07 | 0,54 | 7,31 | 0,19 | 0,1 | 5,97 | |
| | | VM6C | Asanquera | 6,83 | 0,12 | 7,6 | 1,05 | 0,1 | 7,6 | |
| VM6P | | Asanquera | 7,19 | 0,50 | 7,79 | 0,79 | 0,1 | 8,11 | | |

Fuente: Elaboración propia, basada en el Manual para la interpretación de Análisis de Suelos-Villaruel (1998).

Los suelos de las parcelas agrícolas (VM1AA, VM1H, VM1C, VM1P, VM2H, VM2C, VM2P; Comunidades: Cóndor Apacheta, Challa-apacheta y Coripata) ubicados en la parte alta de la micro-cuenca Venta y Media, presentan un pH en el rango de débilmente ácidos (6 - 6,5) a moderadamente ácidos (5,3 – 5,9) como se muestra en la tabla 18, teniendo las mismas características de pH las parcelas agrícolas (VM3H, VM3C, VM3P, VM4H y VM4C; Comunidad: K'arajara y Ferente al Mullupunku) ubicadas en la parte media de la micro-cuenca. En la parte baja de la micro-cuenca los suelos agrícolas (VM5H, VM5C, VM5P, VM6H, VM6C, VM6P; Comunidad: Asanquera), presentan el pH en el rango de neutro (6,6 – 7,0) a débilmente alcalino (7,1 – 7,5).

La conductividad eléctrica (CE) de las parcelas agrícolas de la parte alta (Comunidades: Cóndor Apacheta, Challa-apacheta y Coripata) y parte media (localizadas en K'arajara y Ferente al Mullupunku) de la micro-cuenca Venta y Media, son bajas de (0 - 0,5 ds/m), por lo tanto no presentan acumulación de sales. Los suelos de las parcelas agrícolas (VM5H, VM5C, VM5P; localidad de Asanquera) ubicadas en la parte baja de la micro-cuenca presentan suelos moderadamente salinos (1,0 – 2,0 ds/m), atribuible al arrastre y disolución de sales por escorrentía o por la contaminación por agua salobre procedentes de actividades de mina existentes en la micro-cuenca.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja de (6 a 12 cmol/kg), en las parcelas agrícolas (VM1AA, VM1H, VM1C, VM1P, VM2H, VM2C, VM2P; Comunidades: Cóndor Apacheta, Challa-apacheta y Coripata), (VM3H, VM3C, VM3P; comunidad K'arajara) y (VM6H, VM6C y VM6P; Comunidad Asanquera) ubicados en la parte alta, media y baja de la micro-cuenca Venta y Media respectivamente, debido a la escasez de materia orgánica que se evidenció en todas las parcelas agrícolas de esta micro-cuenca (Tabla 18). Empero los suelos de las parcelas agrícolas VM4H, VM4C, VM4P (localizadas Frente al Mullupunku) parte media de la micro-cuenca presentan la CIC moderado (13 a 25 cmol/kg),

probablemente a que estos suelo tiene un elevado contenido de arcilla, situación que favorece a la retención de metales pesados (ver tabla17).

En general el fósforo asimilable en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media, son moderadas (7 a 15 ppm), debido a las características del material originario de estos suelos.

Según la (Tabla 56; Anexo C), de calificación de fertilidad de suelos, la micro-cuenca Venta y Media presenta suelos con un nivel de fertilidad que va de baja a moderada en todo el trayecto de la micro-cuenca.

5.1.2. Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles

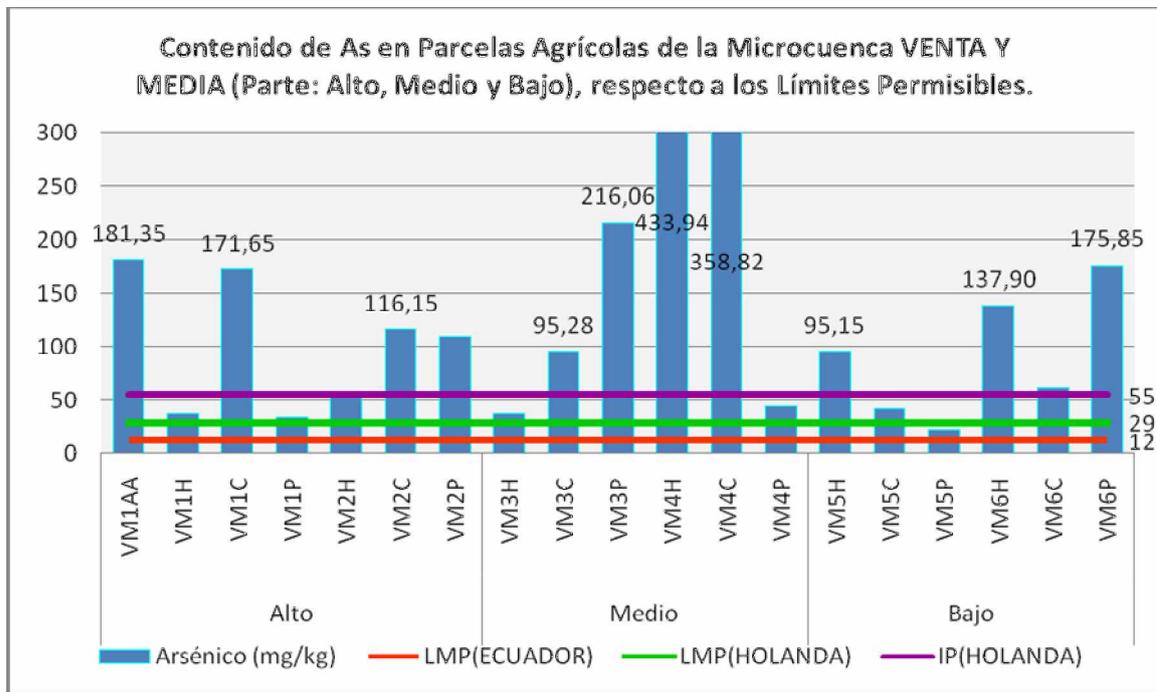
Tabla 19.- Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 181,35 |
| | VM1H | Challa-apacheta | 37,53 |
| | VM1C | Challa-apacheta | 171,65 |
| | VM1P | Ayllu Coripata | 33,87 |
| | VM2H | Coripata Alta | 58,09 |
| | VM2C | Coripata Alta | 116,15 |
| | VM2P | Coripata Alta | 109,28 |
| Medio | VM3H | K'ara jara | 37,88 |
| | VM3C | K'ara jara | 95,28 |
| | VM3P | K'ara jara | 216,06 |
| | VM4H | Frente al mullu punku | 433,94 |
| | VM4C | Frente al mullu punku | 358,82 |
| | VM4P | Frente al mullu punku | 44,25 |
| Bajo | VM5H | Asanquera | 95,15 |
| | VM5C | Asanquera | 42,38 |
| | VM5P | Asanquera | 22,36 |
| | VM6H | Asanquera | 137,90 |
| | VM6C | Asanquera | 61,60 |
| | VM6P | Asanquera | 175,85 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| As (mg/Kg) | 12 | 29 | 55 |

LMP=Límite Máximo Permitido; IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Venta y Media de acuerdo a las tendencias de acumulación de metales pesados observables en la tabla 19 y gráfico 1 , los suelos de las parcelas agrícolas (VM3C, VM3P, VM4H, VM4C; localizadas en K'arajara y frente al Mullu punku) ubicadas en la parte media de la microcuenca, revelan mayores contenidos de As en relación a la parte alta y baja de la micro-cuenca, posiblemente a la presencia de elevados contenidos de arcilla en estos suelos que favorecen a la adsorción de metales pesados.

Gráfico 1:



Contrastando los contenidos totales de Arsénico encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media (P1), con los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 14), el As en estos suelos agrícolas se encuentran por encima de su valor de referencia (12 y 29 mg/kg) respectivamente (Gráfico1).

De la misma manera algunos suelos de las parcelas agrícolas ubicadas en la parte alta (VM1AA, VM1C, VM2H, VM2P; Comunidad: Cóndor Apacheta, Challa Apacheta y Coripata alta), parte media (VM3C, VM3P, VM4H, VM4C; localizada en

K'arajara y Frente al Mullu punçu) y parte baja (VM5H, VM6H, VM6P; Comunidad Asanquera), inclusive exceden el nivel de intervención peligro que es de (55 mg/kg) referido a suelos agrícolas según la Agencia Ambiental Holandesa. Esta situación puede ser atribuida a la geoquímica propia del suelo (debido a la presencia de minerales como: arsenopirita FeAsS) y también por el aporte de las actividades mineras en funcionamiento y abandonadas que se evidencia en la micro-cuenca. Es muy necesario trabajar con medidas de mitigación de estas parcelas agrícolas en virtud de que el arsénico está clasificado como una sustancia cancerígena para los seres humanos.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Ramos y Niura (2008), mencionan que las tres fuentes descritas (Cóndor Apacheta, Cantón Coripata y Ventaimedia) presentan diagramas de Stiff totalmente diferentes, lo que muestran que las fuentes de origen de arsénico no son las mismas, es decir en esta zona hay fuentes naturales de arsénico y producción de efluentes de las actividades mineras.

De la misma manera de acuerdo a estudios de ³MEDMIN (2006) indica que 0,5 km de la comunidad de Cobremayu (Coripata alta) ubicada en la parte alta de la micro-cuenca de Venta y Media se encuentra la mina Villa Esperanza que no presenta un control de aguas ácidas de mina o agua copagira, de manera natural las descarga al río Venta y Media.

La acumulación de metales en suelos al borde de ríos puede ser causado por inundación de estos con sedimentos fluviales contaminados o por uso de aguas para fines de riego, esto se da en regiones mineras que trabajan sobre un río. (Foerstner, 1993) citado por (Apaza, et al. ,1996).

³MEDMIN (Medio Ambiente Minería e Industria), realizó el Diagnóstico Minero Ambiental en el Municipio de Poopó.

Tabla 20.- Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 103,02 |
| | VM1H | Challa-apacheta | 121,18 |
| | VM1C | Challa-apacheta | 18,51 |
| | VM1P | Ayllu Coripata | 29,88 |
| | VM2H | Coripata Alta | 30,45 |
| | VM2C | Coripata Alta | 11,33 |
| | VM2P | Coripata Alta | 14,93 |
| Medio | VM3H | K'ara jara | 10,93 |
| | VM3C | K'ara jara | 21,94 |
| | VM3P | K'ara jara | 30,17 |
| | VM4H | Frente al mullu punku | 39,81 |
| | VM4C | Frente al mullu punku | 52,82 |
| | VM4P | Frente al mullu punku | 32,13 |
| Bajo | VM5H | Asanquera | 76,54 |
| | VM5C | Asanquera | 93,41 |
| | VM5P | Asanquera | 43,16 |
| | VM6H | Asanquera | 50,13 |
| | VM6C | Asanquera | 52,06 |
| | VM6P | Asanquera | 64,33 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Pb (mg/Kg) | 100 | 85 | 530 |

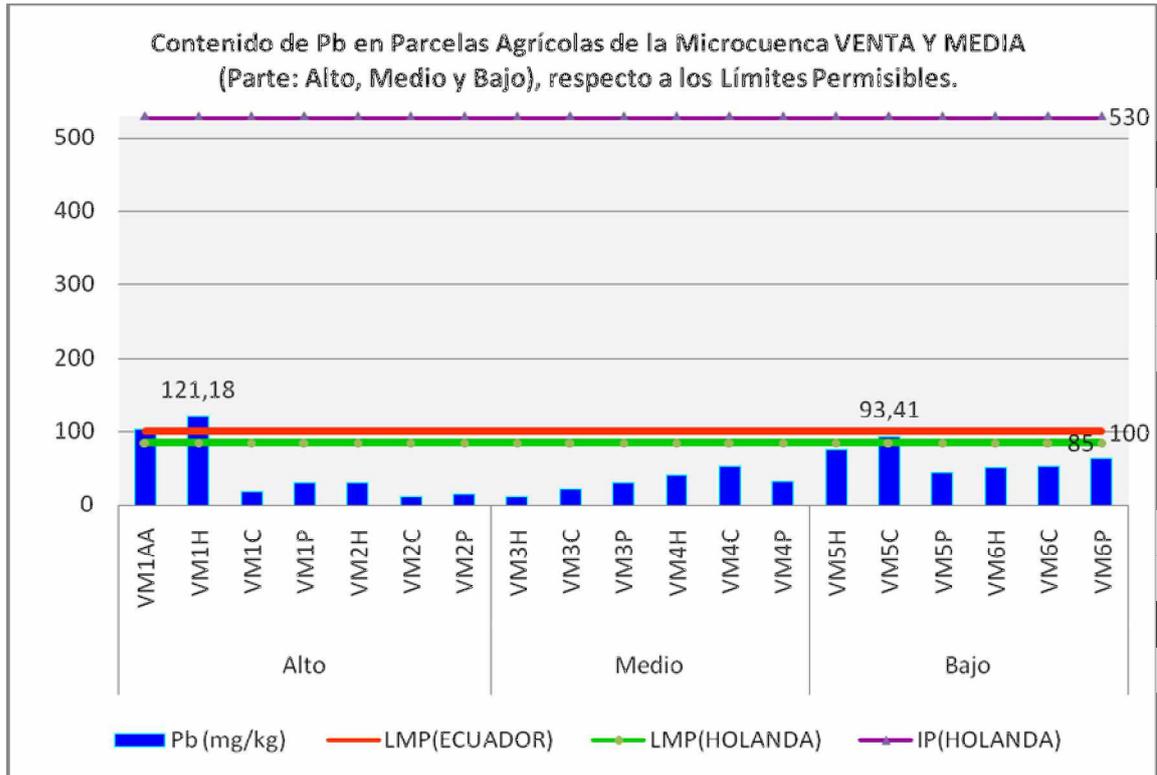
LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

Según los resultados de la tabla 20 y gráfico 2, los suelos en las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media (P1), presentan una tendencia de mayor acumulación de Plomo en la parte baja de la micro-cuenca debido probablemente a que estas parcelas agrícolas pertenecen a una unidad fisiográfica de fondo de valle donde aprovechan las aguas del río Venta y Media para el riego de los productos agrícolas favoreciendo la acumulación de Plomo en estos suelos. A excepción de las parcelas agrícolas de la parte alta (VMAA, VM1H; Comunidad de Cónдор Apacheta y Challa Apacheta) que manifiestan un elevado contenido de plomo, debido a que estas parcelas agrícolas pertenecen a clases texturales franco arcillo arenosa y franco arcillosa situación que favorece a la retención del Plomo en estos

suelos, además que estas parcelas están muy cerca de la carretera que favorece al aporte de este metal por impactos asociados al uso y mantenimiento de los caminos de acceso y el efecto del tráfico rodado.

Gráfico 2:



Considerando los límites establecidos (Tabla 15), los resultados de los análisis, revelan que los suelos agrícolas de la parte alta (VM1AA, VM1H; Comunidad: Cónдор Apacheta, Challa Apacheta) y la parte baja (VM5C; Comunidad: Asanquera), superan el nivel de límite máximo permisible de Pb (85 y 100mg/kg) propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda. Probablemente a que estas parcelas agrícolas VM1AA, VM1H se encuentran muy cerca de la mina Frontanilla, además cabe recalcar que por presentar estas parcelas agrícolas un pH moderadamente ácidos podría favorecer a su disponibilidad para los cultivos.

Roychowdhury et al., (2002), señalan que existe un nivel de riesgo mayor de contaminación en las áreas cercanas a las presas de jales.

Los niveles de concentración total de plomo (Pb) en los suelos agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media, no sobrepasan el nivel de intervención peligro que es de 530 mg/kg propuesta por la Agencia Ambiental Holandesa.

Los suelos resultan ser una importante trampa para los compuestos de plomo (García y Dorronsoro, 1998).

Tabla 21.- Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 0,58 |
| | VM1H | Challa-apacheta | 0,79 |
| | VM1C | Challa-apacheta | 0,12 |
| | VM1P | Ayllu Coripata | 0,19 |
| | VM2H | Coripata Alta | < LC |
| | VM2C | Coripata Alta | < LC |
| | VM2P | Coripata Alta | < LC |
| Medio | VM3H | K'ara jara | 0,16 |
| | VM3C | K'ara jara | < LC |
| | VM3P | K'ara jara | < LC |
| | VM4H | Frente al mullu punku | 0,47 |
| | VM4C | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4P | Frente al mullu punku | 0,34 |
| Bajo | VM5H | Asanquera | 0,40 |
| | VM5C | Asanquera | 0,48 |
| | VM5P | Asanquera | 0,33 |
| | VM6H | Asanquera | 0,57 |
| | VM6C | Asanquera | 0,17 |
| | VM6P | Asanquera | 0,55 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Cd (mg/Kg) | 2 | 0,8 | 12 |

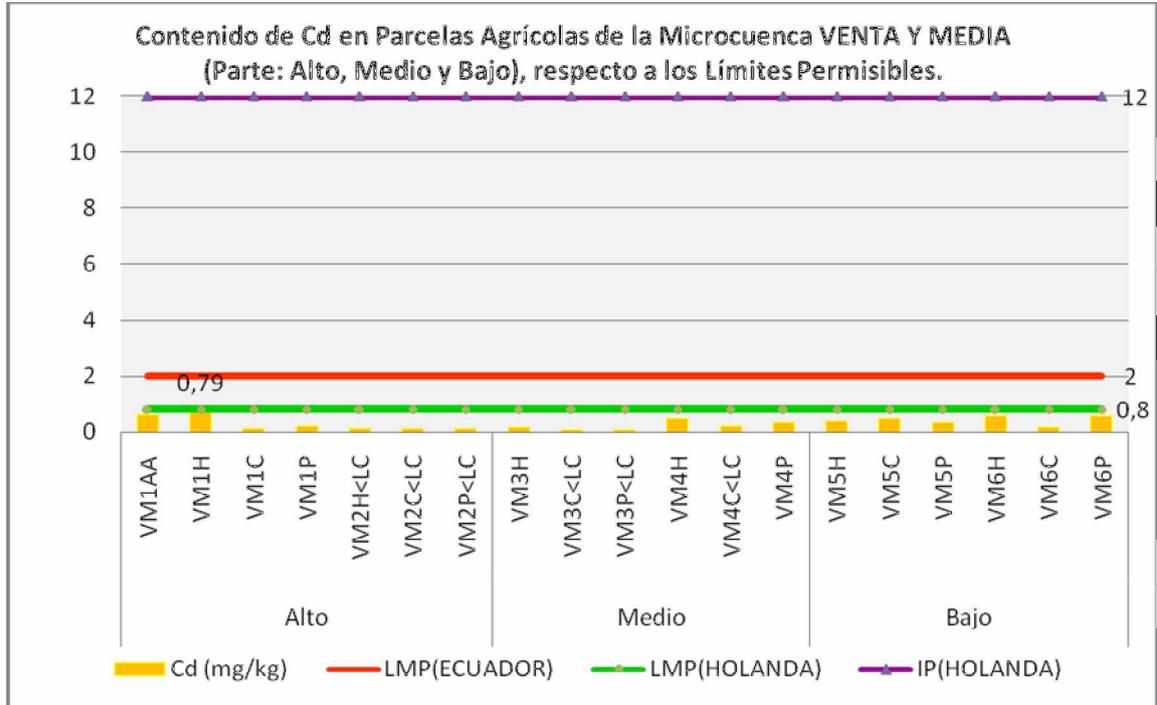
LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Venta y Media de acuerdo a las tendencias de acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas observables en la tabla 21 y gráfico 3 ,

revelan que los contenidos de Cadmio en las parcelas agrícolas son mayores en la parte baja de la micro-cuenca (Comunidad de Asanquera) en comparación a las parcelas agrícolas de la parte alta (Comunidad: Coripata alta) y parte media (Comunidad: K'arajara y Frente al Mullu punku) de la micro-cuenca, posiblemente a la inundación de estas parcelas agrícolas con sedimentos fluviales contaminados o por el uso de aguas para fines de riego que se evidencia en este fondo de valle.

Gráfico 3:



Considerando los límites establecidos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda los resultados de los análisis realizados, manifiestan que las concentraciones de Cadmio no superan los límites máximos permisibles de (2 y 0,8 mg/kg) respectivamente.

En la parte alta de la micro-cuenca Venta y Media gráfico 3, la parcela agrícola VM1H localizada en la comunidad de Challa Apacheta, reveló mayor concentración de Cd con 0,79 mg/kg el cual nos alerta para tomar medidas de prevención ya que esta muy próximo al límite máximo permisible propuesto por Agencia Ambiental de

Holanda que es de 0,8 mg/kg. De acuerdo a su ubicación esta parcela agrícola esta cerca del emplazamiento de la mina Frontanilla, además de presentar 28.8 % de arcilla situación que facilita la retención de cadmio en este suelo.

Tabla 22.- Contenido de Zinc en suelos de parcelas agrícolas en la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 294,30 |
| | VM1H | Challa-apacheta | 205,30 |
| | VM1C | Challa-apacheta | 89,30 |
| | VM1P | Ayllu Coripata | 99,74 |
| | VM2H | Coripata Alta | 217,76 |
| | VM2C | Coripata Alta | 59,00 |
| | VM2P | Coripata Alta | 219,26 |
| Medio | VM3H | K'ara jara | 248,60 |
| | VM3C | K'ara jara | 111,28 |
| | VM3P | K'ara jara | 107,26 |
| | VM4H | Frente al mullu punku | 210,79 |
| | VM4C | Frente al mullu punku | 169,92 |
| | VM4P | Frente al mullu punku | 219,26 |
| Bajo | VM5H | Asanquera | 170,30 |
| | VM5C | Asanquera | 173,80 |
| | VM5P | Asanquera | 141,74 |
| | VM6H | Asanquera | 261,30 |
| | VM6C | Asanquera | 144,30 |
| | VM6P | Asanquera | 213,30 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Zn (mg/Kg) | 200 | 140 | 720 |

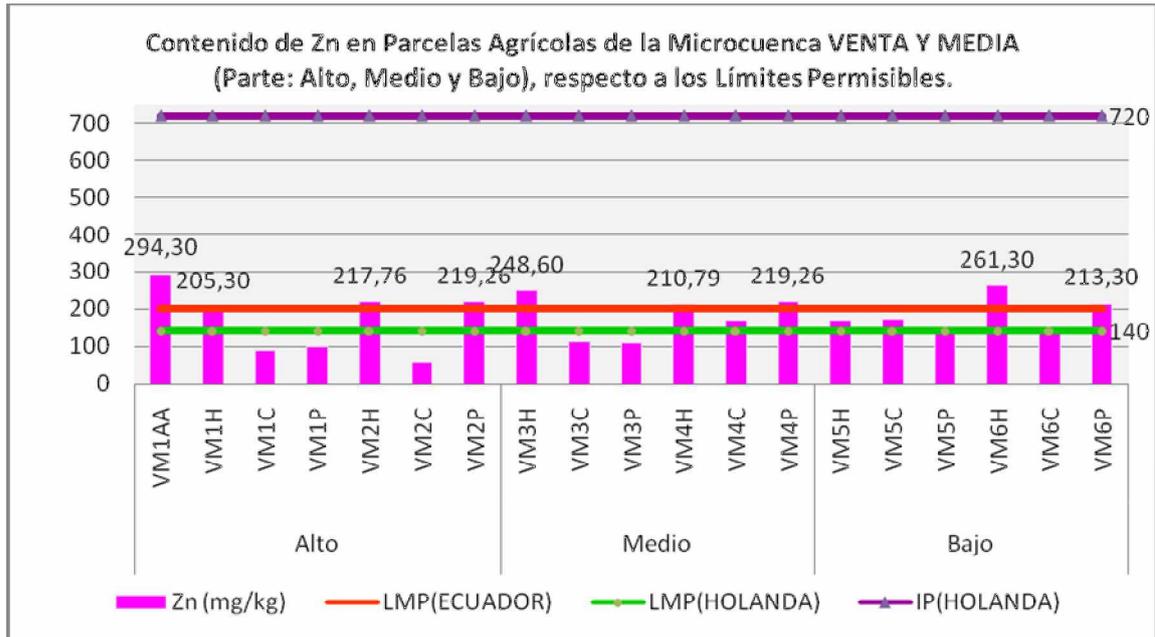
LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

Conforme se observa los resultados (tabla 22 y gráfico 4) respecto a la concentración total de Zinc en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media, no se encuentra una tendencia de acumulación de Zinc en la micro-cuenca, sin embargo podemos notar que las parcelas agrícolas del cultivo de haba presentan mayores contenidos de Zn, presumiblemente a la materia orgánica que se evidencio en sus suelos presentando un color café oscuro.

Además mencionaron los agricultores que estas parcelas agrícolas fueron preparadas para la siembra con mayor contenido de materia orgánica (estiércol de camélido y ovino), favoreciendo a la retención de metales en estos suelos.

Gráfico 4:



Considerando los límites establecidos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 15 y gráfico 4), los resultados de los análisis realizados, revelan:

En la parte alta de la micro-cuenca Venta y Media los suelos agrícolas (VM1AA, VM1H, VM2H, VM2P (Comunidad: Cónдор Apacheta, Challa Apacheta y Coripata Alta)) se encuentran por encima de los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental Holandesa (200 y 140 mg/Kg) respectivamente.

En la parte media de la micro-cuenca Venta y Media los suelos agrícolas (VM3H, VM4H, VM4P (Comunidad: K'arajara y Frente al Mullu Punku) se hallan por encima

los límites máximos permisibles (200 mg/Kg) propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador.

Los suelos agrícolas (VM5H, VM5C, VM6H, VM6P; Comunidad: Asanquera) ubicadas en la parte baja de la micro-cuenca Venta y Media, superan el límite máximo permisible propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa que es de (140 mg/kg de suelo).

Esta contaminación de Zn en los suelos puede ser atribuida por la explotación de esfalerita o blenda (ZnS) que se lleva a cabo en la (Mina Frontanilla y Mina Villa esperanza) de la parte alta de la micro-cuenca, llegando a impactar al suelo por los desmontes, aguas de copagira echadas a la intemperie y a los ríos, situación que merece tomar medidas de control de aguas residuales de mina (Drenaje Acido de Roca y Drenaje Acido de Mina) para frenar la contaminación de los suelos.

A pesar de ello, los niveles de concentración de Zn en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media se encuentran muy alejados de los umbrales de peligro propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa que es de (720 mg/kg de suelo)

Varios de los posibles metales contaminantes como el Cu, Zn, Mo y otros son necesarios para las plantas en pequeñas cantidades pues favorecen ciertos procesos metabólicos (asimilación, síntesis, desintegración, respiración fotosíntesis, etc), pero al mismo tiempo en cantidades un poco mayores pueden ser tóxicos (Rodríguez, 1982).

5.1.3. Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles

Según los resultados de los análisis de Arsénico total (tabla 23 y gráfico 5) en los productos agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media, se evidenció que la mayor concentración de As se presenta en los productos agrícolas de haba y papa ubicadas a la parte alta (VM1H Veg; Comunidad: Challa Apacheta), parte media (VM3H Veg, VM3P Veg, VM4P Veg; Comunidad: K'arajara) y parte baja (VM5H Veg, VM5P Veg, VM6H Veg; Comunidad de Asanquera) de la micro-cuenca.

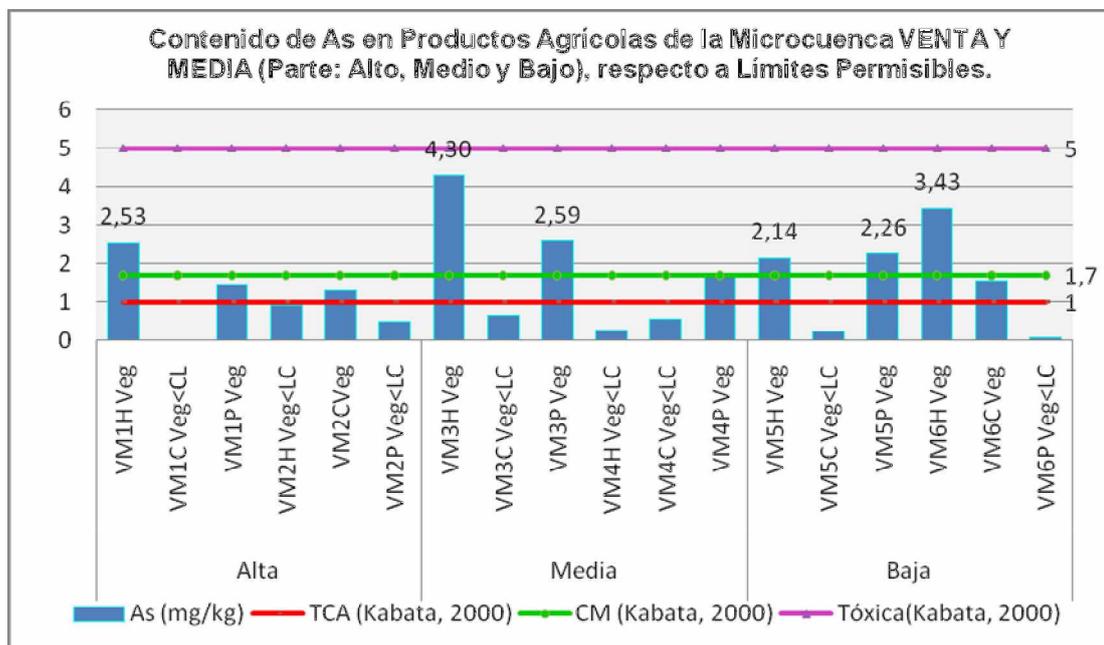
Tabla 23.- Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | VM1H Veg | Challa-apacheta | 2,53 |
| | VM1C Veg | Challa-apacheta | < LC |
| | VM1P Veg | Ayllu Coripata | 1,47 |
| | VM2H Veg | Coripata Alta | < LC |
| | VM2C Veg | Coripata Alta | 1,29 |
| | VM2P Veg | Coripata Alta | < LC |
| Media | VM3H Veg | K'ara jara | 4,30 |
| | VM3C Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM3P Veg | K'ara jara | 2,59 |
| | VM4H Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4C Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4P Veg | Frente al mullu punku | 1,74 |
| Baja | VM5H Veg | Asanquera | 2,14 |
| | VM5C Veg | Asanquera | < LC |
| | VM5P Veg | Asanquera | 2,26 |
| | VM6H Veg | Asanquera | 3,43 |
| | VM6C Veg | Asanquera | 1,54 |
| | VM6P Veg | Asanquera | < LC |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| As (mg/Kg) | 1 | 1,7 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas

CM=Contenido Máximo

Gráfico 5:



Comparando los contenidos totales de As en productos agrícolas con los niveles de referencia (Tabla 16) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que en la parte alta de la micro-cuenca Venta y Media el producto agrícola de haba VM1H Veg presenta 2,53 mg/kg de As, que supera el contenido máximo, propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), que es de 1,7 mg/kg. En la parte media de la micro-cuenca los productos agrícolas de haba y papa (VM3H Veg, VM3P Veg, VM4P Veg Comunidad: K'arajara y frente al Mullu Punku) presentan concentraciones totales de arsénico As por encima de los contenidos máximos (1,7 mg/kg) propuesta por (Kabata-Pendias, 2000), evidenciándose en el (Gráfico 5). De la misma manera en la parte baja de la micro-cuenca los productos agrícolas de haba y papa (VM5H Veg, VM5P Veg, VM6H Veg; Comunidad de Asanquera) también superan el contenido máximo propuesta por (Kabata-Pendias, 2000).

Esta concentración de Arsénico, se puede atribuir al pH del suelo, debido a que los productos agrícolas de haba y papa (VM4P Veg, VM5H Veg, VM5P Veg, VM6H Veg) se hallan en parcelas agrícolas que presentan un pH en el rango de neutro a moderadamente alcalino, situación que favorece la disponibilidad del arsénico para

los cultivos, en ese sentido es muy necesario realizar medidas de mitigación ya que los productos agrícolas son consumidos por los mismos productores y en algunos casos comercializados en ferias de Huanuni y Challapata, recordando que la exposición a dosis elevadas de arsénico puede ser letal, sus efectos agudos consisten en fiebre, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia muy peligroso a largo plazo en los seres humanos.

El caso particular de la concentración total de As del producto agrícola haba (VM3H Veg) ubicada en la parte media de la micro-cuenca, cuya concentración de As es 4,30 mg/kg muy próxima a ser tóxico (5 mg/kg) propuesta por (Kabata-Pendias, 2000). Probablemente ocurra esta situación por la presencia de relaves y aguas de copagira que son descargadas de manera natural al río Venta y Media pasando por parcelas agrícolas en su trayecto, de manera que como el cultivo de la haba es exigente en humedad esta probablemente absorba el agua y As con mayor facilidad, puesto que en todo estos suelos agrícolas existe una elevada presencia de As.

Menciona Kabata-Pendias (2001), que las plantas cultivadas en los suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de estos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda.

Considerando el nivel tóxico de As propuesta por (Kabata-Pendias, 2000) que es de (5 mg/kg de muestra) los resultados de los análisis realizados de los productos agrícolas y forraje (tubérculo, dicotiledón y espiga) muestran que las concentraciones de arsénico en toda la micro-cuenca de Venta y Media no superan los umbrales de toxicidad.

Indica MEDMIN (2006), la materia prima y los productos de la mina Villa Esperanza se almacenan al aire libre. Por acción del viento el mineral molido es arrastrado y depositado en ríos y suelos, que puede favorecer a la disponibilidad de los metales

pesados en los cultivos. Estas inundaciones por ríos contaminados ponen en peligro las áreas de cultivo y las aguas subterráneas. (Foerstner, 1993) citado por (Apaza et al., 1996).

Tabla 24.- Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | VM1H Veg | Challa-apacheta | < LC |
| | VM1C Veg | Challa-apacheta | < LC |
| | VM1P Veg | Ayllu Coripata | < LC |
| | VM2H Veg | Coripata Alta | < LC |
| | VM2C Veg | Coripata Alta | 0,87 |
| | VM2P Veg | Coripata Alta | < LC |
| Media | VM3H Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM3C Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM3P Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM4H Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4C Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4P Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| Baja | VM5H Veg | Asanquera | < LC |
| | VM5C Veg | Asanquera | < LC |
| | VM5P Veg | Asanquera | < LC |
| | VM6H Veg | Asanquera | 5,27 |
| | VM6C Veg | Asanquera | < LC |
| | VM6P Veg | Asanquera | < LC |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| Pb (mg/Kg) | 0,5 | 5 | 30 |

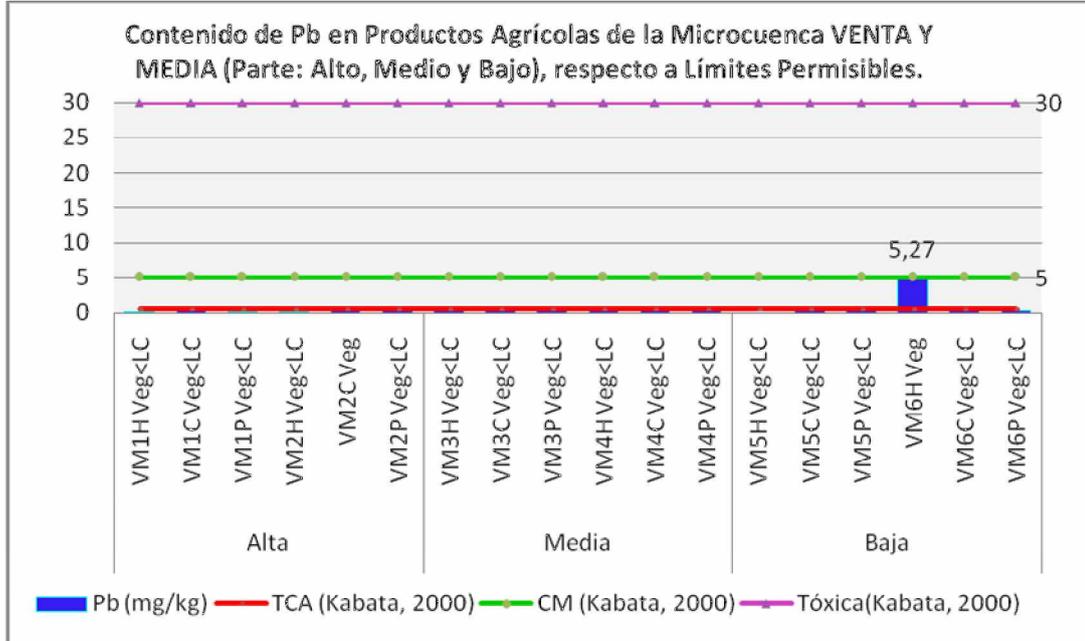
TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas

CM=Contenido Máximo

Comparando los contenidos totales de Pb en productos agrícolas con los niveles de referencia (Tabla 16) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), se evidencia en el gráfico 6 que el producto agrícola de haba (VM6H Veg; Comunidad de Asanquera) ubicada en la parte baja de la micro-cuenca de Venta y Media, supera el nivel de contenido máximo (5 mg/kg) para el plomo, propuesta por (Kabata-Pendias, 2000). Debido a que los cultivos agrícolas de la parte baja de la micro-cuenca (fondo de

valle) cuentan con riego proveniente del río Venta y Media que probablemente llegue a concentrar este metal.

Gráfico 6:



En las plantas el plomo principalmente se almacena en las raíces, siendo mínima su presencia en las estructuras reproductivas indica (Kabata-Pendias, 2000), lo que respalda los resultados ya que en los diferentes cultivos analizados en la fracción comestible (Dicotiledón) se encontró el Pb por debajo del nivel tolerable en cultivos agrícolas propuesto por (Kabata-Pendias, 2000).

Las concentraciones totales de plomo de los cultivos agrícolas fracción comestible (Dicotiledón, Espiga y tubérculo) revelan muy por debajo de los niveles de toxicidad (30 mg/kg) propuesta por (Kabata-Pendias, 2000), en la Microcuenca Venta y Media.

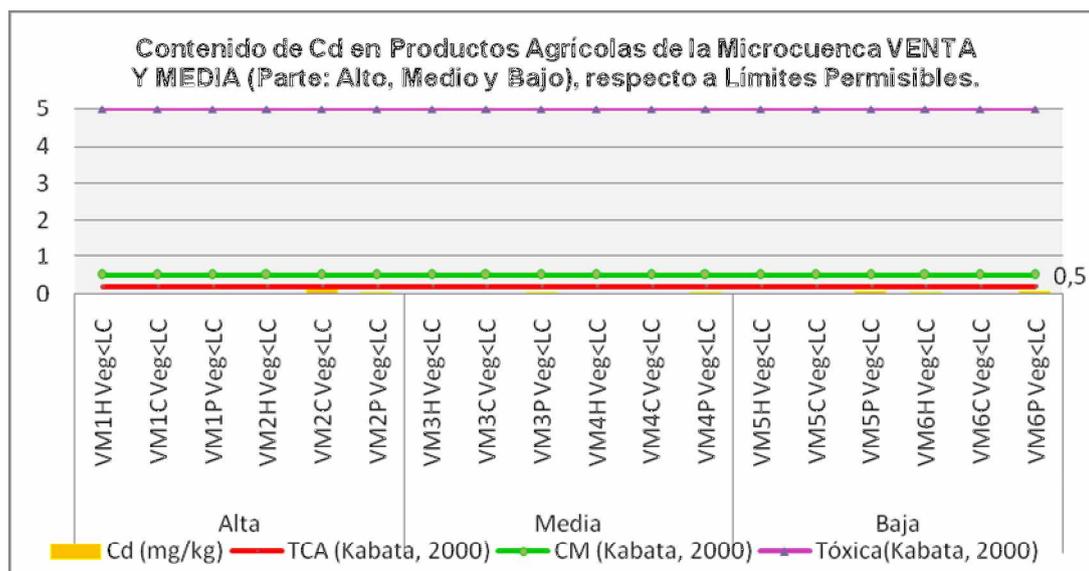
Tabla 25.- Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la microcuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | VM1H Veg | Challa-apacheta | < LC |
| | VM1C Veg | Challa-apacheta | < LC |
| | VM1P Veg | Ayllu Coripata | < LC |
| | VM2H Veg | Coripata Alta | < LC |
| | VM2C Veg | Coripata Alta | < LC |
| | VM2P Veg | Coripata Alta | < LC |
| Media | VM3H Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM3C Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM3P Veg | K'ara jara | < LC |
| | VM4H Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4C Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| | VM4P Veg | Frente al mullu punku | < LC |
| Baja | VM5H Veg | Asanquera | < LC |
| | VM5C Veg | Asanquera | < LC |
| | VM5P Veg | Asanquera | < LC |
| | VM6H Veg | Asanquera | < LC |
| | VM6C Veg | Asanquera | < LC |
| | VM6P Veg | Asanquera | < LC |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| Cd (mg/Kg) | 0,2 | 0,5 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 7:



Las concentraciones totales de Cadmio (Tabla 25 y gráfico 7) en los productos agrícolas (dicotiledón-Haba, espiga- Cebada y tubérculo- Papa) de toda la micro-cuenca Venta y Media, se encuentran por debajo del nivel tolerable en cultivos agrícolas (0,2 mg/kg) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000). Inclusive el espectrofotómetro de absorción atómica en Horno de Grafito no pudo cuantificar los contenidos de este metal ya que las concentraciones estarían por de bajo del límite de cuantificación establecido en el equipo (EAAHG), posiblemente a que los depósitos de Cd están asociados geoquímicamente a los del Zn, cabe aclarar que los procesos naturales por los cuales se libera el Cd son insignificantes como fuente de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre y en esta micro-cuenca las minas que se hallan en actividad no explotan Cd .

La concentración de Cadmio (Cd) en cereales, papas y verduras no es alta al compararla con la que hay en otros productos alimenticios como la semilla de maravilla, linaza, riñones e hígado de mamíferos y el hepatopáncreas de los mariscos (Jorhen y Sundströn, 1993) citado por (Kabata-Pendias, 2000).

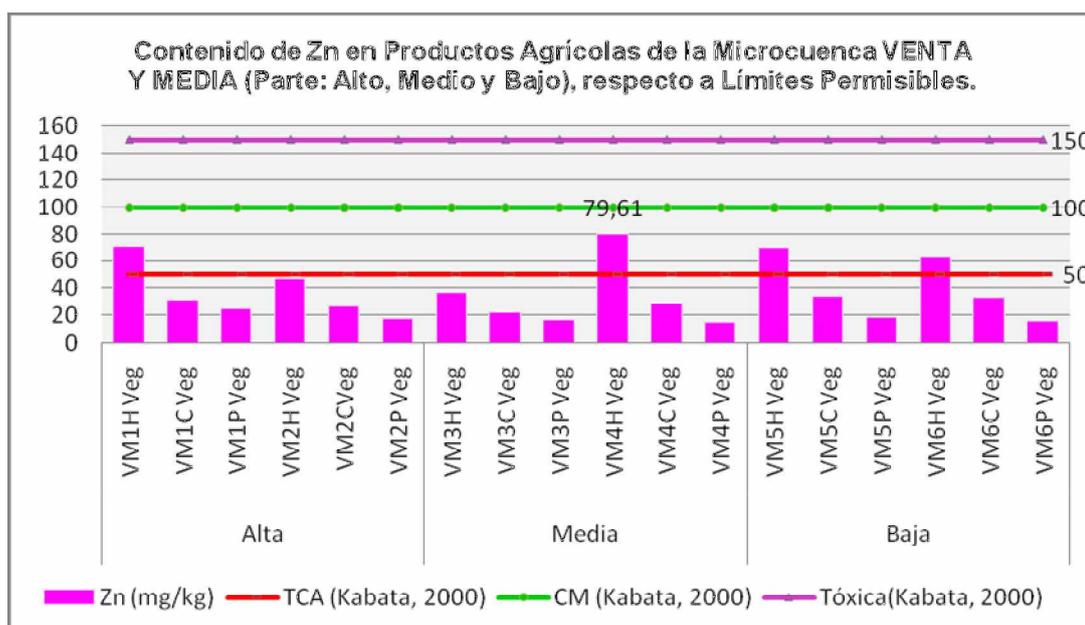
Tabla 26.- Contenido de Zinc en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alta | VM1H Veg | Challa-apacheta | 70,67 |
| | VM1C Veg | Challa-apacheta | 30,81 |
| | VM1P Veg | Ayllu Coripata | 24,67 |
| | VM2H Veg | Coripata Alta | 47,30 |
| | VM2C Veg | Coripata Alta | 26,64 |
| | VM2P Veg | Coripata Alta | 17,50 |
| Media | VM3H Veg | K'ara jara | 36,33 |
| | VM3C Veg | K'ara jara | 21,99 |
| | VM3P Veg | K'ara jara | 16,99 |
| | VM4H Veg | Frente al mullu punku | 79,61 |
| | VM4C Veg | Frente al mullu punku | 28,96 |
| | VM4P Veg | Frente al mullu punku | 15,00 |
| Baja | VM5H Veg | Asanquera | 70,33 |
| | VM5C Veg | Asanquera | 33,99 |
| | VM5P Veg | Asanquera | 18,67 |
| | VM6H Veg | Asanquera | 62,33 |
| | VM6C Veg | Asanquera | 32,96 |
| | VM6P Veg | Asanquera | 15,33 |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| Zn (mg/Kg) | 50 | 100 | 150 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 8:

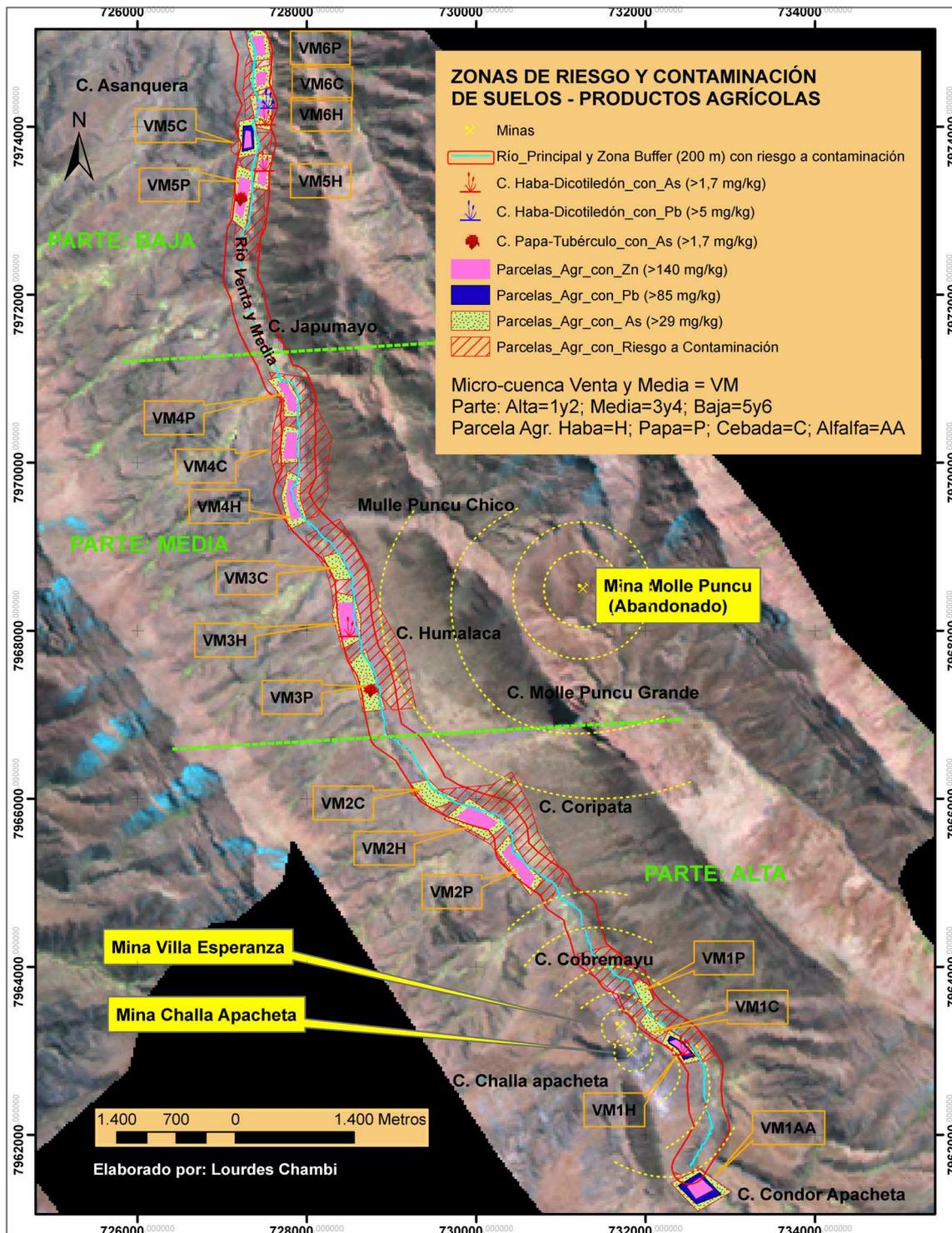


Los niveles de concentración total de Zinc (Zn) en los productos agrícolas de haba, papa y cebada de la micro-cuenca Venta y Media, no superan los contenidos máximos (100 mg/kg), ni el umbral de toxicidad (150 mg/kg) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), evidenciándose en la tabla 26 y gráfico 8.

Cabe mencionar que los contenidos totales de Zinc en los productos agrícolas de papa, haba y cebada (Tabla 26 y gráfico 8), tanto en la parte alta, media y baja de la micro-cuenca de Venta y Media, se encuentran dentro el nivel tolerable (50 mg/kg) para cultivos agrícolas propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), posiblemente a que el Zn es un elemento esencial para las plantas, participa en varios procesos metabólicos y es un componente de varias enzimas.

En la planta es frecuente que las raíces contengan mucho más zinc que en la parte aérea (Kabata-Pendias, 2000).

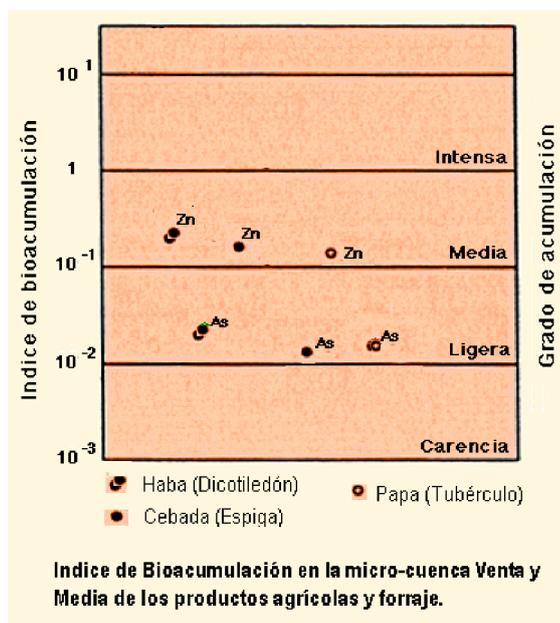
Figura 6: Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la Micro-cuenca Venta y Media parte alta, media y baja.



5.1.4. Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Venta y Media

La siguiente relación se logró tomando en cuenta la media aritmética de las muestras: según su especie.

Gráfico 9:



Según los resultados (Gráfica 9) la bioacumulación en los productos agrícolas de (Haba-dicotiledón), (Papa-tubérculo) y forraje (Cebada-espiga) en la época de cosecha, en las tres partes de la micro-cuenca Venta y Media, presentan una acumulación ligera en As y media en Zn, debido a que la concentración de metales pesados es mayor en suelos y no en el producto agrícola, pero cabe aclarar que a un así el arsénico es muy peligroso ya que tiene un nivel de toxicidad bajo, el límite (referido a la cantidad absorbida) entre lo tolerable y la toxicidad está muy próximo.

No se pudo calcular la bioacumulación de Pb y Cd en los productos agrícolas y forraje debido a que las concentraciones de estos metales en los productos agrícolas se encontraron muy por debajo de los límites de cuantificación del equipo (EAAHG).

5.2. Microcuenca Coriviri (P2)

5.2.1 Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas en la Micro-cuenca Coriviri

Las profundidades efectivas de los suelos de las parcelas agrícolas de haba, cebada, papa y alfalfa en la micro-cuenca Coriviri (P2) son reducidas tabla 27, atribuibles a la erosión hídrica y eólica reinante en la zona, así como pendientes pronunciadas en la parte media (Terraza en pendiente) reduciéndose paulatinamente en las partes bajas (Llanura).

Tabla 27.- Características físicas de los suelos de la micro-cuenca Coriviri.

| Microcuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | Prof. Efect.(cm) | % Arena | % Limo | % Arcilla | Clase Textural | % Gravilla | % Pend. |
|---------------|-------|----------------|-----------|------------------|---------|--------|-----------|-----------------------|------------|---------|
| CORIVIRI (P2) | Alto | COR1H | Jucumari | 31 | 27,6 | 44 | 28,4 | FrancoArcillos | 7,7 | 3,3 |
| | | COR1C | Jucumari | 12 | 47,6 | 32 | 20,4 | Franco | 49,7 | 6 |
| | | COR1P | Jucumari | 38 | 43,6 | 34 | 22,4 | Franco | 35 | 5,5 |
| | | COR1AA | Jucumari | > 60 | 54,4 | 23,2 | 22,4 | FrancoArcillo Arenoso | 73,5 | 10 |
| | Medio | COR2H | Coriviri | 30 | 29,6 | 46 | 24,4 | Franco | 10,5 | 14,5 |
| | | COR2C | Coriviri | 11 | 46,4 | 31,2 | 22,4 | Franco | 24,3 | 14,8 |
| | | COR2P | Coriviri | 40 | 36,4 | 39,2 | 24,4 | Franco | 26,1 | 15,8 |
| | | COR2AA | Coriviri | > 60 | 38,4 | 39,2 | 22,4 | Franco | 11,4 | 13 |
| | Bajo | COR3H | Coriviri | 35 | 48,6 | 27 | 24,4 | Franco | 12,05 | 3,1 |
| | | COR3C | Coriviri | 12 | 56,4 | 27,2 | 16,4 | FrancoArenos | 26,3 | 3,2 |
| | | COR3P | Coriviri | 40 | 53,6 | 28,8 | 17,6 | FrancoArenos | 26,5 | 3,1 |
| | | COR3AA | Coriviri | > 60 | 54,4 | 28 | 17,6 | FrancoArenos | 22,3 | 4,2 |

Fuente: Elaboración propia

La clase textural referida a la capa arable en los suelos agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2). En la parte alta, la parcela agrícola (COR1H; Comunidad de Jucumari), presenta una clase textural franco-arcilloso. Son suelos altamente productivos si se lo maneja adecuadamente, manifiestan alta capacidad de retención de humedad y de metales pesados al presentar un elevado porcentaje de arcilla (28,4%). Las parcelas agrícolas (COR1C, COR1P; Comunidad de Jucumari), presentan una clase textural franco con una inclinación a franco gravoso al

presentar el porcentaje de arena elevado, respaldando estos resultados con los porcentajes de gravilla encontrados del 49,7 y 35% respectivamente. El suelo agrícola (COR1AA; Comunidad de Jucumari) presenta 73,5% de gravilla lo que implica que su clase textural sea catalogada como franco-arcillo-arenoso, son suelos débilmente desarrollados y altamente permeables con una gran susceptibilidad a la disgregación de su estructura.

En la parte media de la micro-cuenca Coriviri los suelos agrícolas (COR2H, COR2C, COR2P, COR2AA) se catalogan como franco. Las características agrícolas de este suelo; en general, son adecuados para el desarrollo de diferentes cultivos y son suelos muy productivos si se los maneja correctamente (Villarroel, 1998).

Los suelos agrícolas (COR3C, COR3P, COR3AA) ubicados en la parte baja de la micro-cuenca presentan una clase textural franco-arenosa.

Tabla 28.- Características químicas y biológicas de los suelos de la micro-cuenca Coriviri.

| Micro cuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | pH(CIK); 1:25 | CE (ds/m) | CIC (cmol/kg) | M.O. (%) | Nt (%) | P asim (ppm) |
|---------------|-------|----------------|-----------|---------------|-----------|---------------|----------|--------|--------------|
| CORIVIRI (P2) | Alto | COR1H | Jucumari | 7,14 | 0,14 | 16,87 | 0,71 | 0,20 | 16,57 |
| | | COR1C | Jucumari | 6,07 | 0,06 | 7,66 | 0,64 | 0,10 | 8,80 |
| | | COR1P | Jucumari | 6,59 | 0,06 | 8,14 | 0,60 | 0,10 | 8,54 |
| | | COR1AA | Jucumari | 6,55 | 0,13 | 7,84 | 0,53 | 0,09 | 7,26 |
| | Medio | COR2H | Coriviri | 6,73 | 0,14 | 6,00 | 0,78 | 0,06 | 5,99 |
| | | COR2C | Coriviri | 6,78 | 0,08 | 8,30 | 1,57 | 0,12 | 8,51 |
| | | COR2P | Coriviri | 6,64 | 0,17 | 8,81 | 1,14 | 0,09 | 10,45 |
| | | COR2AA | Coriviri | 6,92 | 0,16 | 12,58 | 2,31 | 0,21 | 11,39 |
| | Bajo | COR3H | Coriviri | 7,06 | 0,18 | 11,90 | 1,62 | 0,17 | 16,82 |
| | | COR3C | Coriviri | 6,97 | 0,12 | 7,30 | 1,31 | 0,11 | 9,70 |
| | | COR3P | Coriviri | 6,17 | 0,09 | 5,73 | 1,07 | 0,07 | 8,24 |
| | | COR3AA | Coriviri | 6,82 | 0,09 | 7,10 | 0,76 | 0,07 | 9,19 |

Fuente: Elaboración propia, basada en el Manual para la interpretación de Análisis de Suelos-Villarroel (1998).

La variación del pH en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri tabla 28, en la parte alta (Valle colgante) y baja (Llanura) presentan un pH

entre débilmente alcalino (7,1 – 7,5) a neutro (6,6 – 7,0) y en la parte media (Terrazas en pendiente) la reacción del suelo es neutra. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos (García y Dorronsoro, 1998).

La conductividad eléctrica (CE) en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri, ubicadas en la parte: alta, media y baja son no salinos (0 a 0,5 ds/m) por lo tanto no presentan acumulación de sales en sus suelos (tabla 28).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es baja oscilando entre (6 a 12 cmol/kg) en todos los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri, probablemente a la escasez de Materia orgánica y Nitrógeno total que son catalogadas como muy bajo (0.5 a 1,5%) y bajo (0.08 a 0,15%) respectivamente, excepto el suelo agrícola (COR1H; Comunidad: Jucumari) que presenta un nivel moderado (16,87 cmol/kg) en cuanto a la CIC, apreciándose en la (tabla 28).

Los valores de fósforo asimilables en los suelos agrícolas de la micro-cuenca Coriviri, ubicados en la parte alta (Valle colgante) y baja (Llanura), revelan una fluctuación de alto (16-25 ppm) a moderado (7-15 ppm) y los valores de fósforo en la parte media (Terrazas en pendiente) son moderadas observándose en la (tabla 28). Menciona Villarroel (1998), que el fósforo ayuda a que las raíces y la planta se desarrollen más rápidamente además de mejorar la eficiencia del uso del agua.

Desde el punto de vista agrícola, presentan moderada fertilidad las parcelas agrícola (COR1H; Comunidad Jucumari), (COR2AA; Comunidad Coriviri) y (COR3H; Comunidad Coriviri) pertenecientes a la parte alta, media y baja de la micro-cuenca respectivamente (tabla 57; Anexo C), posiblemente a que estas parcelas agrícolas según el productor se hallaban en descanso de 3 años antes de la siembra del cultivo actual logrando probablemente restablecer su fertilidad. Y las otras parcelas agrícolas de la micro-cuenca presentan una fertilidad baja.

5.2.2. Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas en la micro-cuenca Coriviri (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los límites permisibles

Tabla 29.- Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca de Coriviri.

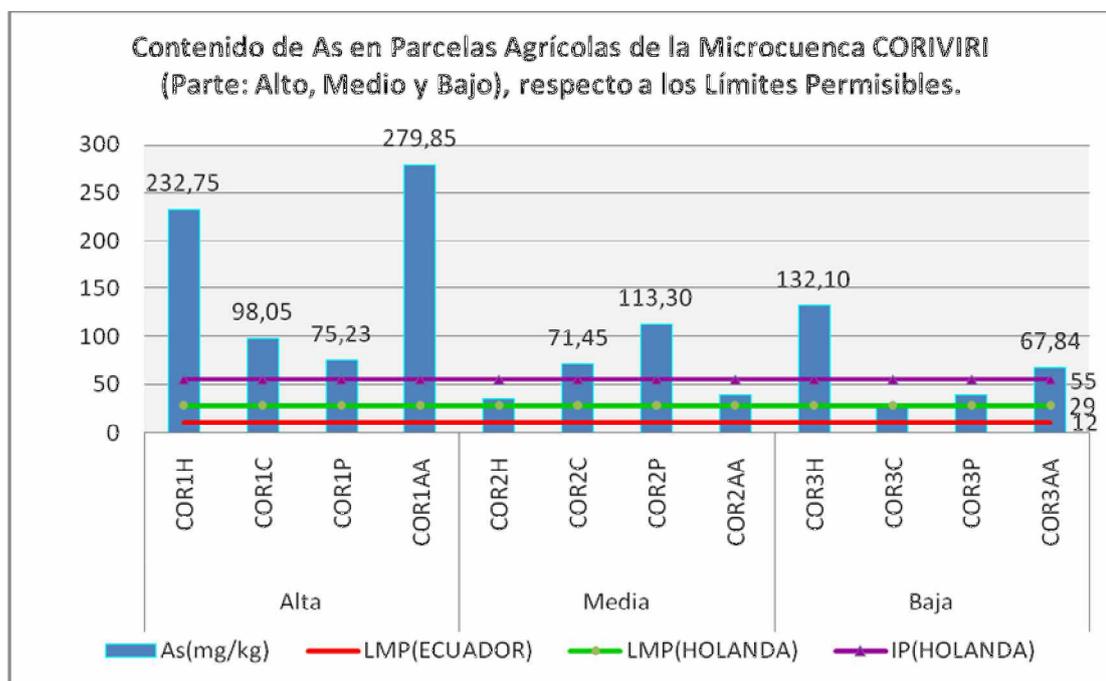
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Alto | COR1H | Jucumari | 232,75 |
| | COR1C | Jucumari | 98,05 |
| | COR1P | Jucumari | 75,23 |
| | COR1AA | Jucumari | 279,85 |
| Medio | COR2H | Coriviri | 35,58 |
| | COR2C | Coriviri | 71,45 |
| | COR2P | Coriviri | 113,30 |
| | COR2AA | Coriviri | 38,37 |
| Bajo | COR3H | Coriviri | 132,10 |
| | COR3C | Coriviri | 25,94 |
| | COR3P | Coriviri | 39,25 |
| | COR3AA | Coriviri | 67,84 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| As (mg/Kg) | 12 | 29 | 55 |

LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

Observando las tendencias de acumulación de As, en la micro-cuenca Coriviri (P2) de acuerdo a los resultados (tabla 29 y gráfico 10), los suelos de las parcelas agrícolas (COR1H, COR1C, COR1P, COR1AA; Comunidad: Jucumari) manifiestan un incremento mayor de acumulación de Arsénico en la parte alta de la microcuenca, en relación a la parte media y baja de la micro-cuenca.

Gráfico 10:



Contrastando los contenidos totales de Arsénico encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 29 y Gráfico 10), los contenidos de As en estos suelos agrícolas superan el valor de referencia (12 y 29 mg/kg) respectivamente. Incluso los suelos de las parcelas agrícolas ubicadas en la parte alta (COR1H, COR1C, COR1P, COR1AA), parte media (COR2C, COR2P) y parte baja (COR3H, COR3AA) sobrepasan los niveles de intervención peligro que es de (55 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa. Esto posiblemente se debe a la incidencia directa del material de los cerros y colinas que bordean las parcelas agrícolas, ricos en minerales polimetálicos (estannita, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, etc.), que inciden sobre la formación de los suelos de valle y pie de monte en esta micro-cuenca.

La parcela agrícola COR1AA al presentar niveles peligrosos de As y un elevado porcentaje de grava (73,5%), favorece a la contaminación progresiva de la napa

freática por lavado y percolación de la solución mineral. Cabe mencionar que los niveles de arsénico en los suelos de la micro-cuenca de Coriviri son elevados considerando que su efecto sobre el ser humano y los ecosistemas es acumulativo.

Indica MEDMIN (2006), que a 8 km de la comunidad Jucumari se encuentra la Planta de concentración que esta abandonada, donde se observa efluentes de las bocaminas, la inadecuada disposición de los residuos y desmontes (volumen aprox. 12,000 m³) generan problemas ambientales y cambios de paisaje significativos en la zona.

Tabla 30.- Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri.

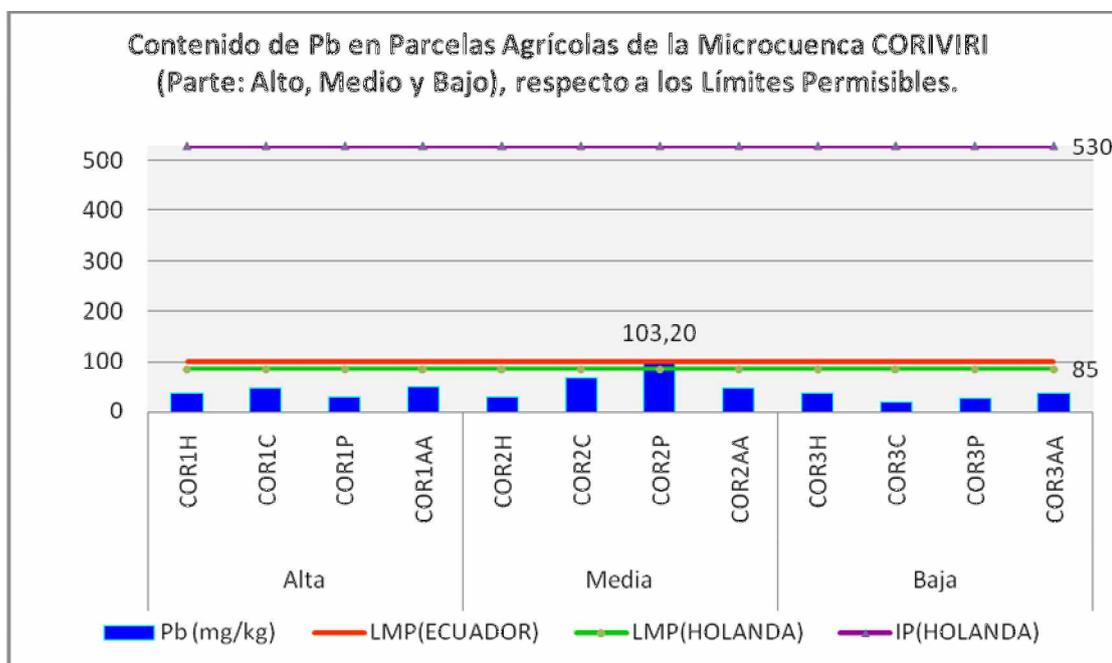
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Alto | COR1H | Jucumari | 36,56 |
| | COR1C | Jucumari | 46,27 |
| | COR1P | Jucumari | 29,84 |
| | COR1AA | Jucumari | 48,75 |
| Medio | COR2H | Coriviri | 28,32 |
| | COR2C | Coriviri | 66,40 |
| | COR2P | Coriviri | 103,20 |
| | COR2AA | Coriviri | 47,70 |
| Bajo | COR3H | Coriviri | 37,22 |
| | COR3C | Coriviri | 18,36 |
| | COR3P | Coriviri | 27,32 |
| | COR3AA | Coriviri | 35,79 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Pb (mg/Kg) | 100 | 85 | 530 |

LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

Los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2) respecto al contenido de Plomo, muestran una tendencia de mayor acumulación en la parte media de la micro-cuenca en relación a la parte alta y baja, apreciándose en el (Tabla 30 y Gráfico 11).

Gráfico 11:



Contrastando los contenidos totales de Plomo encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 15), el Pb, solo en la parcela agrícola (COR2P) ubicada en la parte media de la micro-cuenca, se encuentra por encima de su valor de referencia (85 mg/Kg y 100 mg/kg) respectivamente, atribuible a una elevada presencia de arcilla (24.4%) situación que favorece su adsorción en estos suelos, apreciándose con mayor detalle en el gráfico 11.

En general estos suelos agrícolas de toda la micro-cuenca Coriviri, respecto al contenido de Pb, manifiestan muy por debajo del nivel peligroso (530 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa (Gráfico 11).

Tabla 31.- Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri.

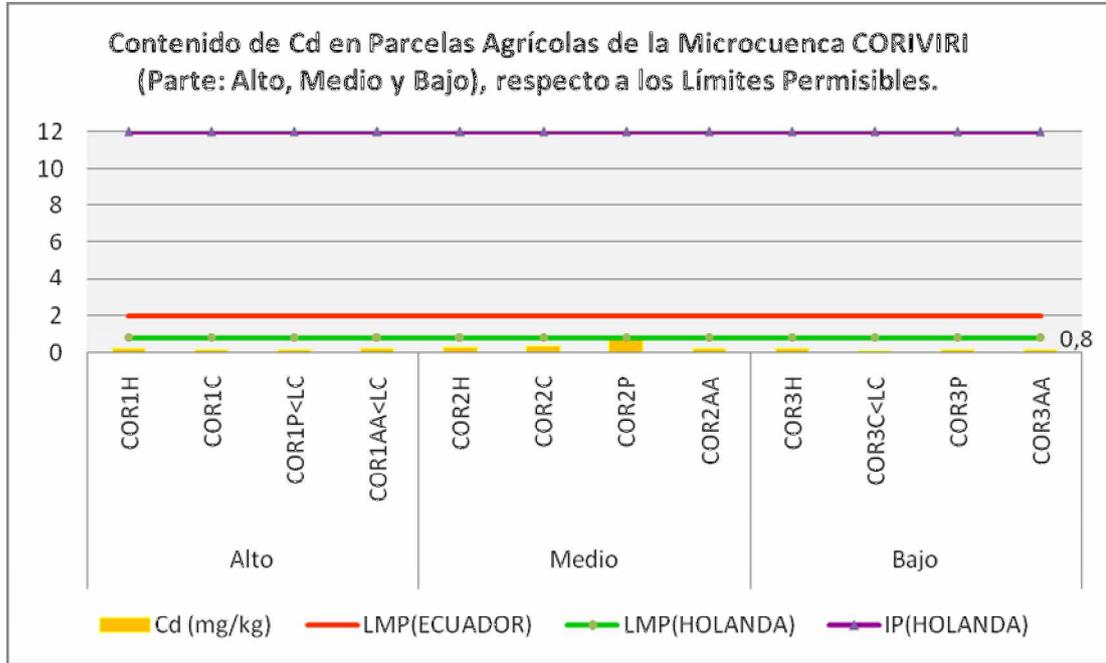
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Alto | COR1H | Jucumari | 0,20 |
| | COR1C | Jucumari | 0,14 |
| | COR1P | Jucumari | < LC |
| | COR1AA | Jucumari | < LC |
| Medio | COR2H | Coriviri | 0,28 |
| | COR2C | Coriviri | 0,34 |
| | COR2P | Coriviri | 0,71 |
| | COR2AA | Coriviri | 0,23 |
| Bajo | COR3H | Coriviri | 0,19 |
| | COR3C | Coriviri | < LC |
| | COR3P | Coriviri | 0,15 |
| | COR3AA | Coriviri | 0,17 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Cd (mg/Kg) | 2 | 0,8 | 12 |

LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

Los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2) respecto al contenido de Cadmio, muestran una tendencia de mayor acumulación en la parte media de la micro-cuenca en relación a la parte alta y baja (Tabla 31 y Gráfico 12), producto de que esta parte media se halla muy cerca de la Planta de Concentración actualmente abandonada, evidenciándose disposición de los residuos y desmontes de la actividad minera que genera problemas ambientales y modificación del paisaje.

Gráfico 12:



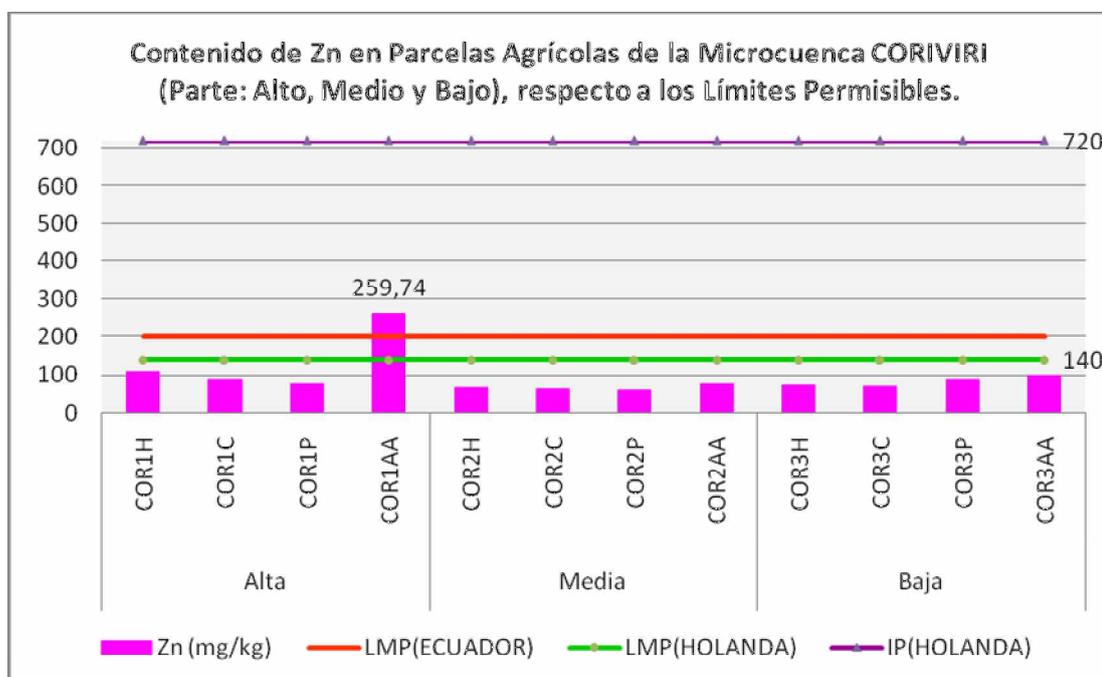
Contrastando los contenidos totales de Cadmio encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los límites máximos permisibles propuesto la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 31 y Gráfico 12), el Cd en estos suelos agrícolas se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (0.8 mg/kg de suelo) y muy por debajo del nivel peligroso (12 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa.

Tabla 32.- Contenido de Zn en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Alto | COR1H | Jucumari | 108,78 |
| | COR1C | Jucumari | 89,70 |
| | COR1P | Jucumari | 74,89 |
| | COR1AA | Jucumari | 259,74 |
| Medio | COR2H | Coriviri | 67,49 |
| | COR2C | Coriviri | 64,60 |
| | COR2P | Coriviri | 60,30 |
| | COR2AA | Coriviri | 77,10 |
| Bajo | COR3H | Coriviri | 72,50 |
| | COR3C | Coriviri | 68,00 |
| | COR3P | Coriviri | 88,38 |
| | COR3AA | Coriviri | 98,38 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Zn (mg/Kg) | 200 | 140 | 720 |

LMP=Límite Máximo Permitido; IP=Intervención Peligro

Gráfico 13:



Los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2) respecto al contenido de Zinc, no denotan una tendencia de acumulación de este metal en toda la micro-cuenca (Tabla 32 y Gráfico 13).

Contrastando los contenidos totales de Zinc encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 32 y Gráfico 13), el suelo de la parcela agrícola (COR1AA; Comunidad: Jucumari) ubicada en la parte alta de la micro-cuenca, supera ligeramente el límite máximo permisible con (259,7 mg/kg de suelo). Los contenidos totales de zinc (Zn) en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri, presentan concentraciones muy por debajo del nivel peligroso (720 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa.

5.2.3. Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles

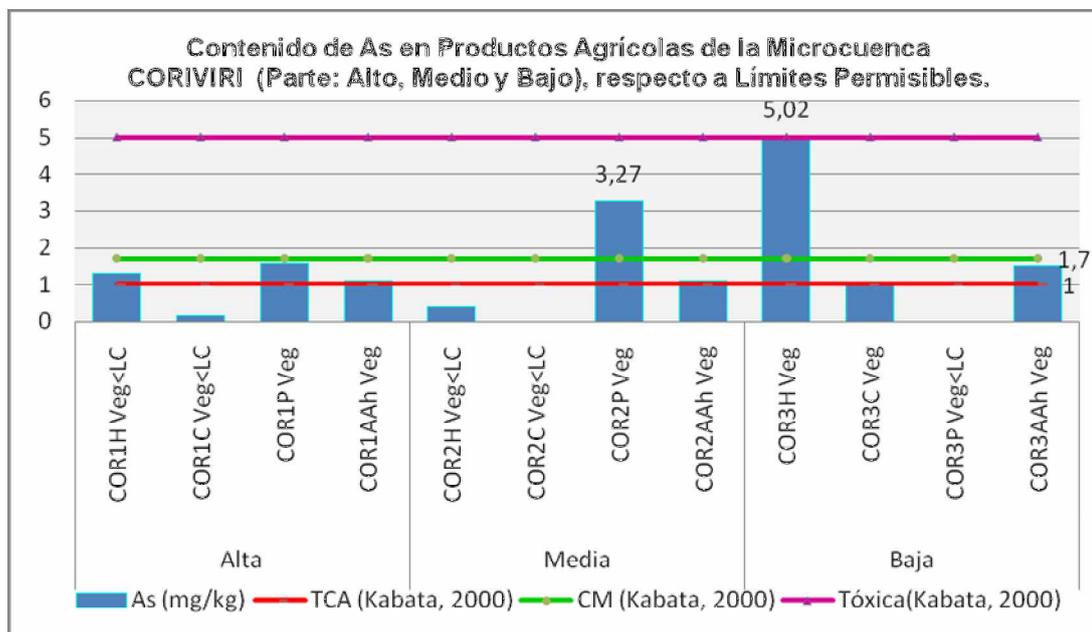
Tabla 33.- Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | COR1H Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1C Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1P Veg | Jucumari | 1,59 |
| | COR1AAh Veg | Jucumari | 1,11 |
| Media | COR2H Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2C Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2P Veg | Coriviri | 3,27 |
| | COR2AAh Veg | Coriviri | 1,12 |
| Baja | COR3H Veg | Coriviri | 5,02 |
| | COR3C Veg | Coriviri | 1,02 |
| | COR3P Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3AAhVeg | Coriviri | 1,51 |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| As (mg/Kg) | 1 | 1,7 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 14:



Comparando los contenidos totales de As en productos agrícolas (Tabla 33 y Gráfico 14) de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los niveles de referencia propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

En la parte alta de la micro-cuenca los productos agrícolas y forraje de (haba, papa, cebada, alfalfa), respondieron por debajo de los contenidos máximos (1.7 mg/kg muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), lo que significa que estos productos agrícolas y forraje se encuentran en el nivel tolerable para consumo.

En la parte media de la micro-cuenca el producto agrícola de papa (COR2P Veg) presenta (3,27 mg/kg) de As, superando el contenido máximo, propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), que es de (1.7 mg/kg) y en la parte baja de la micro-cuenca el producto agrícola de haba (COR3H Veg), supera levemente el nivel tóxico de (5 mg/Kg de muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), debido posiblemente tanto la parte media y baja de la micro-cuenca, se encuentran muy influenciadas por los desmontes existentes de la Planta de Concentración abandonada, además que las parcelas agrícolas tanto de papa y haba de la parte

media y baja de la micro-cuenca respectivamente, presenta un pH en el rango de neutro a débilmente alcalino situación que favorece su disponibilidad del As para los cultivos.

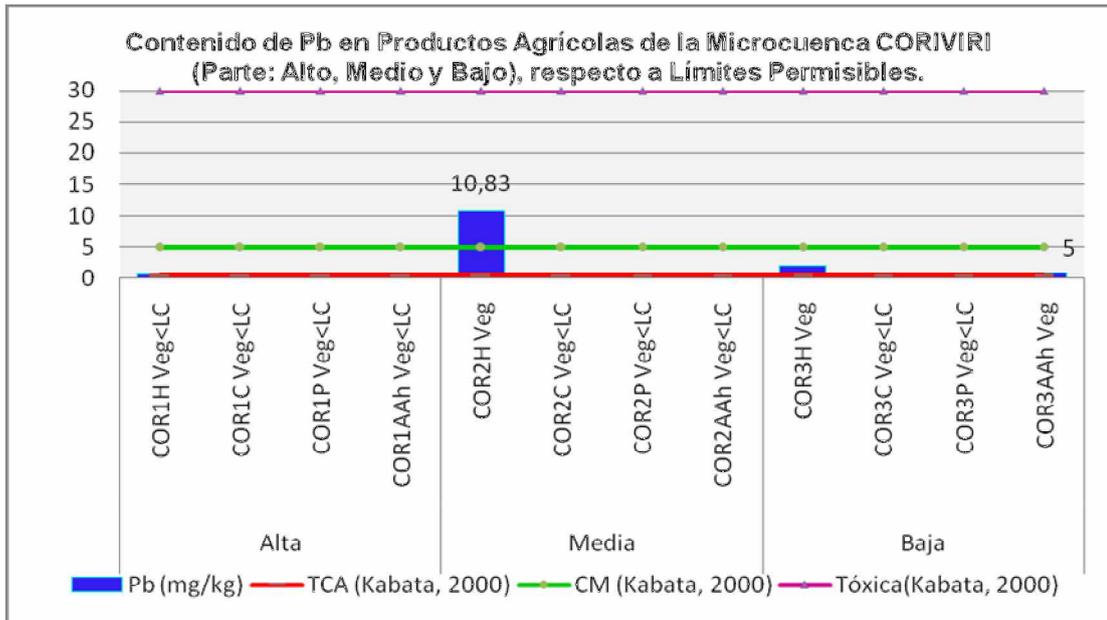
Tabla 34.- Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | COR1H Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1C Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1P Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1AAh Veg | Jucumari | < LC |
| Media | COR2H Veg | Coriviri | 10,83 |
| | COR2C Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2P Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2AAh Veg | Coriviri | < LC |
| Baja | COR3H Veg | Coriviri | 1,92 |
| | COR3C Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3P Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3AAhVeg | Coriviri | 0,87 |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| Pb (mg/Kg) | 0,5 | 5 | 30 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 15:



Comparando los contenidos totales de Pb en productos agrícolas de la micro-cuenca Coriviri (P2), con los niveles de referencia (Tabla 34 y Gráfico 15) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

Solo el producto agrícola de haba ubicada en la parte media de la micro-cuenca (COR2H Veg), superó el nivel de contenido máximo (5mg/kg de muestra) propuesta por Kabata-Pendias, 2000, en virtud de que el cultivo de haba esta expuesta su parte aérea hacia la atmosfera que es una fuente contaminación directa, además de estar muy próxima a la Planta de Concentración abandonada, resaltando que solo se hizo los análisis en la parte comestible, por tanto se presume que las otras parte de la planta albergarían mas contaminantes.

La mayor parte del plomo de las plantas obtenido del suelo se localiza en el sistema radicular: solo pequeñas cantidades llegan a las partes aéreas de la misma (Stocker, 1981).

Los análisis de concentración total de Plomo (Pb) en los productos agrícolas de la micro-cuenca de Coriviri, presentan valores por debajo del nivel peligroso (30 mg/kg de muestra) propuesto por Kabata-Pendias, 2000.

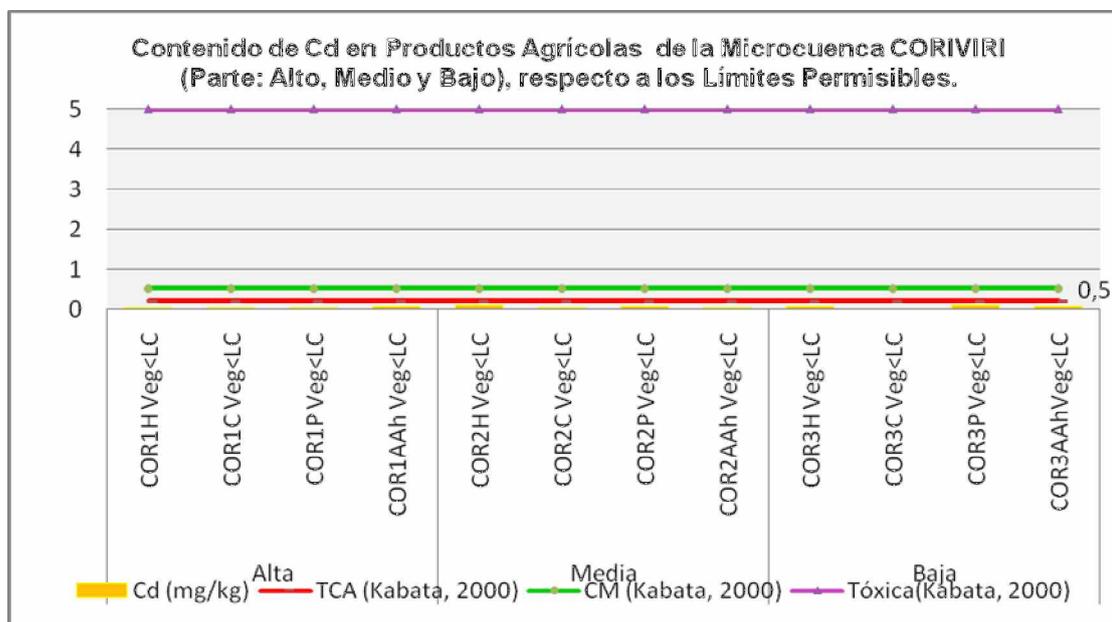
Tabla 35.- Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la microcuenca Coriviri.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alta | COR1H Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1C Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1P Veg | Jucumari | < LC |
| | COR1AAh Veg | Jucumari | < LC |
| Media | COR2H Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2C Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2P Veg | Coriviri | < LC |
| | COR2AAh Veg | Coriviri | < LC |
| Baja | COR3H Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3C Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3P Veg | Coriviri | < LC |
| | COR3AAh Veg | Coriviri | < LC |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| Cd (mg/Kg) | 0,2 | 0,5 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 16:



Comparando los contenidos totales de Cd en productos agrícolas de la microcuenca Coriviri (P2), con los niveles de referencia (Tabla 35 y Gráfico 16) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

Los productos agrícolas y forraje de (haba, cebada, papa y alfalfa) ubicadas tanto en la parte alta, media y baja de la micro-cuenca, se encuentran por debajo del nivel tolerable para cultivos agrícolas (0,2 mg/kg de muestra) propuesto por Kabata-Pendias, 2000. Evidenciándose que tanto los suelos como los productos agrícolas y forraje se encuentran exento de Cd en esta micro-cuenca.

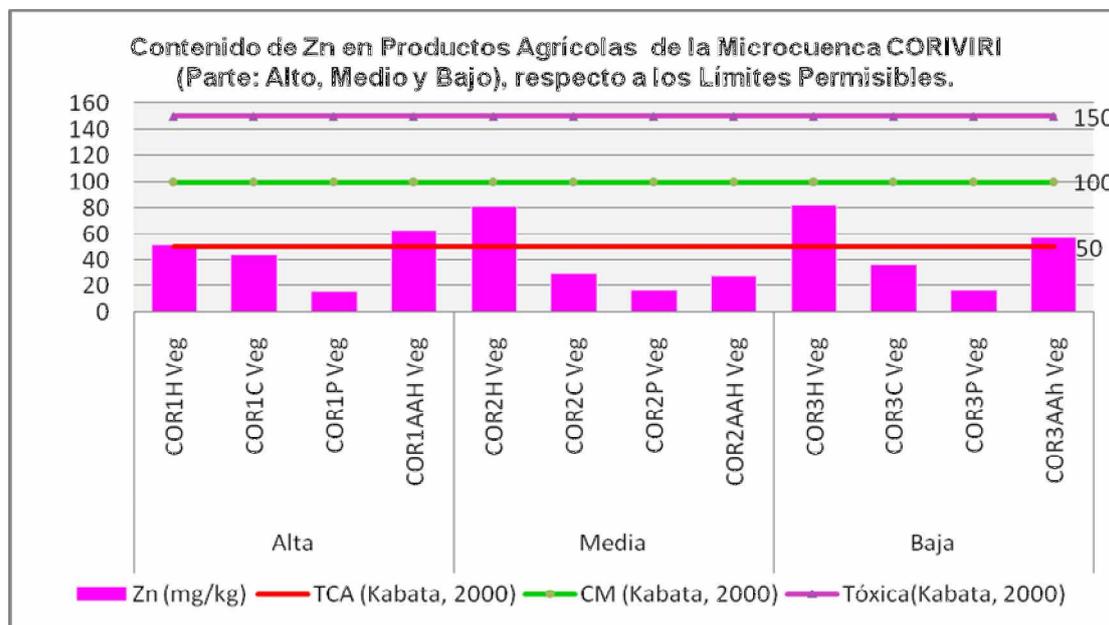
Tabla 36.- Contenido de Zinc en Productos agrícolas de la micro-cuenca Coriviri.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alta | COR1H Veg | Jucumari | 51,60 |
| | COR1C Veg | Jucumari | 43,49 |
| | COR1P Veg | Jucumari | 15,67 |
| | COR1AAh Veg | Jucumari | 63,17 |
| Media | COR2H Veg | Coriviri | 80,84 |
| | COR2C Veg | Coriviri | 29,82 |
| | COR2P Veg | Coriviri | 16,17 |
| | COR2AAh Veg | Coriviri | 27,67 |
| Baja | COR3H Veg | Coriviri | 81,56 |
| | COR3C Veg | Coriviri | 36,50 |
| | COR3P Veg | Coriviri | 16,18 |
| | COR3AAhVeg | Coriviri | 57,33 |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| Zn (mg/Kg) | 50 | 100 | 150 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas

CM=Contenido Máximo

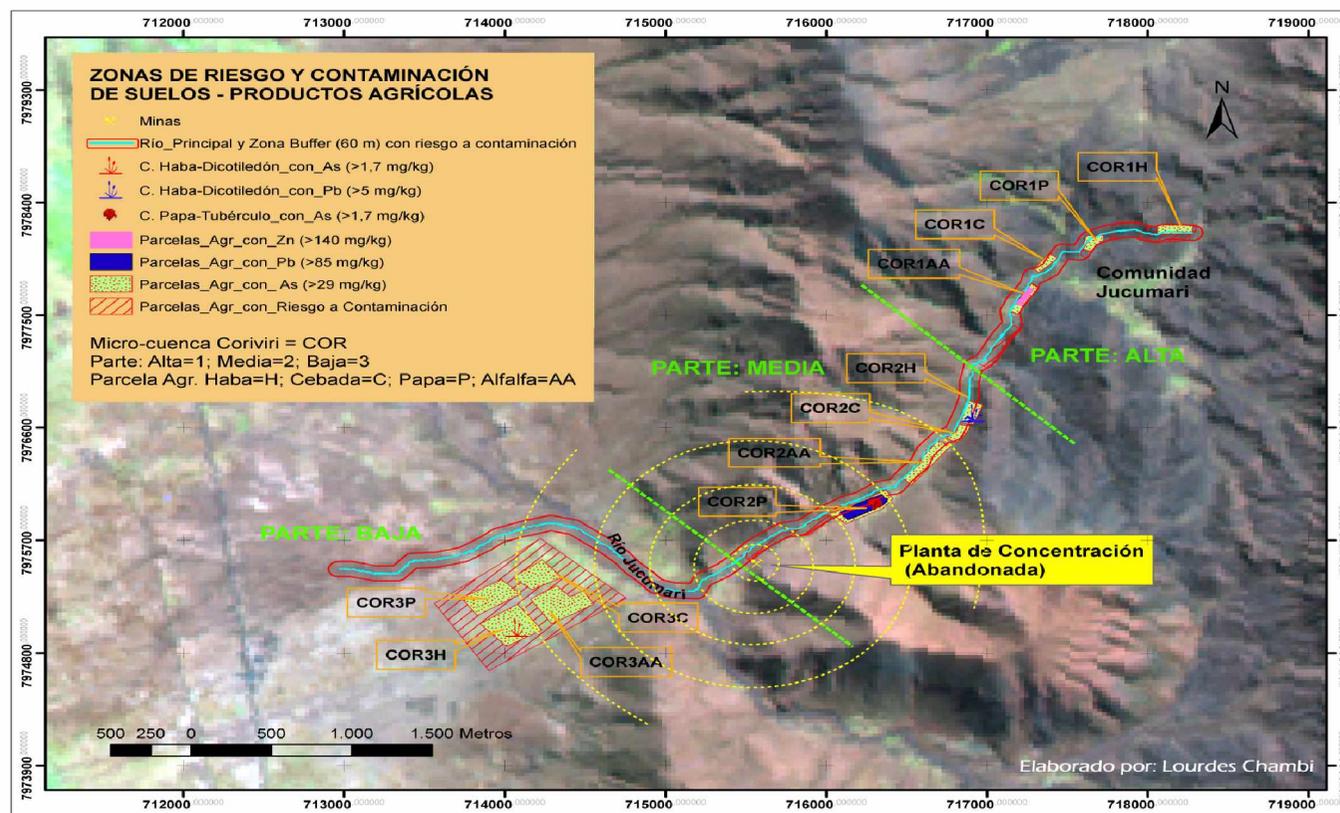
Gráfico 17:



Comparando los contenidos totales de Zn en los productos agrícolas de la microcuenca Coriviri (P2), con los niveles de referencia (Tabla 16) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), manifiestan que:

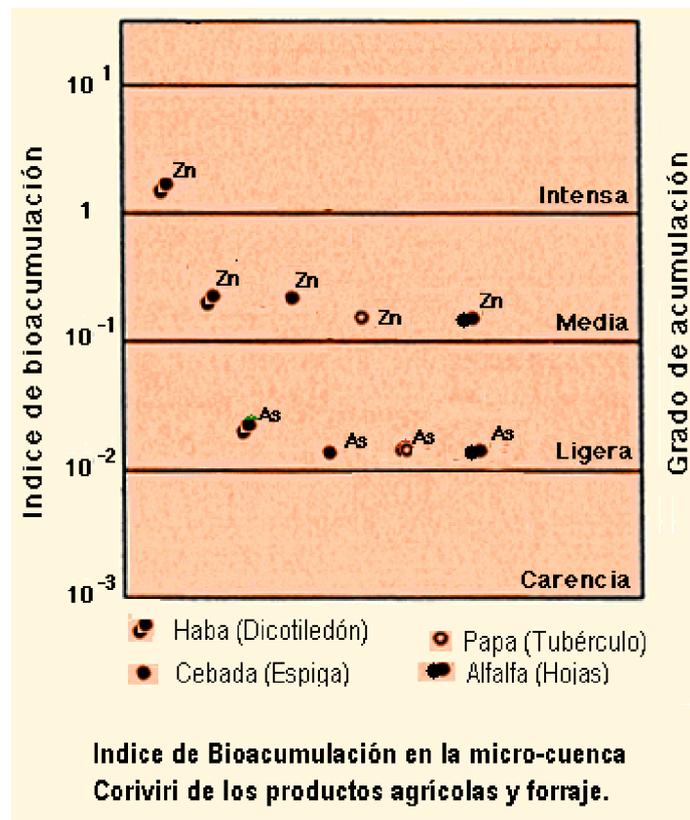
Los productos agrícolas y forraje de (haba-dicotiledón, cebada-espiga, papa-tubérculo y alfalfa-hojas) ubicadas tanto en la parte alta, media y baja de la microcuenca, se encuentran por debajo del contenido máximo para cultivos agrícolas (100 mg/kg de muestra) propuesto por kabata-Pendias, 2000, probablemente a que el Zn es un elemento muy necesario para las plantas, además que el Zn en las parcelas agrícolas de estos cultivos se hallan en cantidades tolerables encontrándose en un equilibrio, por tanto los productos agrícolas y forraje de papa, haba, cebada y alfalfa no se encuentran contaminados por zinc en esta microcuenca.

Figura 7: Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la Micro-cuenca Coriviri parte alta, media y baja.



5.2.4. Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Coriviri

Gráfico 18:



Según los resultados (Gráfica 18) la bioacumulación de Arsénico en la época de cosecha en productos agrícolas de (Haba-dicotiledón), (Papa-tubérculo) y forraje (Cebada-espiga), (Alfalfa-hoja), en las tres partes de la micro-cuenca Coriviri, presentan un grado de acumulación ligera, lo que significa que los productos agrícolas y forrajes acumulan poco As, pero sin embargo por presentar un umbral de toxicidad bajo pueden absorber en pocas cantidades Arsénico, generando efectos nocivos.

Los metales no esenciales y/o tóxicos se suelen acumular en las raíces (Streit y Stumm, 1993) citado por (Cala et al., 2001).

La bioacumulación de Zinc en los productos agrícolas de (Haba-dicotiledón), (Papa-tubérculo) y forraje (Cebada-espiga), (Alfalfa-hoja) en la época de cosecha, en las tres partes de la micro-cuenca Coriviri, presentan un grado de acumulación Media, lo que significa que tanto los productos agrícolas como los forrajes en estudio acumulan zinc en valores tolerantes para la salud humana. Diferenciándose la parte media y baja de la micro-cuenca ya que el producto agrícola (Haba-dicotiledón) presenta una bioacumulación de Zinc intensa, encontrándose este índice de acumulación aún en el margen de tolerancia para la salud humana (gráfico 18), debido a que el Zinc, posee un alto umbral de toxicidad, es decir que pueden absorberse en grandes cantidades sin generar efectos nocivos en función de los contenidos máximos.

Normalmente los elementos que se consideran esenciales como el Zn para el crecimiento de la planta presentan mayor tendencia a la movilidad hacia la parte aérea (Welch, 1995) citado por (Cala et al., 2001).

5.3. Microcuenca Poopó (P3)

5.3.1. Características Físico, Químico y Biológico de las parcelas agrícolas la micro-cuenca Poopó

Tabla 37.- Características físicas de los suelos de la micro-cuenca Poopó.

| Microcuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | Prof. Efect.(cm) | % Arena | % Limo | % Arcilla | Clase Textural | % Gravilla | % Pend. |
|-------------|---------|----------------|------------------------|------------------|---------|--------|-----------|--------------------------|------------|---------|
| POOPO (P3) | Alto | POO1C | Machacamarc Central | 12 | 46,4 | 34 | 19,6 | Franco | 39,2 | 14 |
| | | POO1P | Machacamarc Central | 30 | 46,4 | 32 | 21,6 | Franco | 35,0 | 13 |
| | Medio | POO2C | Kalajawira | 12 | 38,4 | 36 | 25,6 | Franco | 4,6 | 4 |
| | | POO2P | Kalajawira | 30 | 46,4 | 28 | 25,6 | Franco | 34,2 | 4 |
| | Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 11 | 50,4 | 26 | 23,6 | FrancoArcillo Arenoso | 27,8 | 5 |
| | | POO3P | Casa del Campamento | 35 | 50,4 | 28 | 21,6 | Franco | 25,8 | 4,2 |
| | | POO3T | Casa del Campamento | 11 | 50,4 | 28 | 21,6 | Franco | 25,1 | 5 |
| | Sub-Baj | POO4C(al | Quesu Qesuni | 11 | 44,8 | 35,6 | 19,6 | Franco | 15,3 | 14 |
| | | POO4C | Quesu Qesuni | 10 | 52,4 | 30 | 17,6 | FrancoArenos | 14,3 | 7 |
| | | POO4P(al | Quesu Qesuni | 35 | 53,2 | 29,2 | 17,6 | FrancoArenos | 0,0 | 13,4 |
| | | POO4P | Quesu Qesuni | 30 | 41,2 | 33,2 | 25,6 | Franco | 0,0 | 6 |
| | | POO4AA | Quesu Qesuni | > 60 | 55,2 | 27,2 | 17,6 | FrancoArenos | 0,0 | 6 |
| | | PUN4P | Puñaca | 30 | 63,2 | 16 | 20,8 | FrancoArcillo Arenoso | 2,4 | 5,8 |
| | | PUN4C | Puñaca | 12 | 65,2 | 18 | 16,8 | FrancoArenos | 3,4 | 5,6 |

Fuente: Elaboración propia

Las profundidades efectivas de los suelos de las parcelas agrícolas de cebada, papa, trigo en la micro-cuenca Poopó (P3) se encuentran reducidas (Tabla 37), presentando suelos poco desarrollados, formados a partir del material arrastrado de las colinas, con pendientes variadas a lo largo de la micro-cuenca.

La clase textural de los suelos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), en la parte alta (POO1C, POO1P; Comunidad: Machacamarc Central), parte media (POO2C, POO2P; Comunidad: Kalajawira) y parte baja (POO3P, POO3T; Comunidad: Viejo

Poopó), presentan suelos francos a excepción del suelo agrícola (POO3C) que presenta una textura franco arcillo arenosa.

En la parte sub-baja de la micro-cuenca (llanura de infiltración; Comunidad: Quesu Qesuni y Puñaca), los suelos presentan profundidades efectivas reducidas (Tabla 37), producto de la agricultura intensiva y pastoreo, son suelos con textura franco a franco-arenoso, los cultivos que están más cerca al pie de monte presentan pendientes mas pronunciadas.

Tabla 38.- Características químicas y biológicas de los suelos de la micro-cuenca Poopó.

| Micro cuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | pH(CIK); 1:25 | CE (ds/m) | CIC (cmol/kg) | M.O. (%) | Nt (%) | P asim (ppm) |
|--------------|----------|----------------|----------------------|---------------|-----------|---------------|----------|--------|--------------|
| POOPO (P3) | Alto | POO1C | Machacamarca Central | 5,8 | 0,15 | 5,86 | 0,81 | 0,08 | 7,25 |
| | | POO1P | Machacamarca Central | 5,84 | 0,05 | 7,40 | 0,90 | 0,09 | 6,32 |
| | Medio | POO2C | Kalajawira | 7,66 | 0,13 | 18,37 | 1,24 | 0,1 | 7,42 |
| | | POO2P | Kalajawira | 5,97 | 0,07 | 6,97 | 0,91 | 0,07 | 5,95 |
| | Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 6,47 | 0,10 | 7,57 | 1,10 | 0,09 | 14,07 |
| | | POO3P | Casa del Campamento | 6,69 | 0,17 | 9,17 | 1,67 | 0,15 | 15,54 |
| | | POO3T | Casa del Campamento | 6,51 | 0,19 | 7,40 | 1,16 | 0,1 | 16,93 |
| | Sub-Bajo | POO4C(a) | Qesu Qesuni | 7,84 | 0,12 | 26,09 | 0,84 | 0,06 | 6,58 |
| | | POO4C | Qesu Qesuni | 6,5 | 0,30 | 12,62 | 2,22 | 0,17 | 8,84 |
| | | POO4P(a) | Qesu Qesuni | 5,64 | 0,05 | 5,53 | 0,97 | 0,07 | 6,83 |
| | | POO4P | Qesu Qesuni | 6,44 | 0,17 | 11,13 | 1,83 | 0,11 | 8,37 |
| | | POO4AA | Qesu Qesuni | 6,95 | 2,37 | 13,55 | 0,66 | 0,07 | 7,54 |
| | | PUÑ4P | Puñaca | 6,6 | 0,06 | 5,94 | 0,74 | 0,05 | 6,74 |
| PUÑ4C | Puñaca | 6,74 | 0,06 | 5,37 | 0,67 | 0,05 | 7,25 | | |

Fue

nnte: Elaboración propia, basada en el Manual para la interpretación de Análisis de Suelos-Villaruel (1998).

La variación del pH en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3) (Tabla 38), en la parte alta (Comunidad: Machacamarca Central), parte media (Comunidad: Kalajawira) y parte baja (Localizada por la Casa del campamento), presentan un pH entre moderadamente ácido (5,3 – 5,9) a

débilmente ácido (6 - 6,5), con excepción de las parcelas agrícolas (POO2C) y (POO4C alta), que manifiestan un pH moderadamente alcalino (7,6-7,9).

La conductividad eléctrica (CE) es baja (0 - 0,5 ds/m) en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó, ubicadas en la parte: alta, media y baja, por tanto no presentan acumulación de sales en sus suelos, apreciándose en la (Tabla 38), debido a su topografía inclinada, oscilando la pendiente entre (4 a 14 %), situación que favorece a un buen drenaje. A excepción de la parcela agrícola (POO4AA; Comunidad: Qesu Qesuni) parte Sub-baja de la micro-cuenca, que revela una CE fuertemente salina (2,37 ds/m), debido posiblemente a problemas de inundación al encontrarse ubicada en la llanura de infiltración y por el clima seco de la zona durante gran parte del año.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es baja (6 – 12 cmol/kg) en todos los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (Tabla 38), probablemente a la escasez de Materia orgánica y arcilla, menos los suelos agrícolas (POO4C alta, POO4AA; Comunidad: Qesu Qesuni) y (POO2C (Comunidad: Kalajawira) que son apreciadas como alto (26 cmol/kg) y moderado (13 cmol/kg) respectivamente.

El fósforo asimilable en los suelos agrícolas de la micro-cuenca Poopó es moderado (Tabla 38), a excepción de los suelos (POO3P y POO3T) ubicados en la parte baja de la micro-cuenca, que presentan niveles altos de fósforo, debido a la incorporación de estiércol en mayor proporción en estas parcelas agrícolas.

Desde el punto de vista agrícola la fertilidad de las parcelas agrícolas en la micro-cuenca Poopó oscila de baja a moderada (tabla58; Anexo C), lo que significa que estos suelos requieren de un buen manejo y conservación de suelos.

5.3.2. Niveles de Metales Pesados en Suelos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los límites permisibles

Tabla 39.- Contenido de Arsénico en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó.

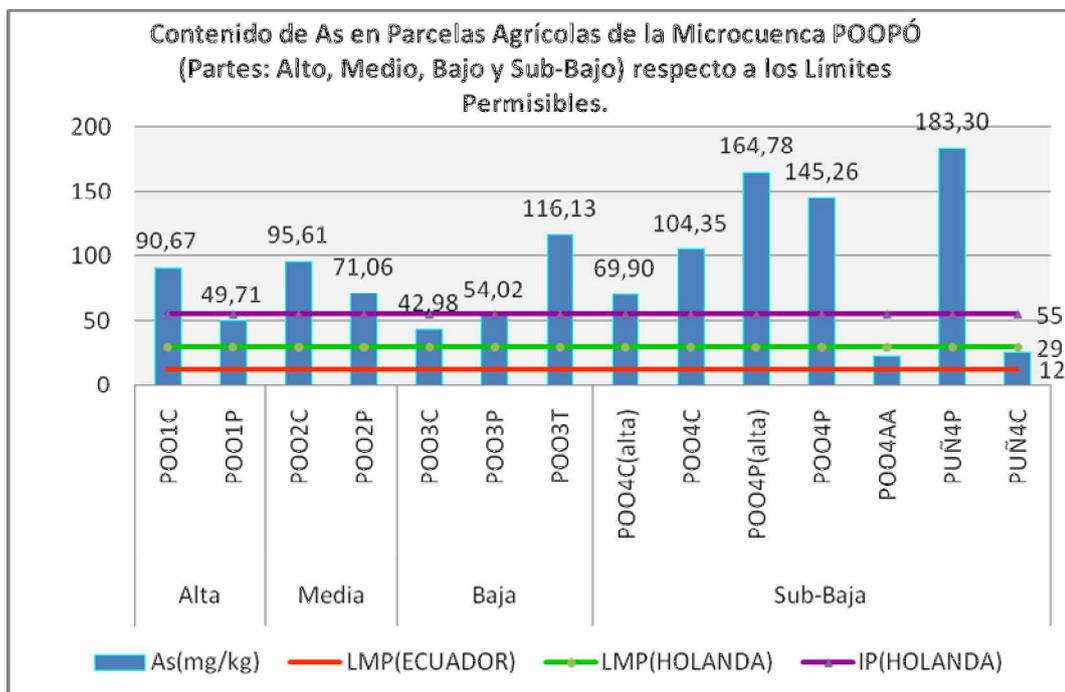
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Alto | POO1C | Machacamarca Central | 90,67 |
| | POO1P | Machacamarca Central | 49,71 |
| Medio | POO2C | Kalajawira | 95,61 |
| | POO2P | Kalajawira | 71,06 |
| Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 42,98 |
| | POO3P | Casa del Campamento | 54,02 |
| | POO3T | Casa del Campamento | 116,13 |
| Sub-Bajo | POO4C(alta) | Qesu Qesuni | 69,90 |
| | POO4C | Qesu Qesuni | 104,35 |
| | POO4P(alta) | Qesu Qesuni | 164,78 |
| | POO4P | Qesu Qesuni | 145,26 |
| | POO4AA | Qesu Qesuni | 21,85 |
| | PUÑ4P | Puñaca | 183,30 |
| | PUÑ4C | Puñaca | 24,60 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| As (mg/Kg) | 12 | 29 | 55 |

LMP=Límite Máximo Permitido; IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Poopó (P3) de acuerdo a los resultados (tabla 39 y gráfico 19) del contenido de As en los suelos de las parcelas agrícolas, presentan una tendencia de mayor acumulación de As en la parte Sub-baja de la micro-cuenca correspondiente a las parcelas agrícolas (POO4C alta, POO4C, POO4P alta, POO4P, PUÑ4P; Comunidad: Qesu Qesuni y Puñaca), en relación a la parte alta, media y baja de la micro-cuenca, debido a que esta llanura es susceptible a la deposición de contaminantes directa e indirectamente por las actividades mineras que se realizan en la parte media y baja de la microcuenca además de la influencia del río Poopó que a partir de la zona baja recibe DAR³ y DAM⁴ generando aguas residuales altamente contaminadas.

³DAR (Drenaje Ácido de Roca); ⁴DAM (Drenaje Ácido de Mina)

Gráfico 19:



Contrastando los contenidos totales de Arsénico encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los límites máximos permisibles propuestos por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental de Holanda (Tabla 39 y Gráfico 19), el As en estos suelos agrícolas presentan concentraciones por encima de su valor de referencia (12 y 29 mg/kg) respectivamente.

De la misma manera algunos suelos de las parcelas agrícolas ubicadas en la parte alta (POO1C; Comunidad: Machacamarcas Central), parte media (POO2C, POO2P ;Comunidad: Kalajawira), parte baja (POO3P, POO3T; Comunidad: Viejo Poopó o Casa del campamento) y parte sub-baja (POO4C alta, POO4C, POO4P alta, POO4P, PUÑ4P; Comunidad: Quesu Qesuni y Puñaca) inclusive superan el nivel de intervención peligro que es de (55 mg/kg) referido a suelos agrícolas según la Agencia Ambiental Holandesa. Llama la atención la muestra (PUÑ4P) que es una parcela agrícola que esta protegido por un cerro pero sin embargo tiene los mayores contenidos con (183,30 mg As/kg de suelo), probablemente esta zona de

Puñaca este influenciada por el retroceso del lago Poopó, que es motivo de preocupación debido a que según Farrel et al (1991), indica que el arsénico es un elemento muy contaminante y sumamente peligroso para la salud humana.

Según investigaciones de agua de pozo por Ramos y Niura (2008), observaron que los valores de arsénico en Puñaca son particularmente altos para agua de consumo (Ramos y Niura, 2008).

Tabla 40.- Contenido de Plomo en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó.

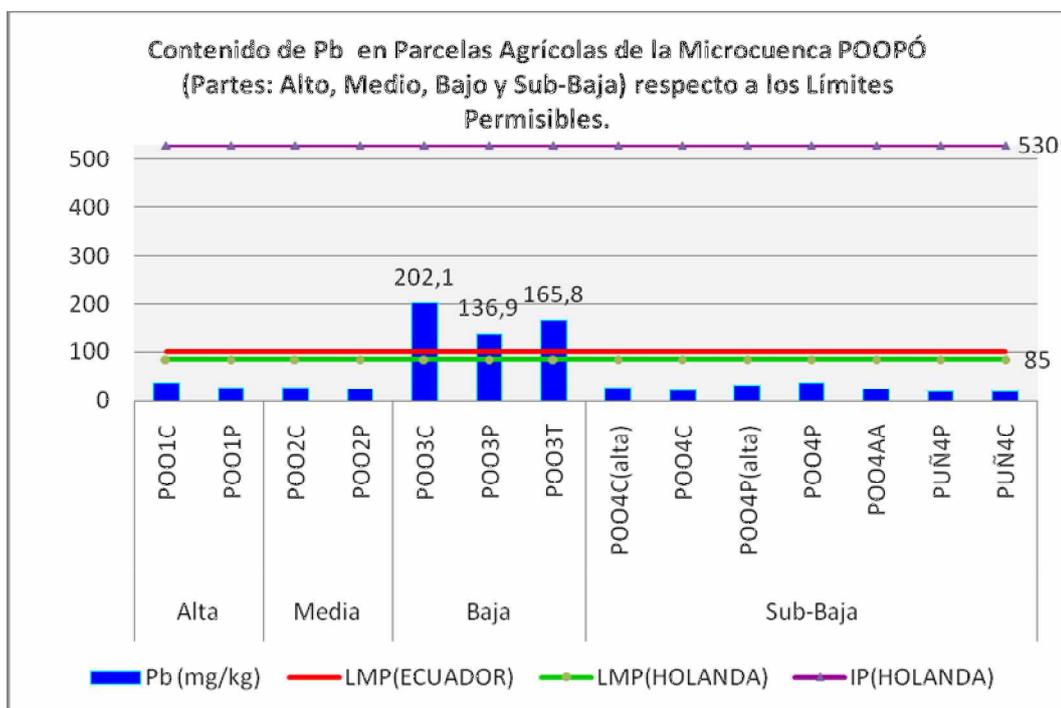
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Alto | POO1C | Machacamarca Central | 38,44 |
| | POO1P | Machacamarca Central | 26,38 |
| Medio | POO2C | Kalajawira | 26,41 |
| | POO2P | Kalajawira | 24,94 |
| Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 202,12 |
| | POO3P | Casa del Campamento | 136,94 |
| | POO3T | Casa del Campamento | 165,82 |
| Sub-Bajo | POO4C(alta) | Quesu Qesuni | 28,22 |
| | POO4C | Quesu Qesuni | 22,06 |
| | POO4P(alta) | Quesu Qesuni | 33,09 |
| | POO4P | Quesu Qesuni | 37,42 |
| | POO4AA | Quesu Qesuni | 24,68 |
| | PUÑ4P | Puñaca | 18,75 |
| | PUÑ4C | Puñaca | 18,90 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Pb (mg/Kg) | 100 | 85 | 530 |

LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Poopó (P3) de acuerdo a los resultados del contenido total de Pb en los suelos de las parcelas agrícolas (tabla 40 y gráfico 20), se evidencia una tendencia de mayor acumulación de Pb en la parte Baja de la micro-cuenca correspondiente a las parcelas agrícolas (POO3C, POO3P, POO3T (localizada por la Casa del campamento)), en relación a la parte alta, media y sub-baja de la micro-cuenca.

Gráfico 20:



Contrastando los contenidos totales de Plomo encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los límites máximos permisibles propuesto por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador (Tabla 40 y Gráfica 20), en la parte baja de la micro-cuenca, los suelos agrícolas (POO3C, POO3P, POO3T; localizada por la Casa del campamento), revelan concentraciones por encima de su valor de referencia 100 mg/kg de suelo, posiblemente porque estos suelos están muy cerca de la mina Machacamarquita (abandonada) y San Francisco donde existe desmontes a la intemperie que por acción del viento y lluvia son arrastradas hacia estos suelos agrícolas, además indican los agricultores cuando existe agua disponible para riego hacen uso de ello.

Los contenidos totales de plomo en los suelos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3) se manifiestan muy por debajo de los niveles peligrosos (530 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa.

Tabla 41.- Contenido de Cadmio en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Alto | POO1C | Machacamarca Central | 0,63 |
| | POO1P | Machacamarca Central | 0,17 |
| Medio | POO2C | Kalajawira | 0,59 |
| | POO2P | Kalajawira | 0,19 |
| Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 1,27 |
| | POO3P | Casa del Campamento | 0,73 |
| | POO3T | Casa del Campamento | 4,33 |
| Sub-Bajo | POO4C(alta) | Quesu Qesuni | 0,16 |
| | POO4C | Quesu Qesuni | 0,14 |
| | POO4P(alta) | Quesu Qesuni | 0,40 |
| | POO4P | Quesu Qesuni | 0,21 |
| | POO4AA | Quesu Qesuni | 0,21 |
| | PUÑ4P | Puñaca | < LC |
| | PUÑ4C | Puñaca | < LC |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Cd (mg/Kg) | 2 | 0,8 | 12 |

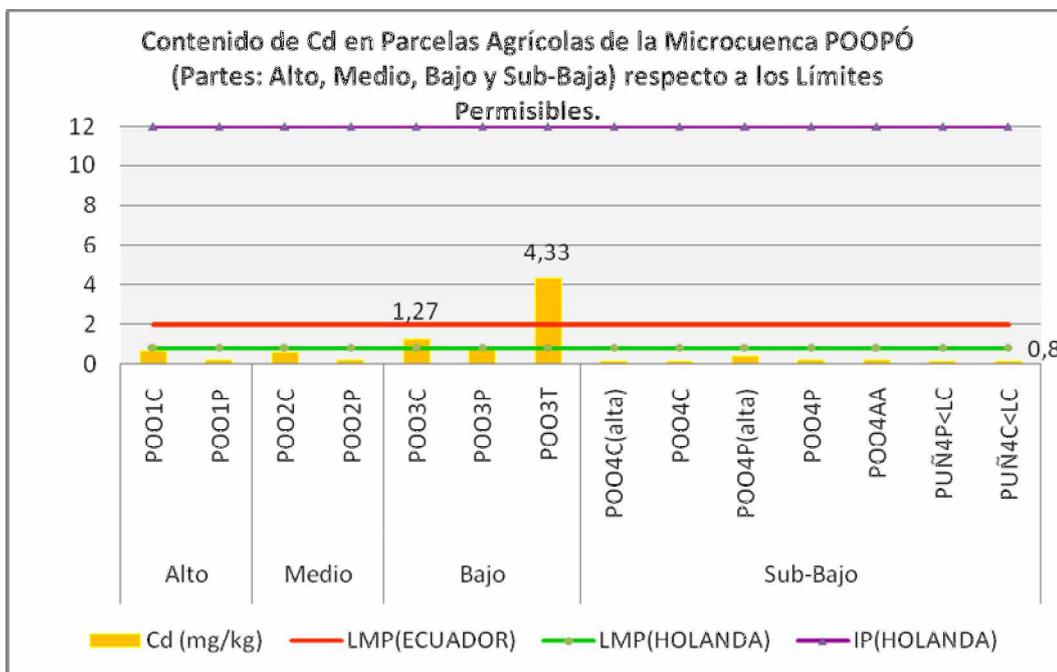
LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Poopó (P3) de acuerdo a los resultados del contenido total de Cd en los suelos de las parcelas agrícolas (tabla 41 y gráfico 21), existe una tendencia de mayor acumulación de Cd en la parte Baja de la micro-cuenca correspondiente a las parcelas agrícolas (POO3C, POO3P, POO3T; localizada por la Casa del campamento), en relación a la parte alta, media y sub-baja de la micro-cuenca.

⁵Guerrero (2001), Los relaves son materiales granulares de tamaño generalmente menores de 2 mm: que comprende fracciones de tamaños arena, limo y arcilla con formas predominantes angulosos y subangulosos, su mineralogía depende del tipo de yacimiento y proceso metalúrgico; predominando comúnmente en los relaves pirita, carbonatos, cuarzo como mayoritarios y como minoritarios galena, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, feldespatos, óxido de hierro, arcilla, etc.

Gráfico 21:



Contrastando los contenidos totales de Cadmio encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los límites máximos permisibles propuesto por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental Holandesa (Tabla 15), en la parte baja de la micro-cuenca las parcelas agrícolas (POO3C, POO3T; localizada por la Casa del campamento), revelan concentraciones por encima de su valor de referencia (0,8 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa, e inclusive la parcela agrícola (POO3T) supera el límite máximo permisible (2 mg/kg de suelo) propuesto por la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador, presumible a que estas parcelas agrícolas de cebada como de trigo según los agricultores sufrieron inundación con relaves⁵ de mina.

Los contenidos totales de Cd en los suelos agrícolas de la micro-cuenca de Poopó, se encuentran muy por debajo del nivel peligroso (12 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa.

Tabla 42.- Contenido de Zinc en suelos de parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó.

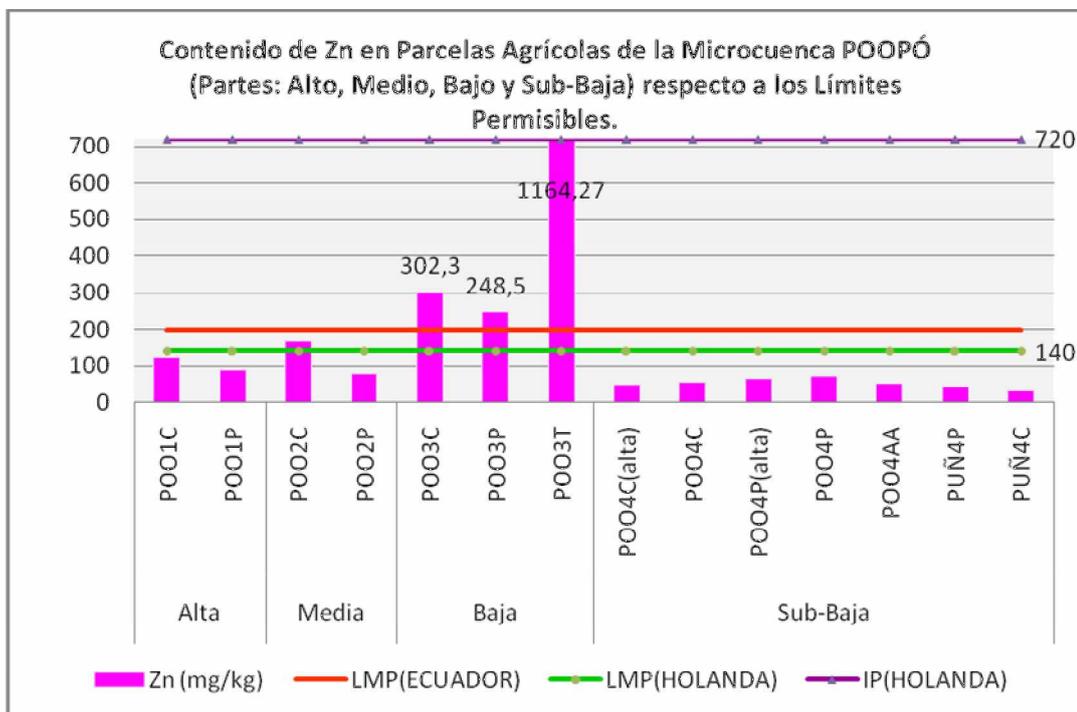
| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Alto | POO1C | Machacamarca Central | 123,45 |
| | POO1P | Machacamarca Central | 88,00 |
| Medio | POO2C | Kalajawira | 165,50 |
| | POO2P | Kalajawira | 78,90 |
| Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 302,38 |
| | POO3P | Casa del Campamento | 248,50 |
| | POO3T | Casa del Campamento | 1164,27 |
| Sub-Bajo | POO4C(alta) | Quesu Quesuni | 47,70 |
| | POO4C | Quesu Quesuni | 55,70 |
| | POO4P(alta) | Quesu Quesuni | 65,47 |
| | POO4P | Quesu Quesuni | 71,66 |
| | POO4AA | Quesu Quesuni | 52,00 |
| | PUÑ4P | Puñaca | 40,30 |
| | PUÑ4C | Puñaca | 32,20 |
| Elemento | LMP(ECUADOR) | LMP(HOLANDA) | IP(HOLANDA) |
| Zn (mg/Kg) | 200 | 140 | 720 |

LMP=Límite Máximo Permitido

IP=Intervención Peligro

En la micro-cuenca Poopó (P3) de acuerdo a los resultados del contenido total de Zn en los suelos de las parcelas agrícolas (tabla 42 y gráfico 22), existe una tendencia de mayor acumulación de Zn en la parte Baja de la micro-cuenca correspondiente a las parcelas agrícolas (POO3C, POO3P, POO3T; localizada por la Casa del campamento), en relación a la parte alta, media y sub-baja de la micro-cuenca.

Gráfico 22:



Contrastando los contenidos totales de Zinc encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los valores de referencia (Tabla 42 y Gráfico 22), en la parte baja de la micro-cuenca las parcelas agrícolas (POO3C, POO3T; localizada por la Casa del campamento), revelan concentraciones por encima del límite máximo permisible (140 mg/kg y 200 mg/Kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador, respectivamente, inclusive la parcela agrícola (POO3T) excede el nivel peligroso de (720 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa, presumible a la inundación con relave de mina ocurrida en estas parcelas agrícolas, además que estas parcelas agrícolas se encuentran muy cerca a mina abandonada Machacamarquita que presenta pasivos ambientales y la mina San Francisco en operación la cual explota (blenda ZnS), por lo que es presumible afirmar que la contaminación de los suelos por Zn proviene de la minería circundante en la región.

Las fuentes antropogénicas de entrada de oligoelementos en la biosfera son uno de los aspectos más graves de la contaminación ambiental. En especial, el efecto de la agresión de los oligoelementos a la biosfera de las regiones áridas y semiáridas debe ser motivo de gran preocupación. Los procesos biogeoquímicos específicos de estas regiones pueden dar lugar a alteraciones rápidas e irreversibles del medio natural. (Kabata-Pendias, 2001).

5.3.3. Niveles de Metales Pesados en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó (Parte: Alto, Medio y Bajo), respecto a los Límites Permisibles

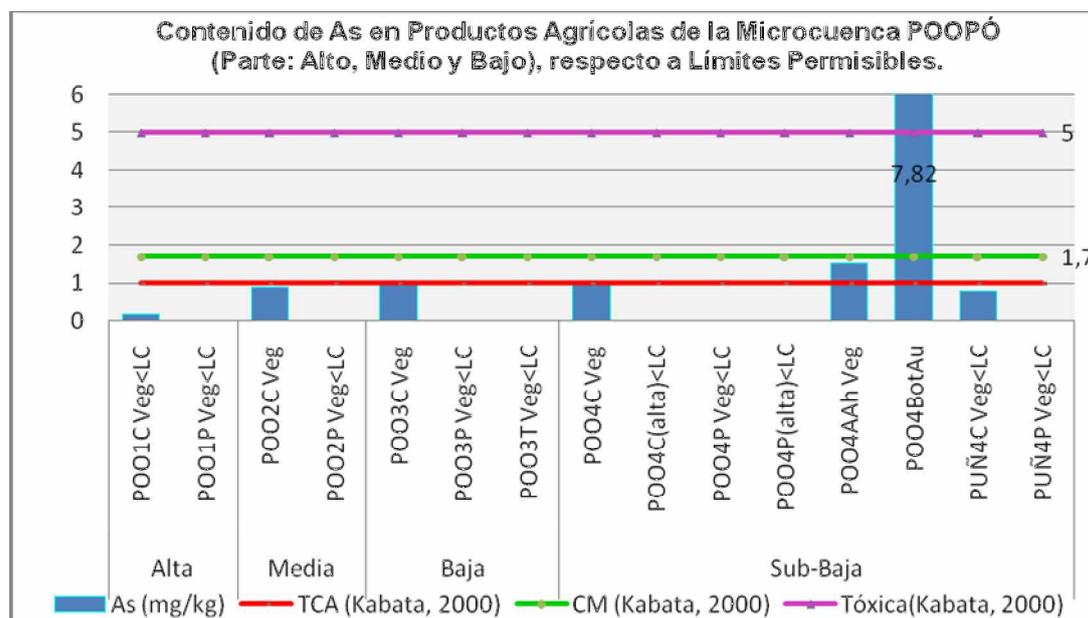
Tabla 43.- Contenido de Arsénico en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | As (mg/kg) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alta | POO1C Veg | Machacamarca Central | < LC |
| | POO1P Veg | Machacamarca Central | < LC |
| Media | POO2C Veg | Kalajawira | 0,88 |
| | POO2P Veg | Kalajawira | < LC |
| Baja | POO3C Veg | Casa del Campamento | 1,05 |
| | POO3P Veg | Casa del Campamento | < LC |
| | POO3T Veg | Casa del Campamento | < LC |
| Sub-Baja | POO4C Veg | Qesu Qesuni | 0,97 |
| | POO4C(alta) | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4P Veg | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4P(alta) | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4AAh Veg | Qesu Qesuni | 1,54 |
| | POO4BotAu | Qesu Qesuni | 7,82 |
| | PUÑ4C Veg | Puñaca | < LC |
| | PUÑ4P Veg | Puñaca | < LC |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| As (mg/Kg) | 1 | 1,7 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas

CM=Contenido Máximo

Gráfico 23:



Comparando los contenidos totales de As en productos agrícolas de la microcuenca Poopó (P3), con los niveles de referencia (Tabla 43 y Gráfica 23) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

En la parte alta (Machacamarca Central), media (Kalajawira), baja (Viejo Poopó) y sub-baja (Quesu Quesuni y Puñaca) de la micro-cuenca, los productos agrícolas y forraje de (papa-tubérculo, cebada-espiga, alfalfa-hoja), presentan concentraciones de As por debajo de los contenidos máximos (1.7 mg/kg muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), debido a que las parcelas agrícolas tienen un pH moderadamente ácido, situación que favorece a que el As sea no disponible para estos cultivos. A excepción de la parte sub-baja de la micro-cuenca Llanura de infiltración la planta *Hymenoxys robusta* que presentó concentraciones totales de As, superando el nivel peligroso (5 mg/Kg de muestra) propuesta por Kabata-Pendias, 2000. Según los pobladores mencionaron que esta planta es venenosa, puesto que sus animales al ingerir llegan a fallecer, generalmente esta planta se encuentra en medio de los cultivos de alfalfa.

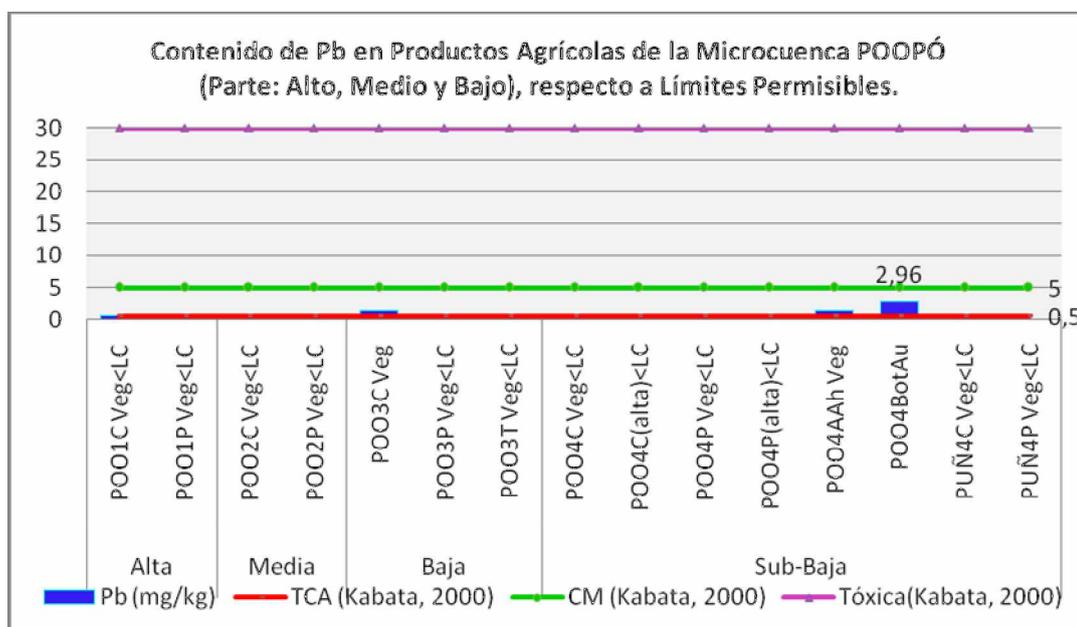
Tabla 44.- Contenido de Plomo en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Pb (mg/kg) |
|------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Alta | POO1C Veg | Machacamarca Central | < LC |
| | POO1P Veg | Machacamarca Central | < LC |
| Media | POO2C Veg | Kalajawira | < LC |
| | POO2P Veg | Kalajawira | < LC |
| Baja | POO3C Veg | Casa del Campamento | 1,31 |
| | POO3P Veg | Casa del Campamento | < LC |
| | POO3T Veg | Casa del Campamento | < LC |
| Sub-Baja | POO4C Veg | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4C(alta) | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4P Veg | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4P(alta) | Qesu Qesuni | < LC |
| | POO4AAh Veg | Qesu Qesuni | 1,33 |
| | POO4BotAu | Qesu Qesuni | 2,96 |
| | PUÑ4C Veg | Puñaca | < LC |
| | PUÑ4P Veg | Puñaca | < LC |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| Pb (mg/Kg) | 0,5 | 5 | 30 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

Gráfico 24:



Comparando los contenidos totales de Pb en productos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los niveles de referencia (Tabla 44 y Gráfico 24) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

En la parte alta (Machacamarca Central), media (Kalajawira), baja (Viejo Poopó) y sub-baja (Quesu Qesuni y Puñaca) de la micro-cuenca, los productos agrícolas y forraje de (papa-tubérculo, cebada-espiga, alfalfa-hojas), se encuentran por debajo de los contenidos máximos (5 mg/kg muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000). Se evidencia que la planta *Hymenoxys robusta* (Botón de oro) presenta (2,96 mg/Kg) de Pb, pero que no sobrepasa el nivel de contenido máximo, a un así demuestra su capacidad de acumulación en (sus flores y hojas).

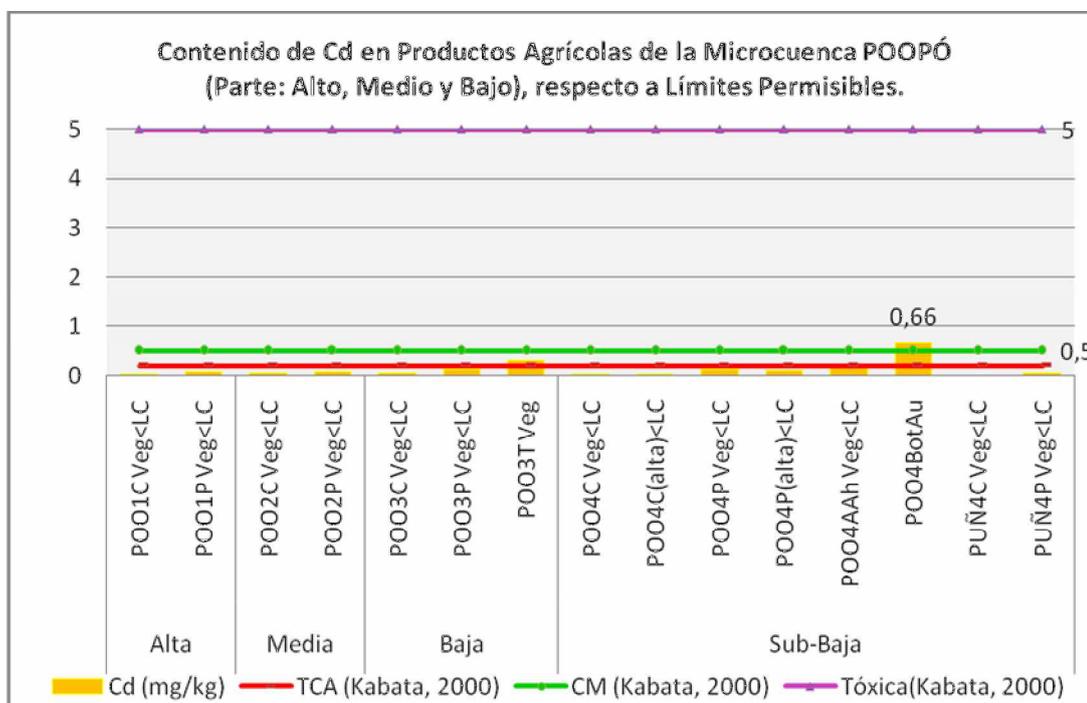
Tabla 45.- Contenido de Cadmio en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Cd (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Alta | POO1C Veg | Machacamarca Central | < LC |
| | POO1P Veg | Machacamarca Central | < LC |
| Media | POO2C Veg | Kalajawira | < LC |
| | POO2P Veg | Kalajawira | < LC |
| Baja | POO3C Veg | Casa del Campamento | < LC |
| | POO3P Veg | Casa del Campamento | < LC |
| | POO3T Veg | Casa del Campamento | 0,31 |
| Sub-Baja | POO4C Veg | Quesu Qesuni | < LC |
| | POO4C(alta) | Quesu Qesuni | < LC |
| | POO4P Veg | Quesu Qesuni | < LC |
| | POO4P(alta) | Quesu Qesuni | < LC |
| | POO4AAh Veg | Quesu Qesuni | < LC |
| | POO4BotAu | Quesu Qesuni | 0,66 |
| | PUÑ4C Veg | Puñaca | < LC |
| | PUÑ4P Veg | Puñaca | < LC |
| Elemento | TCA (Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica (Kabata, 2000) |
| Cd (mg/Kg) | 0,2 | 0,5 | 5 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas

CM=Contenido Máximo

Gráfico 25:



Comparando los contenidos totales de Cd en productos agrícolas de la microcuenca Poopó (P3), con los niveles de referencia (Tabla 45 y Gráfico 25) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

En la parte alta (Machacamarca Central), media (Kalajawira), baja (Viejo Poopó) y sub-baja (Quesu Quesuni y Puñaca) de la micro-cuenca, los productos agrícolas y forraje de (papa, cebada, alfalfa), se encuentran por debajo de los contenidos máximos (0,5 mg/kg muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000).

De la misma manera que en el As la planta *Hymenoxys robusta* llamada vernacularmente como botón de oro, presentó concentraciones de Cadmio por encima de los contenidos máximos (0,5 mg/kg de muestra) propuesta por Kabata-Pendias, 2000, afirmando su alta capacidad de absorción de metales pesados, considerándola como una planta rústica con alta capacidad de adaptarse a condiciones adversas en suelo y clima como se evidencia en esta región.

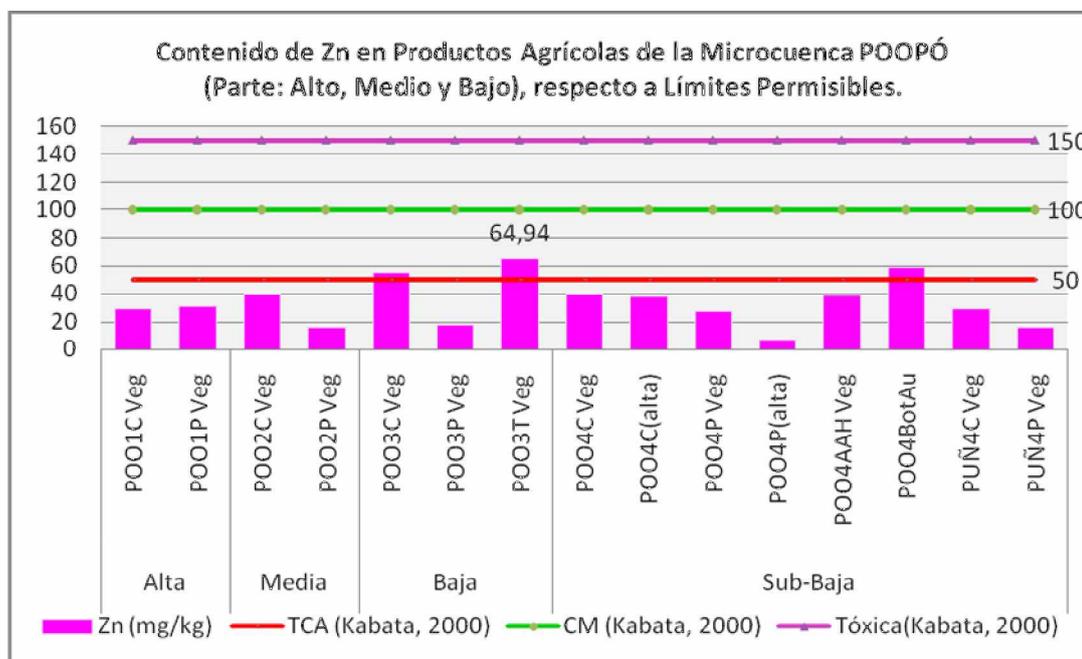
Tabla 46.- Contenido de Zinc en Productos agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó.

| PARTE | CÓDIGO PARCELA | LOCALIDAD | Zn (mg/kg) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Alta | POO1C Veg | Machacamarca Central | 29,67 |
| | POO1P Veg | Machacamarca Central | 31,50 |
| Media | POO2C Veg | Kalajawira | 40,00 |
| | POO2P Veg | Kalajawira | 16,00 |
| Baja | POO3C Veg | Casa del Campamento | 55,33 |
| | POO3P Veg | Casa del Campamento | 17,98 |
| | POO3T Veg | Casa del Campamento | 64,94 |
| Sub-Baja | POO4C Veg | Quesu Qesuni | 39,68 |
| | POO4C(alta) | Quesu Qesuni | 38,17 |
| | POO4P Veg | Quesu Qesuni | 27,18 |
| | POO4P(alta) | Quesu Qesuni | 7,33 |
| | POO4AAH Veg | Quesu Qesuni | 39,00 |
| | POO4BotAu | Quesu Qesuni | 58,83 |
| | PUÑ4C Veg | Puñaca | 29,32 |
| | PUÑ4P Veg | Puñaca | 16,33 |
| Elemento | TCA(Kabata, 2000) | CM (Kabata, 2000) | Tóxica(Kabata, 2000) |
| Zn (mg/Kg) | 50 | 100 | 150 |

TCA=Tolerable en cultivos Agrícolas;

CM=Contenido Máximo

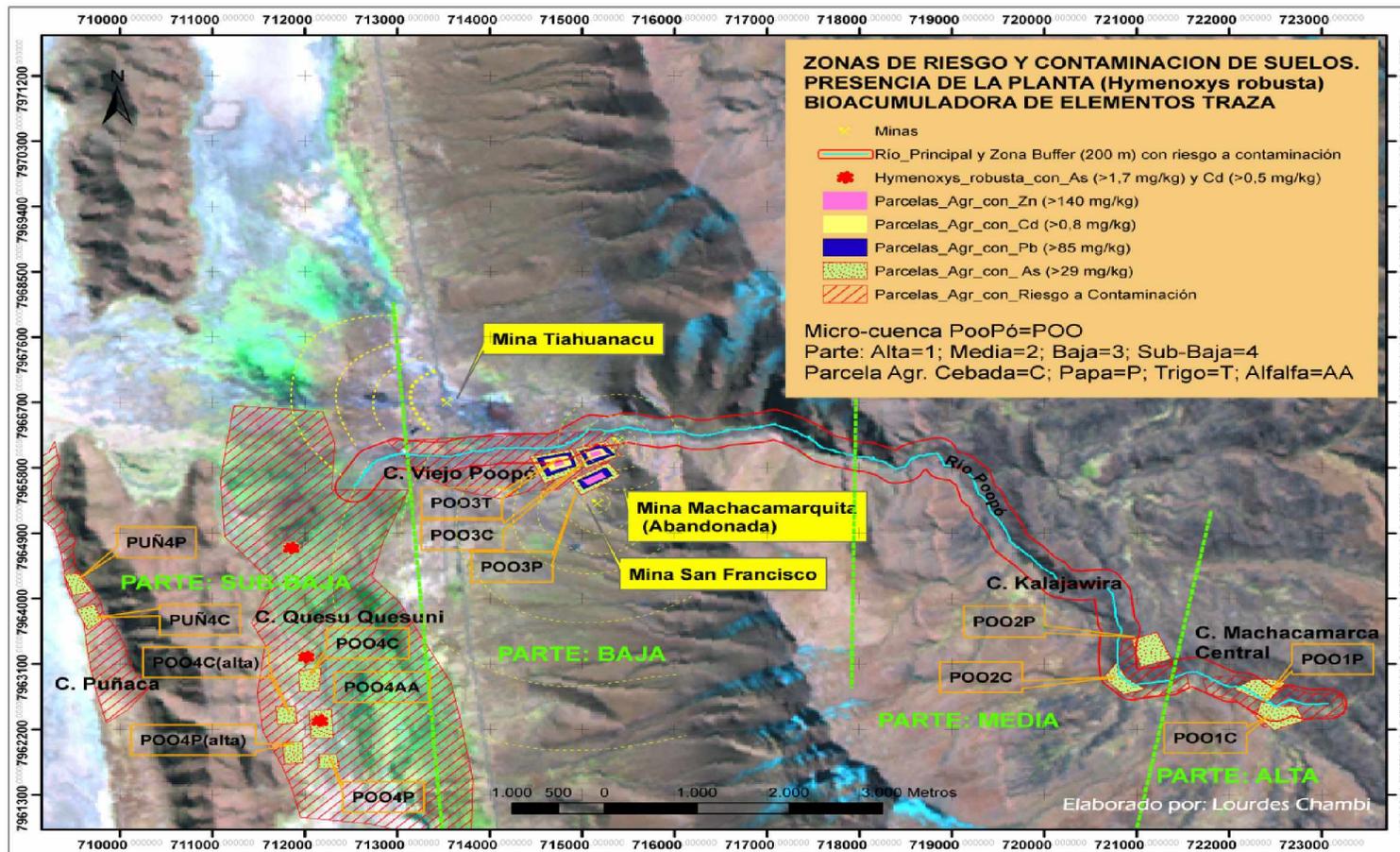
Gráfico 26:



Comparando los contenidos totales de Zn en productos agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), con los niveles de referencia (Tabla 16) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), revelan que:

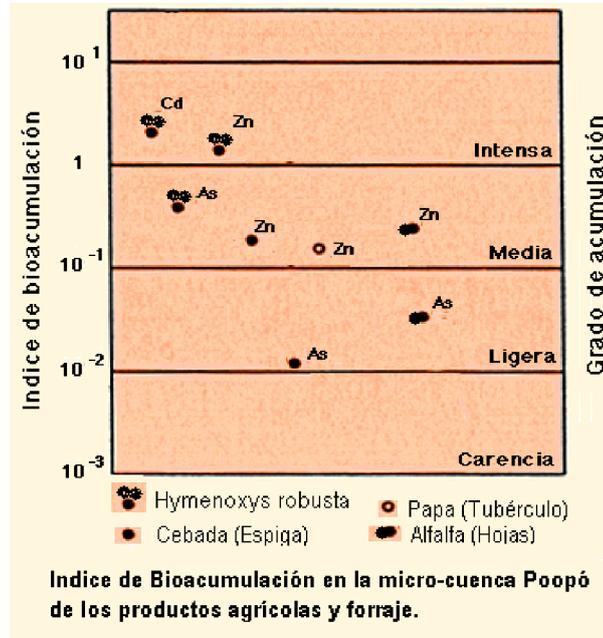
En la parte alta (Machacamarca Central), media (Kalajawira), baja (Viejo Poopó) y sub-baja (Quesu Qesuni y Puñaca) de la micro-cuenca Poopó, los productos agrícolas y forraje de (papa-tubérculo, cebada-espiga, alfalfa-hoja), se encuentran por debajo de los contenidos máximos de (100 mg/kg muestra) propuesto por (Kabata-Pendias, 2000). Podemos notar también que los productos agrícolas de (POO3C Veg, POO3T Veg) y la planta (POO4BotAu), pasaron el nivel tolerable en Zn para cultivos (50 mg/kg de muestra), debido a que la parte baja de la micro-cuenca fue afectado por inundación de relaves de mina, aún en esa situación los productos agrícolas (espigas) de estas parcelas no están contaminados con As, Pb, Cd y Zn atribuible a la inhibición en la formación de los granos de (cebada y trigo), recomendando realizar análisis en los otros órganos de la planta como la raíz, tallo y hoja que posiblemente acumularían mayor cantidad de contaminantes.

Figura 8: Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) en parcelas agrícolas de la Micro-cuenca Poopó parte alta, media, baja y sub-baja.



5.3.4. Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la micro-cuenca Poopó

Gráfico 27:



Según los resultados (Gráfica 27) la bioacumulación de Arsénico (época de cosecha) en la (Cebada-espiga) es ligera, en toda la micro-cuenca Poopó (P3). En la parte Sub-baja (Quesu Quesuni y Puñaca) de la micro-cuenca, la bioacumulación del As en la (Alfalfa-hoja) es ligera, diferenciándose la planta *Hymenoxys robusta* que en sus (hojas y flores) presenta un grado de bioacumulación de As media.

La bioacumulación de Zinc es media en la (Papa-tubérculo), (Cebada-espiga) y (Alfalfa-hoja) en las tres partes de la micro-cuenca Poopó en época de cosecha.

La bioacumulación de Cd y Zn es intensa en la planta (Botón de oro-*Hymenoxys robusta*), y moderada de As, lo que significa que la planta botón de oro tiene alta capacidad de acumulación de metales pesados en sus (hojas y flores), considerándola peligrosa para los animales que la consuman. Esta planta se encontró solo en la parte sub-baja (Llanura de infiltración) de la micro-cuenca Poopó.

La *Hymenoxys robusta* en las (hojas y flores) absorbió gran cantidad de elementos tóxico, si consideramos para un próximo estudio el tallo y la raíz probablemente encontremos en esta planta la aptitud hiperacumuladora⁶, por el momento esta planta desarrolla características acumuladoras de elementos traza, pero el dilema es que esta planta se halla distribuida entre los cultivos de alfalfa y que en ocasiones los animales herbívoros lo consumen causándoles la muerte.

Según Kabata-Pendias (2000), menciona que las plantas hiperacumuladoras⁶ 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. Existen varias hipótesis de cómo se pueden adaptar las especies a la hiperacumulación, pero la más actual es su función en la protección de la planta contra el estrés biótico causado por patógenos y herbívoros.

5.4. Identificación de la percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores.

1.- Manejo del Cultivo y Destino de la producción.

Esta información coincidió en la mayoría de las parcelas agrícolas. Con mayores detalles de la ficha de entrevista al productor en anexo C.

Los ingresos son bajos, por la escasa productividad tanto en la agricultura como en la ganadería, por las tierras montañosas con poca cobertura vegetal y altos grados de erosión por factores climáticos. Tanto los productos agrícolas (papa, haba y trigo) y ganadería tienen rendimientos bajos, los costos son casi iguales a los ingresos, por lo que en la mayoría de las familias los productos son destinados para el autoconsumo. (Chapi, 2008).

Kabata-Pendias (2000). Menciona que las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras⁶. Guerrero (2001). Indica que cuando acumulan las plantas más de 1 mg/g de peso seco son llamados hiperacumuladoras⁶.

2.- Percepción de Problemas Ambientales a Causa de la Contaminación Minera.

a) Aguas Contaminadas:

En la Microcuenca Venta y Media informan que sus aguas están contaminadas debido a la minería circundante en la región. En la Microcuenca Coriviri mencionan que sus aguas están limpias. En la Microcuenca Poopó parte baja (Viejo Poopó) y sub-baja (Quesu Qesuni), atribuyen la contaminación del agua a la minería.

b) Suelos Contaminados:

En la Microcuenca Venta y Media (P1) afirman la contaminación de sus suelos principalmente en la parte alta (Comunidad: Challa Apacheta), por los desmontes de la minas cercanas a las áreas de cultivos. En la Microcuenca Coriviri (P2) no perciben contaminación de suelos. En la Microcuenca Poopó (P3) parte baja (Casa del campamento), afirman presencia de contaminantes por inundación con relave de mina en sus parcelas agrícolas y en la parte sub-baja (Comunidad: Quesu Qesuni), los agricultores mencionan que existe menor productividad de sus cultivos a causa de los suelos infértiles que carecen de materia orgánica y micro-fauna.

c) Aire Contaminado:

En la Microcuenca Venta y Media (P1) parte alta (Challa Apacheta), mencionaron que perciben en mínima proporción. En la Microcuenca Coriviri (P2), no perciben contaminación por aire. En la Microcuenca Poopó (P3), se quejan por el polvo constante que fluye en toda la micro-cuenca, es mayor cuando los camiones transitan cerca a los sembradíos y casas.

d) Cultivos Contaminados:

En las tres micro-cuencas no perciben contaminación en los cultivos, pero resalta la información de la parte sub-baja de la micro-cuenca de Poopó (Quesu Qesuni), donde el cultivo de papa presenta rendimientos muy pobres, al extremo de que una planta de papa tiene de uno a dos tubérculos y en mal estado, atribuibles a la

contaminación minera que ha recibido durante varios años provenientes de las zonas mineras localizadas en la parte media y baja (Mina Machacamarcita, Tihuanacu, etc.). Y el otro mecanismo de contaminación es la infiltración de drenajes sin tratamiento que se dirige hacia la llanura de donde se toma el agua para riego y cría de ganado.

e) Animales Contaminados:

En la parte sub-baja (Quesu Qesuni) de la micro-cuenca Poopó (P3), según los agricultores, informan que en esta zona de pastoreo murieron animales producto del consumo de la planta (*Hymenoxys robusta*).

3.- Efectos en la Salud Humana:

Los habitantes de la Microcuenca Poopó (P3) sienten más irritación de los ojos, garganta y nariz en relación a las otras dos micro-cuencas. Lo que puede inferir en que además de los problemas de contaminación de aguas y suelos hay un severo problema en la dispersión de partículas en suspensión debido al transporte de minerales en esta micro-cuenca, sin olvidar la evaporación de aguas contaminadas y la contaminación orgánica por acumulación de residuos domésticos e industriales.

Menciona Chapi (2008), "las acciones individuales afectadas por las familias pobres, como parte de una estrategia de sobrevivencia (orientada a garantizar su alimentación principal), no tiene explícitamente, ni siquiera implícitamente, la intención de degradar los recursos, sin embargo, la suma de estas acciones generan en el ámbito de la comunidad y también a otras escalas especiales, fenómenos de erosión, deforestación y contaminación de mantos de acuíferos que ninguna de ellas quiere en particular, a estas acciones los economistas le llamarían" Deseconomías.

6. CONCLUSIONES.

De acuerdo a la evaluación de los metales pesados en los suelos y productos agrícolas en tres micro-cuencas del municipio de Poopó, se establecen las siguientes conclusiones.

- Los suelos de las parcelas agrícolas de las tres micro-cuencas presentan texturas variadas debido a su origen, determinándose desde suelos Franco, Franco arcillosos, Franco arenosos, Franco arcillo arenosos para la evaluación. Todos los parámetros químicos (pH, CIC, TBI, %SB, %MO, %Nt y Pd) de los suelos analizados en las tres micro-cuencas revelan una fertilidad que oscila de baja a moderada para las capas arables.

- Los suelos de las parcelas agrícolas de las tres micro-cuencas se encuentran contaminados con As incluso en algunos casos excediendo el nivel peligroso (55 mg/Kg) propuesto por Holanda, presentando también la micro-cuenca Venta y Media contaminación con Zn, situación que merece un plan de remediación inmediata.

- La parte baja de la micro-cuenca Venta y Media (Comunidad: Asanquera) presenta mayor acumulación de (Pb y Cd) en sus suelos, manifestándose un indicio de contaminación por plomo en el producto agrícola de haba (VM6H Veg), que superó el contenido máximo (5 mg/Kg), razón por la cual se debe trabajar inmediatamente en la prevención y mitigación de estos suelos ya que estas parcelas agrícolas, pertenecen a una unidad fisiográfica de fondo de valle donde aprovechan las aguas del río Venta y Media para el riego.

- Los productos agrícolas de papa (parte media) y haba (parte baja) de la micro-cuenca de Coriviri, revelan concentraciones de As por encima del límite máximo permisible (1.7 mg/kg), por lo cual estas parcelas agrícolas requieren una remediación inmediata, ya que al final de la cadena trófica el afectado es el hombre.

- La parte Sub-baja de la micro-cuenca Poopó (Comunidad: Quesu Qesuni y Puñaca) presenta mayor acumulación de As, considerandola a esta parte como una zona susceptible a la deposición de contaminantes directa e indirectamente por las actividades mineras que se realizan en la parte media, baja de la microcuenca.
- Los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó parte baja (Viejo Poopó), superan los límites máximos permisibles en concentraciones totales de As, Pb, Cd y Zn, como consecuencia del proceso puntual de contaminación por inundación con relave de mina respecto a las parcelas agrícolas de trigo, cebada y no así de papa el cual nos lleva a la conclusión que en esta parte existe arrastre de partículas por acción del viento y del agua de los desmontes de mina expuestos a la intemperie muy cercanos a esta zona.
- Los productos agrícolas y forraje (papa, cebada, alfalfa) de la parte baja y sub-baja de la micro-cuenca Poopó no se encuentran contaminados por As, Pb, Cd y Zn, como consecuencia de la fitotoxicidad en estos órganos de la planta, produciendo bajos rendimientos e inhibición de la formación de los granos y tubérculo, afectando en la capacidad productiva como también en la calidad de los productos alimenticios.
- Se considera al cultivo de la haba como una planta indicadora de elementos traza ya que manifiesta elevadas concentraciones de As.
- La planta *Hymenoxys robusta*, presenta una bioacumulación intensa de Cd, Zn y moderada de As, en sus (hojas y flores), debido a esta facultad se la puede considerar como una planta nociva para los animales que lo consumen.
- La percepción de contaminación (de productos agrícolas y suelos) por metales pesados según los pobladores en las tres microcuencas, coincide en muchos de los casos con los resultados obtenidos, a excepción de la microcuenca Coriviri quienes consideraban a este valle exento de contaminación. Lo que nos indica que el factor concentración del (As), aparentemente está condicionado por el fondo geoquímico.

7. RECOMENDACIONES.

- Para incrementar la fertilidad de los suelos agrícolas y minimizar la disponibilidad de los metales pesados para los cultivos, se recomienda aplicar mayor cantidad de materia orgánica (enmiendas orgánicas), aprovechando el potencial ganadero (estiércol de camélidos y ovinos). Esta práctica permite la inmovilización temporal de los contaminantes en el suelo ya que la M.O. presenta la capacidad de retener los metales pesados.
- Para paliar la contaminación de metales pesados debido el arrastre de partículas ya sea por la erosión hídrica o eólica hacia parcelas agrícolas, se debe tener la zona en estado ligeramente húmedo. Para ello se debe proceder a una revegetación rápida de las zonas con actividades mineras abandonadas, de forma permanente, además de establecer la formación de pantallas arbóreas que capturen el polvo en las proximidades de los focos de producción (caso de la micro-cuenca Poopó).
- Entre las medidas más importantes a realizar es exigir que las empresas de mediana y pequeña minería, controlen adecuadamente los procesos de producción existentes en las minas ya sea en la etapa de operación, al cierre y post-cierre (control de líquidos, estabilización del dique y recubrimiento final de los relaves, etc.), adoptando los criterios de control ambiental rigurosos. Las comisiones de control social deben ejercer su derecho y establecer prioridades claras en este ámbito a través del municipio.
- Se recomienda controlar y evitar el consumo de la planta *Hymenoxys robusta* por los semovientes, debido a que esta planta tiene la facultad de acumular gran cantidad de metales pesados.
- Se recomienda determinar la bioacumulación de metales pesados en la raíz y tallo de la planta *Hymenoxys robusta*, debido a que esta planta desarrolla cualidades de fitoextracción según los resultados obtenidos, que podría ser utilizada de forma

controlada en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en esta región.

- Se recomienda realizar estudios de fitotoxicidad en el cultivo de haba en condiciones mas controladas, ya que se la considera como una planta indicadora de metales pesados.

- Se recomienda socializar la información de los resultados obtenidos en base a una educación de protección al medio ambiente de manera integral y participativa en las tres micro-cuencas de estudio, el cual deberá formar conciencia en la población sobre los efectos de los metales pesados y en particular del arsénico en el ser humano sin crear pánico.

- Se deben continuar el estudio con evaluaciones en los animales y seres humanos para identificar el impacto de los contaminantes (metales pesados) en la cadena trófica.

- Se recomienda realizar investigaciones en el tema de la determinación de "Límites Permisibles" para las condiciones edafoclimáticas que presentan estas regiones del país, debido a que actualmente estos estudios de evaluación de contaminación se basan en límites permisibles para condiciones muy diferentes como Europa y EEUU de Norte América.

8. BIBLIOGRAFIA

Albert, L. 1985. Toxicología Ambiental: Curso Básico. 1 Ed. México, DF. 473 p.

Apaza, R; Franken, M; Marín, R y Osorio, F. 1996. Estudio de la Contaminación del Lago Poopó en relación a Metales Pesados en la cadena Trófica, incluido el Hombre. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología. 144 p.

Ávila, C. 2006. Determinación de Metales Pesados en Plantas Acuáticas de la parte norte y noreste de la Cuenca del Lago Poopó. Tesis Lic. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Ciencias Químicas 107 p.

Cala, V; Ilera, V. y Walter I. 2001. Nivel de Metales Pesados en *Thymus zizis* Desarrollados en Suelos Enmendados con Residuos Orgánicos Urbanos. (en línea). Madrid España. Consultado el 5 de Sep. 2009. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf>

Carbonell, A. y Mataix, J. 1997. Arsénico en el sistema suelo-planta: Significado Ambiental. (en línea). España. Consultado el 22 de Feb. 2010. Disponible en <http://publicaciones.ua.es/filespubli/pdf>

Chapi, J. 2008. Relaciones entre Pobreza y Deterioro Ambiental en el Municipio de Poopó departamento Oruro-Bolivia. Tesis Lic. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras, Carrera de Economía. 162 p.

Chilón, E. 2000? Manual de Edafología: Prácticas de Campo y Laboratorio. La Paz, BOL. UNIR-UMSA. 290 p.

Chura, J. 2009. Determinación de la cobertura vegetal y capacidad de uso de los suelos del municipio de Poopó, (Sector Venta y Media). Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 173 p.

Crespo, P. 2009. La Química de la Cuenca del Poopó. La Paz, BOL. DIPGIS-UMSA. 228 p.

Das, P; Rout, G. 1998. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. Environmental Pollution. 98 p.

Dorransoro, C; Garcia, I., 1998. Dinámica de los metales pesados en suelos (en línea). Madrid España. Consultado el 1 de Feb. 2010. Disponible en <http://edafología.ugr.es/dina.htm>

Galvao, C. 1987. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud: Organización Mundial de la Salud: Serie de Vigilancia 8 Plomo. México DF. OPS/OMS. p. 5-9.

García, P; Callejas, F; et al. 2007. Acumulación de arsénico en el cultivo de haba (*Vicia faba*). (en línea). MX. Consultado el 12 de mayo 2010. Disponible en <http://www.allbusiness.com/environment-natural-resources/toxic>.

Guerrero, N. 2001? Influencia de la Contaminación Metálica en Sedimentos y Suelos Agrícolas en la Cuenca del Rimac. (en línea). Lima-PE. Consultado el 5 de set. 2009. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/PuertoRico29/guerrero.pdf>.

Huanca, Z. 2002. Impacto del riego tradicional con aguas del río Desaguadero en suelos y vegetación en Santiago de Collana. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 145 p.

Hinz, C. y Selim, H.M. 1994. Transport of zinc and cadmium in soils: experimental evidence and modeling approaches. Soil. Sci. Soc. Am. J. 58: 1316-1326.

Kabata Pendias, A. 1995. Agricultural Problems related to excessive trace metal contents of soils. En *Heavy Metals*, Salomons W., Förstner U., Mader P. (Eds). Springer, Berlin. 412 p.

Kabata – Pendias et al., 2000. Metales pesados en Cultivos. (en línea). USA. Consultado el 10 de set. 2009. Disponible en **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**

Laura, M. 2005. Evaluación del agua del río La Paz y su Efecto en el Cultivo de la Lechuga en la localidad de Huayhuasi. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. 150 p.

Mas y Azcue, 1993. Contaminación por Metales Pesados. (en línea). Consultado el 15 de abr. 2010. Disponible en <http://www.Contaminación por Metales Pesados.htm>

MDSMA (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio ambiente). 1996. Subsecretaría de Medio Ambiente, Reglamento a la Ley del Medio Ambiente. La Paz- BOL.

MEDMIN (Medio Ambiente Minería e Industria), 2006. Caracterización Geológico-Minera Ambiental y Socioeconómico: Diagnostico Minero Ambiental. Estudio Minero Municipio Poopó. La Paz – BOL.

Macias, 1996. Contaminación por actividades mineras (en línea). Consultado el 18 de Ago. 2009. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/contA/tema15-16/impact.htm>.

Mercado, M. 2009. Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelo y Productos Agrícolas procedentes de la región cercana al complejo metalúrgico Vinto de Oruro-Bolivia. Tesis Lic. La Paz, BOL, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Carrera de Ciencias Químicas 191 p.

Miranda, R. 2005. Edafología: Segunda Parte. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos. La Paz, BOL. 29 p.

Microsoft, US. 2007. Microsoft Student con Encarta 2007 Biblioteca Premiun: Enciclopedia multimedia por Excelencia. (programa de cómputo), 1 disco compacto, 8mm.

Montes de Oca j. 2007. Bolivia finaliza Proyecto de FPS 1998 “Evaluación de estado actual del Lago Poopó para su desinfección como sitio Ramsar y el establecimiento de uso racional y manejo integrado” En [www. Ramsar.org](http://www.Ramsar.org).

Orsag, V. 1999. Lucha Contra la Pobreza: Algunas Consideraciones para la implementación de una agricultura Salina en la llanura Fluvio lacustre del río Desaguadero (Altiplano Central de Bolivia). En Prensa.

Orsag, V. 2009. La contaminación de Suelos con metales pesados en el occidente de Bolivia: Comprensión de la Dinámica de los metales en el Suelo y Estrategias para su remediación. V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Oruro-Bolivia.

Puga, S; Sosa, M; et al. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocado por la industria minera (en línea). Consultado el 21 Oct. 2009. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/ECOLAPL/Articulo%20Vol%205.pdf>.

PDM (Plan de Desarrollo Municipal de Poopó). 2007 - 2011. "Ajuste Plan de Desarrollo Municipal de Poopó: Programa N°BOL/AIDCO/2002/467. Apoyo al Desarrollo Económico Sostenible en Áreas Mineras Empobrecidas del Occidente de Bolivia APEMIN II.

Quintas-Mosteiros, Y. 1997. Caracterización y posibilidades de recuperación de antrosoles de canteras y minas de Galicia. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Santiago, España.

Ramos, O; Niura, A. 2008. Monitoreo Químico Ambiental 2007- 2008 Municipio de Poopó. Proyecto Caminar-IIQ. La Paz, BOL. 72p.

Rodríguez 1982. Fisiología Vegetal. Ed. Los Amigos del Libro. Cochabamba – Bolivia. Pp: 48.

Stocker, S. 1981. Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua. Trad. R. Navarro. 1 ed. Barcelona, ES. Editorial Blume. 313 p.

Villarroel, J. 1998. Manual Para La Interpretación de Análisis de Suelos. 1 ed. Santa Cruz, BOL. Editorial Tokio. 81 p.

ANEXOS

Anexo A. Descripción de Métodos Analíticos Empleados

1.- DETERMINACIÓN DEL % PENDIENTE (Octubre 2008: Segunda Semana)

i. MATERIALES

- Cordel de 5 a 7m
- Estaca
- Un Nivel de cuerda
- Plomada
- Un Flexo de 3m
- Cuaderno de apuntes

ii. METODOLOGÍA

∨ Consiste en determinar el desnivel del suelo

1.- Se colocó en la parte alta de la pendiente (punto A), uno de las puntas del cordel (apoyado sobre el suelo) y se extendió hacia la pendiente hasta alcanzar la posición horizontal.

2.- Esta posición horizontal se determinó con ayuda del nivel de cuerda, el mismo que se colgó en la parte central del cordel. Cuando se logró la posición horizontal (burbuja centrada), se midió el desnivel vertical (H) existente entre la punta del cordel en el aire (punto B) y la superficie del suelo colaborándonos con una plomada.

3.- Los valores obtenidos se reemplazaron en la fórmula de la pendiente para luego calcular su valor. Para tener un resultado representativo se repitió esta práctica seis veces en toda la parcela muestreada para luego promediar.

2.- DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDAD EFECTIVA (Octubre 2008: Tercera Semana)

i. MATERIALES

- Una palita
- Un flexo
- Cuaderno de apuntes

ii. METODOLOGÍA

∨ Consiste en determinar la profundidad en el cual las raíces se desarrolla adecuadamente en el suelo para aprovechar los nutrientes y agua.

1.- Se ahuecó la superficie del suelo hasta encontrar el punto donde las raíces se desarrollan adecuadamente procediendo a tomar la altura a ese nivel.

3.- DETERMINACIÓN DEL % GRAVA (Noviembre 2008: Segunda Semana).

i. FUDAMENTO DEL MÉTODO.

Se basa en la determinación de partículas mayores a 2mm de diámetro a través del tamizado, lavado y secado de la muestra problema. El cual recibe el adjetivo apropiado de gravoso o pedregoso.

ii. MATERIALES.

- ∅ Suelo problema, pasado por tamiz de 2mm.

- Ø Agua potable.
- Ø Vaso precipitado de 500ml.
- Ø Agitador de madera.
- Ø Tamiz de malla 2mm
- Ø Coladera. Medias nylon
- Ø Platos
- Ø Mufla
- Ø Balanza analítica.

iii. PROCEDIMIENTO.

- a) Se pesó 1000g. de suelo problema.
- b) Se procedió a tamizar la muestra en la malla de 2mm. La cantidad de muestra que no logro pasar la malla milimétrica es la que se consideró preliminarmente como grava.
- c) Se colocó la muestra (grava) en el vaso de dispersión. (vaso precipitado).
- d) Se adicionó agua potable hasta los 2/3 del volumen del vaso de dispersión. Y se agitó constantemente, hasta lograr obtener la muestra limpia sin impregnaciones de suelo en su estructura.
- e) Posteriormente la solución se la trasvaso a otro vaso con la debida interferencia de una coladera o medias nylon para que logremos escurrir todo el suelo. Esta operación se la repite varias veces cambiando el agua hasta obtener una muestra libre de suelo.
- f) Luego la muestra húmeda se la vació a un platillo. Posteriormente se la traslado a la Mufla para su debido secado durante 24 hrs.
- g) Para finalizar la muestra estaba libre de impurezas la cual ya es considerada como grava. Y para obtener el porcentaje de grava se hizo una relación con el peso inicial de la muestra.

Ejemplo:

| |
|---|
| <p>1000g à 100% 85g à X = 8.5% de grava</p> |
|---|

4. DETERMINACIÓN DEL PH (Noviembre 2008: Tercera Semana).

i. MATERIALES.

- Ø Suelo problema.
- Ø 4 vasos de 100ml.
- Ø Dispersador o Agitador eléctrico.
- Ø Piseta con agua destilada.
- Ø Solución de KCl 1N (74.5g KCl por litro de agua destilada).
- Ø Potenciómetro Beckman.
- Ø Probeta de 50ml.

ii. PROCEDIMIENTO.

- a) Se pesó 2 muestras de 30g de suelo problema.
- b) Se colocó en cada uno de los vasos de 100ml.
- c) Como se tiene 2 muestras en sus respectivos vasos, al primer vaso se le agregó 75ml de agua destilada que viene a ser una relación de suelo: agua de 1:2,5 respectivamente.
- d) En el segundo vaso se utilizó como solvente el KCl en la relación suelo: solvente de 1:2,5 respectivamente.
- e) Se agitó la muestra con ayuda del dispersador durante 12 minutos para lograr homogenizar el agua y/o solvente y el suelo.
- f) Anticipadamente se calibró el potenciómetro usado una solución buffer de pH conocido.
- g) Luego del tiempo indicado se procedió a realizar la lectura del pH haciendo uso del pH metro. Anotando las lecturas obtenidas en el siguiente cuadro. Según (Chilón, 2000?)

| | | |
|-------------------------|----------------------|------------|
| Dilusión | 1 : 2,5 | |
| Solvente | H2O destilada | KCl |
| Muestra Problema | 6,95 | 6,14 |

5. DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (Noviembre 2008: Tercera Semana).

i. MATERIALES.

- Ø Suelo problema.
- Ø Vaso precipitado 100ml.
- Ø Dispersador o Agitador eléctrico.
- Ø Conductímetro.
- Ø Balanza analítica.

ii. PROCEDIMIENTO.

La medida se basa en el principio del puente de Wheatstone. Para la medición se utilizó el conductímetro, los valores fueron expresados en mS/cm. Los sólidos totales disueltos en g/L, se les preparó en una relación: suelo-agua 1:2,5

- a) Se pesó 1 muestra de 30g de suelo problema.
- b) Se colocó la muestra en el vaso precipitado.
- c) Luego se agregó agua destilada 75ml.
- d) Se llevó a agitar en el dispersador durante 12 minutos.
- e) Cumplido el tiempo se introdujo el conductímetro a la solución estabilizándose el dato se esperó un tiempo de 2 a 3 minutos para luego anotar el resultado en las talas correspondientes.

6. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA (Diciembre 2008: Primera, Segunda y Tercera Semana).

1. TECNICA DEL HIDROMETRO DE BOUYOUCUS.

i. FUDAMENTO DEL MÉTODO.

Es un procedimiento en el cual la densidad de la suspensión es medido por un hidrómetro a diferentes tiempos, de acuerdo con la velocidad de caída de las partículas, la que esta en relación a su diámetro.

ii. MATERIALES.

- Ø Suelo problema, pasado por tamiz de 2mm.
- Ø Probeta de sedimentación de 1000 ml.
- Ø Hidrómetro (ASTM152H.)
- Ø Termómetro (°C).
- Ø Dispersador o agitador eléctrico.
- Ø Agua destilada.
- Ø Hexametáfosfato de sodio (de nombre comercial calgón).
- Ø Agitador de madera.
- Ø Pisseta.
- Ø Alcohol isoamílico.
- Ø Balanza analítica.

iii. PROCEDIMIENTO.

- a) Se pesó 50g. de suelo problema.
- b) Se colocó la muestra en el vaso de dispersión. (vaso precipitado).

- Calculo del porcentaje de arcilla mas limo.

| | |
|---|-----------------------------------|
| $\%(Y+L)=(\text{Dens.Corr1}/W_{\text{muest. inicial}})*100$ | $(21.4/50)*100 = \mathbf{42.8\%}$ |
|---|-----------------------------------|

- Calculo del porcentaje de Arcilla.

| | |
|---|-----------------------------------|
| $\%(Y)=(\text{Dens.Corr2}/W_{\text{muest. inicial}})*100$ | $(10.4/50)*100 = \mathbf{20.8\%}$ |
|---|-----------------------------------|

- Calculo del porcentaje de Arena.

| | |
|-----------------------|---|
| $\%(A)=100\% - (Y+L)$ | $100\% - (\mathbf{42.8\%}) = \mathbf{57.2\%}$ |
|-----------------------|---|

- Calculo del porcentaje de Limo.

| | |
|---------------------------|---|
| $\%(L)=100\% - A\% - Y\%$ | $100\% - \mathbf{57.2\%} - \mathbf{20.8\%} = \mathbf{22\%}$ |
|---------------------------|---|

- Calculo de la Clase Textural.

Para esto se hace uso del triángulo textural.

| Arcilla % | Limo % | Arena% | Clase Textural |
|--------------|------------|--------------|------------------------|
| 20.8% | 22% | 57.2% | Franco Arcillo Arenoso |

7. METODOLOGIA DE LA DIGESTION DE SUELOS Y VEGETALES (Enero, Febrero y Marzo 2009).

i. FUNDAMENTO DEL MÉTODO.

Es un proceso en el cual las muestras secas de suelos y vegetales tamizadas finamente entran en un proceso de digestión (infusión prolongada en un líquido apropiado, de aquel cuerpo que se quiere extraer alguna sustancia), con un rango de temperatura 0 – 280°C y rango de Presión de 0 – 86 bar.

- **Horno De Microondas (Anton Para Multiwave 3000 con Rotor SXQ80)**

Digestión con microondas (MW).- Tiene como objetivo incrementar la presión y temperatura del medio y un aumento de 10°C puede duplicar la velocidad de reacción. La presión generada en el interior de los frascos aumenta la temperatura de ebullición del HNO₃. Las ventajas que ofrece esta técnica son las siguientes:

- Ø Posibilidad de automatizar el proceso (pudiendo formar parte, incluso de un proceso en línea).
- Ø La reproducibilidad que ofrece, al ser la potencia del MW una variable mucho mas controlable que la temperatura.
- Ø Tiempo de análisis menores.
- Ø Disminución de la pérdida de elementos por volatilización.
- Ø Un manejo flexible y con máxima seguridad.

ii. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Ø Suelo problema, pasado por tamiz de 0.5mm.

- Ø Digestor (MICROWAVE 3000 ANTON PAAR).
- Ø Papel Aluminio
- Ø Espátula.
- Ø Balanza Analítica
- Ø Matraz Aforado de 50ml.
- Ø Embudos
- Ø Pissetas.
- Ø Papel filtro
- Ø Papel secante.
- Ø Envases de plástico.
- Ø Marcador indeleble.

iii. REACTIVOS.

- Ø Acido Nítrico (HNO_3)
- Ø Acido Clorhídrico (HCl).
- Ø Agua destilada.
- Ø Agua desionizada.

iv. PROCEDIMIENTO.

- a) Se pesó 0.5000 g. de suelo problema para el caso de los suelos y para los cultivos se peso 0.3000g con excepción del haba que debido al elevado contenido de materia orgánica se disminuyó el 50% del peso inicial.
- b) Se colocó la muestra en el tubo de cuarzo.
- c) Se adicionó (3 ml. Acido Nítrico + 9ml. Acido Clorhídrico) para el caso de los suelo y para los vegetales se trabajó con (4 ml Peróxido de Hidrógeno +0.5 ml Acido Clorhídrico + 4 ml Acido Nítrico)
- d) Luego se ablandó la tapa del vaso de cuarzo con la llave (XQ80), para que al tapar el envase no deje pasar aire ni otra materia gaseosa. Cuando son colocadas correctamente las tapas los mismos se elevan por si solos.
- e) Seguidamente se protegió el tubo de cuarzo con sus capuchones y sus caperuzas respectivamente para luego colocarlos en el rotor. Se tomó nota de la posición de cada vaso para hacer un seguimiento durante la digestión.

- f) Posteriormente se aseguró los vasos girando las perrillas de encima del rotor siempre de dos en dos ubicados en forma simétricamente (para no crear desnivel). Se verificó que los vasos estén completamente inamovibles dentro del rotor luego se cubrió con su capucha e inmediatamente se metió al digestor sobre el plato en una posición donde giraba libremente.
- g) Terminada la digestión se sacó el rotor y se llevó a la campana de extracción donde se procedió a destapar su cubierta y destornillar los tornillos de venteo con la llave del equipo. Se giro lentamente hasta escuchar la primera fuga de gas, se dejó y se procedió con los siguientes vasos.
- h) Se giró las perrillas de encima del rotor para liberar los vasos de digestión.
- i) Se filtró la muestras con ayuda de un papel filtro y embudo a un matraz, recalando que se debe lavar tanto la tapa como el vaso de cuarzo con agua desionizada adecuadamente.
- j) Por último se aforó la muestra hasta 50ml de volumen con agua desionizada. Mezclando correctamente la solución se trasvasó a un envase de plástico previamente lavado con la misma sustancia. Donde finalmente la muestra esta lista para ser medida por técnicas Espectrofotométricas.
- k) Una ves terminada el procedimiento se lavó los vasos, tapas y material usado con abundante agua de pila, prosiguiendo con agua destilada 3 veces y 3 veces con agua desionizada. Hasta lograr tener todo el material completamente seco para ser usado en el siguiente análisis.

[(Antón Paar, 2006), (Mercado, 2009)] y aporte propio.

8. METODOLOGIA DEL MANEJO DEL ESPECTRÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA Perkin Elmer Modelo AAnalyst 100 con Espectroscopia de Absorción Atómica por llama: EAA. (Abril, Mayo y Junio 2009).

Resumen del Manejo.

1. Encendido del instrumento
 - a) Encienda el extractor
 - b) Encienda el Compresor de Aire
 - c) Abra el cilindro de Acetileno
 - d) Encienda el instrumento
2. Para emplear el instrumento en modo de emisión
3. Encendido de la llama
 - a) El tubo atomizador debe encontrarse en agua desionizada cuando no se use.
 - b) Realizar ajustes con flujo de gases en funcionamiento.
 - c) Regule la presión de acetileno entre 10 – 15 psi.
 - d) revise los medidores de flujo que se encuentran al frente del instrumento y regule.
 - e) Encienda la llama en el quemador presionando *Flame On Off*.
4. Ajuste de las condiciones analíticas.
 - a) Selección de la lámpara.

- b) Ajuste de la corriente de la Lámpara.
- c) Ajuste del ancho de la abertura del monocromador (Slit).
- d) Ajuste de la longitud de la onda.
- e) Ajuste del tiempo de integración.
- 5. Optimice la Altura de la llama. La idea es dejar la llama en la posición donde la lectura de emisión sea la mayor.
- 6. Tome las lecturas de emisión del Blanco.
- 7. Lectura de estándares.
- 8. lectura de las muestras o diluciones (previo a la determinación las muestras fueron digeridas en medio ácido por vía húmeda).
- 9. Apague el instrumento
 - a) Deje succionar agua unos minutos.
 - b) apague la llama
 - c) Cierre el aire.
 - d) Cierre el acetileno.
 - e) Apague el interruptor del instrumento.
 - f) Cubra el instrumento y apague los extractores.

En todas las mediciones se emplea como corrector de fondo una lámpara de deuterio.

En el tratamiento de las señales analíticas del equipo de EAA fue conectado a un computador a través de una interfase y utilizando un software de adquisición y procesamiento de datos que permiten realizar el registro de datos o integrar señales software AAWinlab. (Mercado, 2009).

Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer Modelo AAnalyst 100 con Sistema de Horno de Grafito HGA – 850 Incluye Automuestreador AS – 800 (EA A H G)

- El horno de grafito se emplea para poder analizar muestras acuosas, y así determina la cantidad de metales pesados presentes como ser Pb, As, Fe, Cd, Zn y otros.
- Antes de poder hacer uso del horno de grafito se debe realizar la correspondiente limpieza para evitar alteraciones o contaminación de las muestras.
- Se procede a realizar la curva de calibración. Similar al espectrofotómetro de absorción atómica. con la diferencia que el horno de grafito prepara sus propios estándares para cada análisis.
- El horno de grafito no requiere que las muestras de agua sean o estén disueltas, sino que también este se encarga de realizar las disoluciones previamente antes de ser analizadas.
- Las muestras de agua que son introducidos al horno de grafito por un brazo seccionador, el cual se encarga de absorber y llevarlas al horno de grafito para que sean analizadas las muestras.
- Las muestras que toma este brazo son medidos en microlitros.
- El horno de grafito posee mayor precisión y exactitud en comparación al espectro fotómetro de absorción atómica.
- Las muestras son colocadas en cubetas sin ser alteradas o diluidas, hay muestras que requieren de indicadores.
- Después de que el brazo haya puesto la muestra este se lava automáticamente con agua desionizada que es absorbida de un recipiente por un conducto del horno. a su vez este tiene un refrigerante que es el encargado de enfriar el horno de grafito. (Mercado, 2009).

Anexo B. Tablas de Datos

Tabla 47. Listado de casos de estudio y comunidades afectadas por actividad minera.

| N° | EMPRESA MINERA | CANTON Y LUGAR | LATITUD LONGITUD COORDENADA S UTM | ALTURA m.s.n.m. | ESTADO DE LA MINA |
|----|---|--|--|--------------------|----------------------|
| 1. | Mina Machacamarquita | Cantón Poopó Villa Poopó | 714893 - 976245 | 3,783 | Mina abandonada |
| 2. | Ingenio de la Cooperativa Minera Poopó | Cantón Poopó Villa Poopó | 713046 - 7966717 | 3,689 | En operación |
| 3. | Compañía Minera Tiahuanacu | Cantón Poopó Villa Poopó | 713047 - 7966721 | 3,705 | En operación |
| 4. | Consolidación Minera Frontanilla Mina Challa Apacheta | Cantón Coripata Comunidad Challa Apacheta. | 731866 - 7962883 | 4,113 | En operación |
| 5. | Mina Candelaria | Cantón Poopó cerca de la comunidad Calli Pampa | 716972 - 7959355 | 3,718 | En operación. |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48.- Límites Máximos Permitido de Metales Pesados totales en Suelos Agrícolas en distintos países.

| | País | | Elemento (mg/Kg) | | | | | Fuente | |
|-----------------|--------------|------------------------------|------------------|--------|------|-----|--|---|---|
| | pH | | As | Cd | Pb | Zn | Fe | Organismo Legislador | Referencias |
| América Del Sur | Chile | Macrozona Norte >6.5 | 20 | 2 | 75 | 175 | - | Norma lodos NCh2952c-2004 (INN,2004) | Prefectura del Depto. Oruro Secretaría Minera Gregory L. Morris Engineering Sección Conclusiva y Proyectual |
| | | Macrozona Norte <6.5 | 12.5 | 1.25 | 50 | 120 | - | | |
| | | Macrozona Sur >5 | 10 | 2 | 50 | 175 | - | | |
| | Ecuador | | 12 | 2 | 100 | 200 | - | Ley de Gestión Ambiental de Ecuador | Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. LIBRO VI ANEXO 2 |
| U.E. | Holanda | Máximo Permitido | 29 | 0.8 | 85 | 140 | - | Agencia Ambiental Holandesa | (United States Environmental Protection Agency – USEPA). Citado por: SIMBIOSIS S.R.L. (Servicios Integrales en Medio Ambiente). |
| | | Intervención Nivel/peligroso | 55 | 12 | 530 | 720 | - | Comisión de las Comunidades Europeas (CCE),2002 | |
| | Francia | - | 2 | 100 | 300 | - | Directiva 86/278/EEC (Marmo,2003) | | |
| | Italia | - | 1.5 | 200 | 300 | - | Meco-Madrid, Enero 2006 | | |
| | | - | 1 | 40 | 330 | - | | | |
| España | pH<7 pH>7 | - | 3 | 106 | 1200 | - | Ley Ambiental 2878-1983 | | |
| Turquía | Suelos pH >5 | - | 3 | 100 | 300 | - | Ley Ambiental 2878-1983 | | |
| Australia | Suelos pH >5 | 20 | 1 | 150 | 200 | - | Norma Australtan Standard AS 4454-1999 (ARMCANZ/ANZECC,2000) | | |
| Canadá | Suelos pH >6 | 14 | 1.6 | 60 | 220 | - | Lovell et al., 1998 | | |
| FAO | | 20-30 | 1-3 | 80-100 | 300 | - | FAO | | |

Tabla 49.- Concentración Tolerable, Máxima Permitida Y Excesiva o tóxica de Metales Pesados Totales en Cultivos Agrícolas.

| Nivel | Elementos | | | | Concentración (mg/Kg, peso seco) | | Referencia |
|---------------------------------|-----------|------------|-----------|---------------|--------------------------------------|--|--|
| | Pb | Cd | As | Zn | Fuente | | |
| Tolerable en cultivos agrícolas | 0,5 | 0,05 - 0,2 | 0,1 - 1,0 | 50 - 100 | (Kabata -Pendias, 2000); Chile - INN | | ¡Error! Referencia de hipervínculo no válida. 6 metales pesados cultivos.pdf/10/09/09 |
| Contenidos máximos | 0,2 | 0,1 | | | Unión Europea, FAO y OMS (1993) | | |
| | 5 - 10 | 0,5 | 1-1,7 | 100-150 | Kabata -Pendias, 2000 | | |
| Excesiva o tóxica | 30 - 300 | 5 - 30 | 5 - 20 | 100- 150- 400 | Kabata -Pendias, 2000 | | |

Los valores no incluyen a especies muy sensibles o tolerantes.

Concentración de elementos traza para varias especies en tejidos de hojas maduras (Kabata - Pendias, 2000).

Tabla 50.- Escala de Porcentaje para el Cálculo del Valor de la Fertilidad potencial

| | | | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| pH dilución suelo:agua (1:1) | Determinación Apreciación Puntaje | 4.0 – 5.0 Muy ácido -5 a 0 | 5.0 – 5.5 Ácido 1 a 5 | 5.5 – 6.5 Lig. ácido 5 a 15 | 6.5 – 7.5 Casi neutro 15 | >7.5 Alcalino 15 a 5 |
| C.I.C. cmol(+).kg ⁻¹ | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 5 Muy baja -5 a 1 | 5 – 10 Baja 1 a 5 | 10 – 20 Mediana 5 a 10 | 20 – 30 Alta 10 a 20 | >30 Muy alta 20 |
| T.B.I. cmol(+).kg ⁻¹ | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 1 Muy pobre -5 a 1 | 1 – 5 Pobre 1 a 5 | 5 – 10 Regular 5 a 10 | 10 – 30 Alta 10 a 20 | > 30 Muy alta 20 |
| Saturación de Bases % | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 5 Muy baja -5 a 1 | 5 – 10 Baja 1 a 5 | 10 – 30 Mediana 5 a 10 | 30 – 60 Alta 10 a 20 | > 60 Muy alta 20 |
| Carbono Orgánico % C | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 1.0 Muy pobre -3 a 1 | 1.0 – 1.5 Pobre 1 a 3 | 1.5 – 2.5 Normal 3 a 5 | 2.5 – 4.0 Alta 5 | > 40 Muy alta 5 a 1 |
| Nitrógeno Total % Nt | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 0.10 Muy pobre -3 a 1 | 0.10 – 0.15 Pobre 1 a 3 | 0.15 – 0.25 Normal 3 a 5 | 0.25 – 0.30 Alta 5 | > 0.30 Muy alta 5 a 3 |
| Fósforo Disponible ppm (Pd) | Determinación Apreciación Puntaje | 0 – 5 Muy pobre -5 a 1 | 5 – 10 Pobre 1 a 5 | 10 – 20 Regular 5 a 15 | 20 – 40 Alta 15 | > 40 Muy alta 15 |
| Fertilidad Potencial | Puntaje = ∑ Puntos/10 Apreciación | -5 a 2 Muy Baja | 3 a 5 Baja | 6 a 8 Moderada | 9 Moderadamente Alta | 10 Alta |

Fuente: Proyecto CUMAT (1985)

Anexo C. Tabla de Resultados

Tabla 51.- Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Venta y Media de los productos agrícolas y forraje

| Arsénico (mg/kg) | Parte Alta | | | Parte Media | | | Parte Baja | | |
|--------------------------|------------|----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | Haba | Cebada | Papa | Haba | Cebada | Papa | Haba | Cebada | Papa |
| Prod. Agrícola Ttotal | 1,71 | 0,64 | 0,98 | 2,28 | <LC | 2,17 | 2,79 | 0,88 | 1,17 |
| Grado de Acumulación | Ligera | carencia | Ligera | Ligera | | Ligera | Ligera | Ligera | Ligera |
| Suelo Total | 47,81 | 143,9 | 71,57 | 235,91 | 227,05 | 130,16 | 116,52 | 51,99 | 99,11 |
| Índice de Bioacumulación | 0,036 | 0,004 | 0,014 | 0,010 | ##### | 0,017 | 0,024 | 0,017 | 0,012 |
| Zinc (mg/kg) | Parte Alta | | | Parte Media | | | Parte Baja | | |
| | Haba | Cebada | Papa | Haba | Cebada | Papa | Haba | Cebada | Papa |
| Prod. Agrícola Ttotal | 58,98 | 28,73 | 21,08 | 57,97 | 25,47 | 16 | 66,33 | 33,47 | 17 |
| Grado de Acumulación | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media |
| Suelo Total | 211,53 | 74,15 | 159,5 | 229,7 | 140,6 | 163,26 | 215,8 | 159,05 | 177,52 |
| Índice de Bioacumulación | 0,279 | 0,387 | 0,132 | 0,252 | 0,181 | 0,098 | 0,307 | 0,210 | 0,096 |

Tabla 52.- Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Coriviri de los productos agrícolas y forraje.

| Arsénico (mg/kg) | Parte Alta | | | | Parte Media | | | | Parte Baja | | | |
|--------------------------|------------|--------|--------|----------|-------------|--------|--------|---------|------------|--------|-------|---------|
| | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa |
| Prod. Agrícola Ttotal | <LC | <LC | 1,59 | 1,11 | <LC | <LC | 3,27 | 1,12 | 5,02 | 1,02 | <LC | 1,51 |
| Grado de Acumulación | | | Ligera | Carencia | | | Ligera | Ligera | Ligera | Ligera | | Ligera |
| Suelo Total | 232,8 | 98,05 | 75,23 | 279,8 | 35,58 | 71,45 | 113,3 | 38,37 | 132,1 | 25,937 | 39,25 | 67,84 |
| Índice de Bioacumulación | | | 0,021 | 0,004 | ##### | ##### | 0,029 | 0,029 | 0,038 | 0,0394 | #### | 0,022 |
| Zinc (mg/kg) | Parte Alta | | | | Parte Media | | | | Parte Baja | | | |
| | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa | Haba | Cebada | Papa | Alfalfa |
| Prod. Agrícola Ttotal | 51,60 | 43,49 | 15,67 | 63,17 | 80,84 | 29,82 | 16,17 | 27,67 | 81,56 | 36,50 | 16,18 | 57,33 |
| Grado de Acumulación | Media | Media | Media | Media | Intens | Media | Media | Media | Intens | Media | Media | Media |
| Suelo Total | 108,8 | 89,70 | 74,89 | 259,74 | 67,49 | 64,60 | 60,30 | 77,10 | 72,50 | 68,00 | 88,38 | 98,38 |
| Índice de Bioacumulación | 0,474 | 0,485 | 0,209 | 0,243 | 1,198 | 0,462 | 0,268 | 0,359 | 1,125 | 0,537 | 0,183 | 0,583 |

Tabla 53.- Índice de Bioacumulación en la micro-cuenca Poopó de los productos agrícolas y forraje.

| Arsénico (mg/kg) | Parte Alta | | Parte Media | | Parte Baja | | | Parte Sub-Baja | | | |
|--------------------------|------------|-------|-------------|-------|------------|-------|--------|----------------|-------|---------|---------|
| | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Trigo | Cebada | Papa | Alfalfa | H. r. |
| Prod. Agrícola Ttotal | < LC | < LC | 0,88 | < LC | 1,05 | < LC | < LC | 0,58 | < LC | 1,54 | 7,82 |
| Grado de Acumulación | | | Ligera | | Ligera | | | Ligera | | Ligera | Media |
| Suelo Total | 90,67 | 49,7 | 95,61 | 71,1 | 42,98 | 54,0 | 116,1 | 66,28 | 164 | 21,85 | 21,85 |
| Indice de Bioacumulación | | | 0,009 | ##### | 0,024 | ##### | ##### | 0,009 | ##### | 0,070 | 0,358 |
| Plomo (mg/kg) | Parte Alta | | Parte Media | | Parte Baja | | | Parte Sub-Baja | | | |
| | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Trigo | Cebada | Papa | Alfalfa | H. r. |
| Prod. Agrícola Ttotal | < LC | < LC | < LC | < LC | 1,31 | < LC | < LC | < LC | < LC | 1,33 | 2,96 |
| Grado de Acumulación | | | | | Ligera | | | | | Media | Media |
| Suelo Total | 38,44 | 26,38 | 26,41 | 24,94 | 202,12 | #### | 165,82 | 23,06 | 29,75 | 24,68 | 24,68 |
| Indice de Bioacumulación | | | | | 0,0065 | ##### | ##### | ##### | ##### | 0,054 | 0,1199 |
| Cadmio (mg/kg) | Parte Alta | | Parte Media | | Parte Baja | | | Parte Sub-Baja | | | |
| | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Trigo | Cebada | Papa | Alfalfa | H. r. |
| Prod. Agrícola Ttotal | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | < LC | 0,66 |
| Grado de Acumulación | | | | | | | | | | | Intensa |
| Suelo Total | 0,63 | 0,17 | 0,59 | 0,19 | 1,27 | 0,73 | 4,33 | 0,13 | 0,24 | 0,21 | 0,21 |
| Indice de Bioacumulación | | | | | | | | | | | 3,1429 |
| Zinc (mg/kg) | Parte Alta | | Parte Media | | Parte Baja | | | Parte Sub-Baja | | | |
| | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Cebada | Papa | Trigo | Cebada | Papa | Alfalfa | H. r. |
| Prod. Agrícola Ttotal | 29,67 | 31,50 | 40,00 | 16,00 | 55,33 | 17,98 | 64,94 | 35,72 | 16,95 | 39,00 | 58,83 |
| Grado de Acumulación | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Media | Intensa |
| Suelo Total | 123,5 | 88,00 | 165,5 | 78,90 | 302,3 | ##### | ##### | 45,2 | 59,14 | 52,00 | 52,00 |
| Indice de Bioacumulación | 0,240 | 0,358 | 0,242 | 0,203 | 0,183 | 0,072 | 0,056 | 0,790 | 0,287 | 0,750 | 1,131 |

| | |
|---|--|
| | Cultivo de quinua 9,00 quintales/hectárea Cultivo de haba 35,00 quintales/hectárea Cultivo de alfalfa 70,00 quintales/hectárea MS/año (PDM 2007-2011) |
| Destino de la Producción Agrícola | Gran parte de la producción agrícola, prácticamente es para el consumo familiar, sin embargo, de acuerdo con las entrevistas se comercializa la papa, quinua, haba y alfalfa en pequeñas cantidades. |
| Lugar de Venta de los Productos Agrícolas | Ferias de Challapata, Oruro, Huanuni y Minas (Bolívar, Poopó) |

Tabla 55.- Percepción de contaminación por metales pesados según los pobladores de las zonas en estudio.

| PROBLEMAS AMBIENTALES A CAUSA DE LA ACTIVIDAD MINERA | RESPUESTAS FRECUENTES |
|---|--|
| Aguas contaminadas | P1: Si debido a la minería P2: No P3: Si en los estratos bajos, debido a la minería |
| Suelos contaminados | P1: Sí por los desmontes de mina (Challa apacheta) P2: No P3: Sí por inundación con relave de mina (Poopó Viejo). En el estrato sub-bajo (Quesu Qesuni) influye en la menor productividad de cultivos. |
| Aire contaminados | P1: Si, en (Challa apacheta) P2: No P3: Si, en toda la Microcuenca, es mayor cuando los camiones transitan cerca a los sembradíos y casas. |
| Cultivos contaminados | P1; P2; P3: Aun no sabemos si nuestros cultivos están o no contaminados. |
| Animales contaminados | En la zona de Quesu quesuni llegaron a morir animales, se atribuye a la contaminación de cultivos que luego pasaron a afectar a los animales. Pero en las otras zonas no se percibió nada aún. |
| EFFECTOS EN LA SALUD HUMANA | |
| RESPUESTAS FRECUENTES | |
| • Dolor de Cabeza | A veces |

| | |
|--|---------------------------|
| • Irritación de los Ojos | Continuamente |
| • Irritación de la garganta y la nariz | En ocasiones |
| • Efectos cancerígenos | No saben |
| • Enfermedades pulmonares | Generalmente los ancianos |

Tabla 56.- Caracterización de las propiedades Químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la Microcuenca Venta y Media.

| Microcuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | PH (H2O)dest | PTJ | CIC (cmol/kg) | PTJ | TBI (cmol/kg) | PTJ | SB (%) | PTJ | %C org. | PTJ | Nt (%) | PTJ | P (ppm) | PTJ | TOTAL POTOS | CALIFICACION FERTILIDAD |
|--------------------|-------|----------------|-----------------------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|------|--------|-----|---------|------|--------|-----|---------|-----|-------------|-------------------------|
| VENTA Y MEDIA (P1) | Alto | VM1AA | Condor Apacheta | 7,0 | 15 | 9,2 | 4,4 | 9,0 | 9,03 | 97,8 | 20 | 1,3 | 2,4 | 0,2 | 3 | 13,4 | 8,4 | 6,2 | Moderada |
| | | VM1H | Challa-apa | 6,6 | 15 | 11,7 | 5,9 | 11,5 | 10,7 | 98,3 | 20 | 1,1 | 1,6 | 0,1 | 1 | 28,3 | 15 | 6,9 | Moderada |
| | | VM1C | Challa-apa | 6,5 | 15 | 5,7 | 1,6 | 5,5 | 5,55 | 96,8 | 20 | 1,5 | 2,8 | 0,2 | 3 | 5,1 | 1,1 | 4,9 | Baja |
| | | VM1P | Ayllu Cor | 6,3 | 13 | 7,9 | 3,3 | 7,8 | 7,75 | 97,7 | 20 | 1,3 | 2,2 | 0,1 | 1 | 5,2 | 1,2 | 4,8 | Baja |
| | | VM2H | Coripata | 6,9 | 15 | 8,5 | 3,8 | 8,4 | 8,35 | 98,2 | 20 | 0,9 | 0,5 | 0,1 | 1 | 10,4 | 5,4 | 5,4 | Baja |
| | | VM2C | Coripata | 6,9 | 15 | 7,8 | 3,2 | 7,7 | 7,66 | 98,5 | 20 | 0,7 | -0,2 | 0,1 | 1 | 6,7 | 2,4 | 4,9 | Baja |
| | | VM2P | Coripata | 6,6 | 15 | 7,9 | 3,3 | 7,7 | 7,66 | 97,9 | 20 | 1,0 | 1,2 | 0,1 | 1 | 10,7 | 5,7 | 5,4 | Baja |
| | Medio | VM3H | K'ara jara | 7,4 | 15 | 8,0 | 3,4 | 7,9 | 7,89 | 99,1 | 20 | 0,4 | -1,4 | 0,1 | 1 | 6,7 | 2,4 | 4,8 | Baja |
| | | VM3C | K'ara jara | 7,0 | 15 | 9,4 | 4,5 | 9,3 | 9,27 | 99,1 | 20 | 0,5 | -0,9 | 0,1 | 1 | 8,2 | 3,6 | 5,3 | Baja |
| | | VM3P | K'ara jara | 7,0 | 15 | 9,4 | 4,5 | 9,3 | 9,34 | 99,2 | 20 | 0,7 | -0,3 | 0,1 | 1 | 8,0 | 3,4 | 5,3 | Baja |
| | | VM4H | Frente al mullu punku | 6,9 | 15 | 15,8 | 7,9 | 15,7 | 12,8 | 99,2 | 20 | 1,1 | 1,6 | 0,2 | 3 | 11,3 | 6,3 | 6,7 | Moderada |
| | | VM4C | Frente al mullu punku | 7,0 | 15 | 18,6 | 9,3 | 18,5 | 14,2 | 99,6 | 20 | 0,9 | 0,7 | 0,2 | 3 | 8,3 | 3,7 | 6,6 | Moderada |
| | | VM4P | Frente al mullu punku | 8,1 | 15 | 17,3 | 8,7 | 17,1 | 13,6 | 99,3 | 20 | 0,7 | -0 | 0,1 | 1 | 10,9 | 5,9 | 6,4 | Moderada |
| | Bajo | VM5H | Asanquera | 7,9 | 15 | 14,0 | 7 | 13,9 | 12 | 99,3 | 20 | 0,6 | -0,7 | 0,1 | 1 | 7,8 | 3,2 | 5,7 | Moderada |
| | | VM5C | Asanquera | 7,7 | 15 | 12,0 | 6 | 11,8 | 10,9 | 98,9 | 20 | 0,7 | -0,2 | 0,1 | 1 | 12,0 | 7 | 6,0 | Moderada |
| | | VM5P | Asanquera | 7,5 | 15 | 13,8 | 6,9 | 13,7 | 11,8 | 99,3 | 20 | 0,6 | -0,4 | 0,1 | 1 | 8,9 | 4,1 | 5,8 | Moderada |
| | | VM6H | Asanquera | 7,4 | 15 | 7,3 | 2,8 | 7,2 | 7,23 | 98,9 | 20 | 0,1 | -2,6 | 0,1 | 1 | 6,0 | 1,8 | 4,5 | Baja |
| | | VM6C | Asanquera | 7,5 | 15 | 7,6 | 3,1 | 7,5 | 7,5 | 98,7 | 20 | 0,6 | -0,6 | 0,1 | 1 | 7,6 | 3,1 | 4,9 | Baja |
| | | VM6P | Asanquera | 7,7 | 15 | 7,8 | 3,3 | 7,7 | 7,7 | 98,8 | 20 | 0,5 | -1,2 | 0,1 | 1 | 8,1 | 3,5 | 4,9 | Baja |

Tabla 57.- Caracterización de las propiedades Químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la Microcuenca Coriviri.

| Microcuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | PH (H2O)dest | PTJ | CIC (cmol/kg) | PTJ | TBI (cmol/kg) | PTJ | SB (%) | PTJ | % C org. | PTJ | Nt (%) | PTJ | P (ppm) | PTJ | TOTAL PTOS | CALIFICACION FERTILIDAD |
|---------------|-------|----------------|-----------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|------|--------|-----|----------|------|--------|-----|---------|-----|------------|-------------------------|
| CORIVIRI (P2) | Alto | COR1H | Jucumari | 7,83 | 15 | 16,87 | 8,4 | 16,798 | 13,4 | 99,6 | 20 | 0,4 | -1,4 | 0,2 | 3 | 16,57 | 12 | 7,0 | Moderada |
| | | COR1C | Jucumari | 7,05 | 15 | 7,66 | 3,1 | 7,58 | 7,58 | 99 | 20 | 0,4 | -1,5 | 0,1 | 1 | 8,80 | 4 | 4,9 | Baja |
| | | COR1P | Jucumari | 7,46 | 15 | 8,14 | 3,5 | 8,07 | 8,07 | 99,1 | 20 | 0,4 | -1,6 | 0,1 | 1 | 8,54 | 3,8 | 5,0 | Baja |
| | | COR1AA | Jucumari | 7,48 | 15 | 7,84 | 3,3 | 7,77 | 7,77 | 99,1 | 20 | 0,3 | -1,8 | 0,1 | 1 | 7,26 | 2,8 | 4,8 | Baja |
| | Medio | COR2H | Coriviri | 7,59 | 15 | 6,00 | 1,8 | 5,9 | 5,9 | 98,3 | 20 | 0,5 | -1,2 | 0,1 | 1 | 5,99 | 1,8 | 4,4 | Baja |
| | | COR2C | Coriviri | 7,6 | 15 | 8,30 | 3,6 | 8,219 | 8,22 | 99 | 20 | 0,9 | 0,6 | 0,1 | | 8,51 | 3,8 | 5,1 | Baja |
| | | COR2P | Coriviri | 7,4 | 15 | 8,81 | 4 | 8,73 | 8,73 | 99,1 | 20 | 0,7 | -0,4 | 0,1 | 1 | 10,45 | 5,5 | 5,4 | Baja |
| | | COR2AA | Coriviri | 7,66 | 15 | 12,58 | 6,3 | 12,45 | 11,2 | 99 | 20 | 1,3 | 2,4 | 0,2 | 4 | 11,39 | 6,4 | 6,5 | Moderada |
| | Bajo | COR3H | Coriviri | 7,73 | 15 | 11,90 | 6 | 11,82 | 10,9 | 99,3 | 20 | 0,9 | 0,8 | 0,2 | 3 | 16,82 | 12 | 6,7 | Moderada |
| | | COR3C | Coriviri | 7,7 | 15 | 7,30 | 2,8 | 7,2 | 7,2 | 98,6 | 20 | 0,8 | 0 | 0,1 | 1 | 9,70 | 4,8 | 5,1 | Baja |
| | | COR3P | Coriviri | 7,05 | 15 | 5,73 | 1,6 | 5,61 | 5,61 | 97,9 | 20 | 0,6 | -0,5 | 0,1 | 1 | 8,24 | 3,6 | 4,6 | Baja |
| | | COR3AA | Coriviri | 7,59 | 15 | 7,10 | 2,7 | 7,019 | 7,02 | 98,9 | 20 | 0,4 | -1,2 | 0,1 | 1 | 9,19 | 4,4 | 4,9 | Baja |

Tabla 58.- Caracterización de las propiedades Químicas y nivel de fertilidad de los suelos de la Microcuenca Poopó.

| Microcuenca | Parte | Código Parcela | Localidad | PH (H2O)dest | PTJ | CIC (cmol/kg) | PTJ | TBI (cmol/kg) | PTJ | SB (%) | PTJ | % C org. | PTJ | Nt (%) | PTJ | P (ppm) | PTJ | TOTAL PTOS | CALIFICACION FERTILIDAD |
|-------------|----------|----------------|-----------------------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|------|--------|-----|----------|------|--------|-----|---------|-----|------------|-------------------------|
| POOPO (P3) | Alto | POO1C | Machaca marca Central | 6,58 | 15 | 5,86 | 1,7 | 5,79 | 5,79 | 98,8 | 20 | 0,5 | -1,1 | 0,1 | 1 | 7,25 | 2,8 | 4,5 | Baja |
| | | POO1P | Machaca marca Central | 6,9 | 15 | 7,40 | 2,9 | 7,32 | 7,32 | 98,9 | 20 | 0,5 | -0,9 | 0,1 | 1 | 6,32 | 2,1 | 4,7 | Baja |
| | Medio | POO2C | Kalajawira | 8,27 | 15 | 18,37 | 9,2 | 18,27 | 14,1 | 99,4 | 20 | 0,7 | -0,1 | 0,1 | 1 | 7,42 | 2,9 | 6,2 | Moderada |
| | | POO2P | Kalajawira | 6,83 | 15 | 6,97 | 2,6 | 6,90 | 6,9 | 99,0 | 20 | 0,5 | -0,9 | 0,1 | 1 | 5,95 | 1,8 | 4,6 | Baja |
| | Bajo | POO3C | Casa del Campamento | 7,51 | 15 | 7,57 | 3,1 | 7,49 | 7,49 | 98,9 | 20 | 0,6 | -0,4 | 0,1 | 1 | 14,1 | 9,1 | 5,5 | Moderada |
| | | POO3P | Casa del Campamento | 7,45 | 15 | 9,17 | 4,3 | 9,07 | 9,07 | 98,9 | 20 | 1 | -0,3 | 0,2 | 3 | 15,5 | 11 | 6,2 | Moderada |
| | | POO3T | Casa del Campamento | 7,21 | 15 | 7,40 | 2,9 | 7,32 | 7,32 | 98,9 | 20 | 0,7 | -1 | 0,1 | 1 | 16,9 | 12 | 5,7 | Moderada |
| | Sub-Bajo | POO4C | Quesu Que | 8,76 | 15 | 26,09 | 16 | 26,02 | 18 | 99,7 | 20 | 0,5 | -0,8 | 0,1 | 1 | 6,58 | 2,3 | 7,2 | Moderada |
| | | POO4C | Quesu Que | 7,31 | 15 | 12,62 | 6,3 | 12,52 | 11,3 | 99,2 | 20 | 1,3 | | 0,2 | 3 | 8,84 | 4,1 | 6,0 | Moderada |
| | | POO4P | Quesu Que | 6,86 | 15 | 5,53 | 1,4 | 5,45 | 5,45 | 98,5 | 20 | 0,6 | -0,8 | 0,1 | 1 | 6,83 | 2,5 | 4,5 | Baja |
| | | POO4P | Quesu Que | 7,15 | 15 | 11,13 | 5,6 | 11,05 | 10,5 | 99,3 | 20 | 1,1 | | 0,1 | 1 | 8,37 | 3,7 | 5,6 | Moderada |
| | | POO4AA | Quesu Que | 7,62 | 15 | 13,55 | 6,8 | 13,47 | 11,7 | 99,4 | 20 | 0,4 | -1,5 | 0,1 | 1 | 7,54 | 3 | 5,6 | Moderada |
| | | PUN4P | Puñaca | 7,59 | 15 | 5,94 | 1,8 | 5,86 | 5,86 | 98,7 | 20 | 0,4 | -1,3 | 0,1 | 1 | 6,74 | 2,4 | 4,5 | Baja |
| | | PUN4C | Puñaca | 7,75 | 15 | 5,37 | 1,3 | 5,29 | 5,29 | 98,5 | 20 | 0,4 | -1,4 | 0,1 | 1 | 7,25 | 2,8 | 4,4 | Baja |

Anexo D. Registro Fotográfico

Microcuenca Venta y Media (P1)



Foto 30. Estrato alto
(Challa Apacheta).

Foto 31. Estrato medio
(Carajara).

Foto 32. Estrato bajo
(Asanquera).

Microcuenca Coriviri (P2)



Foto 33. Estrato alto
(Cultivo cebada).

Foto 34. Estrato medio
(cultivo papa).

Foto 35. Estrato bajo
(cultivo alfalfa)

Microcuenca Poopó (P3)



Foto 36. Estrato alto (Machacamarca central)
con las parcelas agrícolas de papa y cebada)

Foto 37. Estrato medio (Calajawira) con
la parcela agrícola de cebada.