

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

*Lourdes J. Chambi\*, Vladimir Orsag, Amalia Niura.*

Instituto de Investigaciones Químicas - Facultad de Agronomía UMSA, Proyecto CAMINAR, La Paz - Bolivia

Received: 01/05/12

Approved: 20/06/12

Published: 30/06/12

**Keywords:** Metales Pesados, suelos agrícolas y cultivos, contaminación, municipio de Poopó Bolivia

## ABSTRACT

The purpose of this 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). 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 tosed 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 máximum content in cultivations (1,7 sample mg/kg).

\*Corresponding author: [jhades.lin@hotmail.com](mailto:jhades.lin@hotmail.com)

## RESUMEN

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). 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).

## INTRODUCCION

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, esta 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 esta 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 y arsénico 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.

## LOCALIZACIÓN

### 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 (PDM<sup>1</sup> de Poopó, 2007).



*Figura 1: Municipio de Poopó con la ubicación de las Microcuencas en estudio*

## PARTE EXPERIMENTAL

Para determinar el contenido de metales pesados y arsénico en los suelos agrícolas y cultivos, se trabajó en tres fases: Gabinete, Campo, Laboratorio.

### Caracterización de las propiedades físico-químicas y biológicas de las parcelas agrícolas y cultivos.

Se muestrearon suelos de parcelas agrícolas y cultivos fracción comestible (Papa, Haba, Cebada y Alfalfa), en puntos previamente seleccionados, según la ubicación en la microcuenca, cercanía a la actividad minera, zonas con actividad agrícola, en las micro-cuencas de: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3).

### Análisis de parámetros

Entre las propiedades físicas de suelos se tomó en cuenta (pendiente, profundidad efectiva, grava, textura) y entre las propiedades químicas y biológicas (pH, CIC, CE, Fosforo asimilable, Nitrógeno total, Materia Orgánica). Estos parámetros fueron determinados en el laboratorio de edafología de la facultad de Agronomía y el IBTEN.

### Cuantificación de los contenidos Totales de Metales Pesados (Zn, Cd, Pb) y As en los suelos agrícolas y cultivos.

Previo muestreo homogéneo, desecación, molienda, tamizado y pesaje de los suelos y cultivos fracción comestible, se procedió a coger pequeñas concentraciones de 0,5000 g de suelo con volúmenes de reactivos de: 3ml Ácido Nítrico y 9 ml de Ácido Clorhídrico, para la digestión de una muestra de suelo y de la misma manera se procedió con la digestión de los vegetales, con la 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. Una vez obtenidos los analitos en solución y mediante la **digestión en horno de Microondas**, se derivó a la determinación de la concentración del Zn, Cd, Pb y As mediante el **Espectrofotómetro de Absorción Atómica en llama y horno de grafito**, en el laboratorio de Hidroquímica 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.

### 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, [5]).

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

Para evaluar y cuantificar el posible grado de contaminación de los suelos agrícolas y cultivos de interés con metales pesados, se compararon los resultados obtenidos con los parámetros y límites propuestos (Tabla 1 y 2) por los siguientes autores:

- Máximo Permitido, propuesta en la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador y la Agencia Ambiental Holandesa.
- Intervención Nivel/Peligroso, propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y la Comisión de la Comunidad Europea (CCE).

**Tabla 1.- Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados totales y Arsénico 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		**Agencia Ambiental Holandesa-(CCE), 2002.
Cd	2	0,8	12		
Zn	200	140	720		

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

**Tabla 2.- Concentración Tolerable, Máxima Permitida y Excesiva o tóxica de Metales Pesados Totales y Arsénico en Cultivos Agrícolas**

Nivel	Elementos				Concentración (mg/kg, peso seco)	
	As	Pb	Cd	Zn	Fuente	Referencia
Tolerable en cultivos	1	0.5	0.2	50	Kabata-Pendias, 2000; Chile-INN	<a href="http://www2.sag.gob">http://www2.sag.gob</a> (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, [3]).

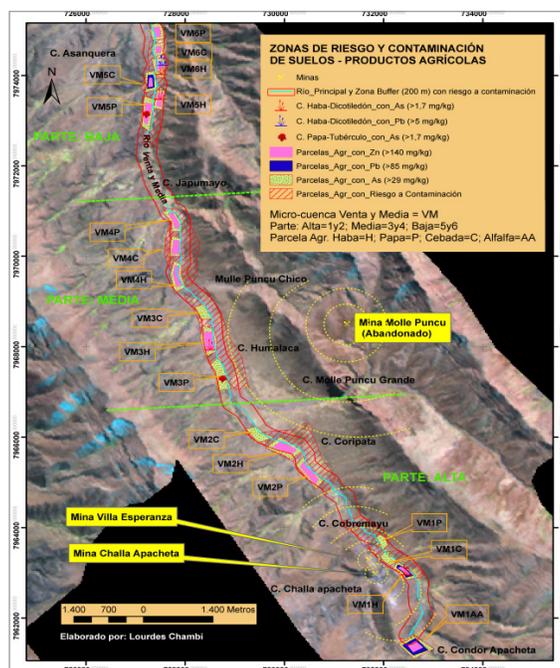
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Microcuenca Venta y Media (P1).

Por sus características físico-químicas y biológicas los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Venta y Media, presentan por lo general una clase textural franco, la pendiente y la profundidad efectiva es variada, producto de la ubicación en el paisaje. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) por lo general es baja y solo en algunos casos es moderada, como consecuencia de la escasez de materia orgánica y nitrógeno total. El pH fluctúa de moderadamente ácido en la parte alta (Cónдор Apacheta, Challa Apacheta, Coripata) y parte media (K'arajara), a débilmente alcalino en la parte baja (Asanquera) de la micro-cuenca. La conductividad eléctrica en la parte alta y media carece de sales y en la parte baja presentaron moderada salinidad, atribuible a la presencia de sales llevadas por la escorrentía o por la contaminación por agua salobre procedente de actividades de Mina.

- De acuerdo a las tendencias los metales (Pb y Cd) manifestaron un incremento en la parte baja (Comunidad: Asanquera) en relación a la parte alta (Coripata Alta) y parte media (K'arajara y frente al Mullu Punku), presumible a que estas parcelas agrícolas de la parte baja de la micro-cuenca pertenece a una unidad fisiográfica de fondo de valle donde aprovechan las aguas del río Venta y Media para el riego de sus productos agrícolas favoreciendo su acumulación de metales en estos suelos.

Contrastando los contenidos totales de (As y Zn) encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de toda la micro-cuenca Venta y Media (P1), se encontraron por encima de su límite máximo permisible (29 mg/Kg y 140 mg/kg) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa, respectivamente. Incluso en algunas parcelas agrícolas las concentraciones de As superaron los niveles peligrosos de (55 mg/kg de suelo) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa. En ese sentido estos suelos requieren una pronta remediación dirigidos a reducir la acumulación de estos metales.

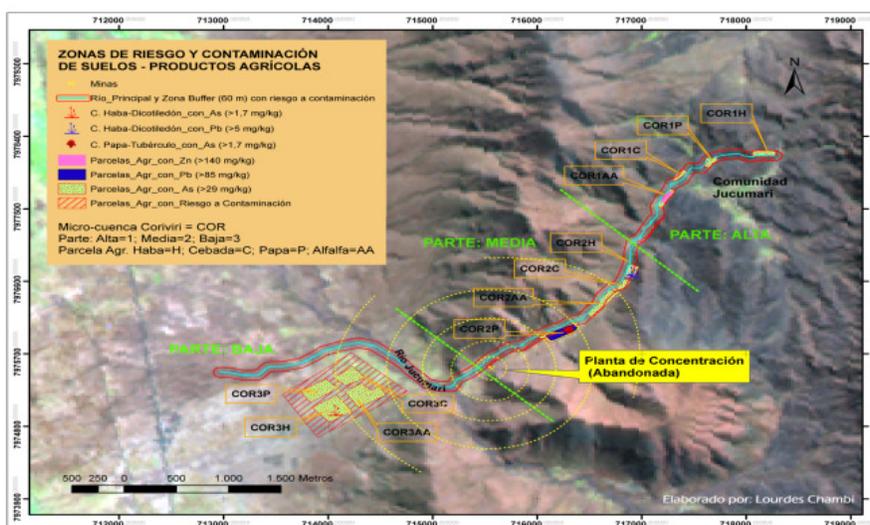


*Figura 1: Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn) y As en cultivos y parcelas agrícolas de la Micro-cuenca Venta y Media parte alta, media y baja.*

### Microcuenca Coriviri (P2).

Por sus características físico-químicas y biológicas los suelos de las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Coriviri, presentan profundidades efectivas reducidas producto de la topografía de ladera con pendientes que oscilan entre 3,3% a 15,8%, su clase textural es variada debido al grado de evolución, presentando suelos en la parte alta (Franco Arcillosos), parte media (Francos) y parte baja (Franco arenosos) por lo general. Son suelos no salinos, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es baja debido a la escasez de materia orgánica y nitrógeno total, favoreciendo la susceptibilidad de estos suelos a la erosión.

- Contrastando los contenidos totales de (As) encontrados en los suelos de las parcelas agrícolas de toda la micro-cuenca Coriviri (P1), con los valores de referencia (Tabla 1), el As en estos suelos agrícolas, superaron el límite máximo permisible (29 mg/Kg) e incluso en algunas parcelas agrícolas las concentraciones de As excedieron los niveles peligrosos de (55 mg/kg de suelo), propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa. Respecto al contenido de Pb solo la parcela agrícola (COR2P) ubicado en la parte media de la micro-cuenca de Coriviri, superó el límite máximo permisible (85 mg/Kg y 100 mg/kg) de acuerdo a la Agencia Ambiental de Holanda y la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador respectivamente, encontrándose también en esta misma parcela agrícola un elevado contenido Cd y As. La presencia de contenidos elevados de arcilla en los suelos determina la fijación de metales, caso de esta parcela agrícola.



**Figura 2:** 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.

Los productos agrícolas y forraje de la Micro-cuenca Coriviri en su mayoría presenta concentraciones totales de Pb, Cd, Zn y As por debajo de los contenidos máximos, propuestos por Kabata-Pendias, 2000, excepto el producto agrícola de papa (COR2P Veg), ubicado en la parte media de la micro-cuenca, que superó el contenido máximo de As (1.7 mg/kg) y en la parte baja el producto agrícola de haba (COR3H Veg), que excedió levemente el nivel tóxico de As (5 mg/Kg de muestra), propuesto por (Kabata-Pendias, 2000), en razón de que estas parcelas agrícolas presenta un pH débilmente alcalino situación que favorece su disponibilidad del As para los cultivos.

### Microcuenca Poopó (P3).

Son suelos poco desarrollados, formados a partir del material arrastrado de las colinas, con pendientes variadas (4 % a 14%) a lo largo de la micro-cuenca. La textura oscila entre (franco a franco-arenoso), no presentaron acumulación de sales en sus suelos, a excepción de la llanura de infiltración (Comunidad: Quesu Qesuni y Puñaca), el pH es variado, la CIC es baja por la carencia de nitrógeno total y arcilla, son suelos que tiene una fertilidad natural pobre susceptibles a la erosión.

- De acuerdo a las tendencias de los metales pesados en las parcelas agrícolas de la micro-cuenca Poopó (P3), el As presentó mayor acumulación en la parte Sub-baja de la micro-cuenca (Comunidad: Quesu Qesuni y Puñaca), en

relación a la parte alta, media y baja de la micro-cuenca y no así el Pb, Cd y Zn que presentaron una tendencia de mayor acumulación en la parte baja (Viejo Poopó) de la micro-cuenca en relación a la parte alta, media y sub-baja.

- 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 1), el As en estos suelos agrícolas presentaron concentraciones por encima de su valor de referencia (12mg/Kg y 29mg/kg) respectivamente e inclusive algunas parcelas agrícolas sobrepasaron el nivel tóxico de (55 mg/kg de suelo) en toda la micro-cuenca, posiblemente por la naturaleza de los suelos y la actividad minera intensiva de la zona.

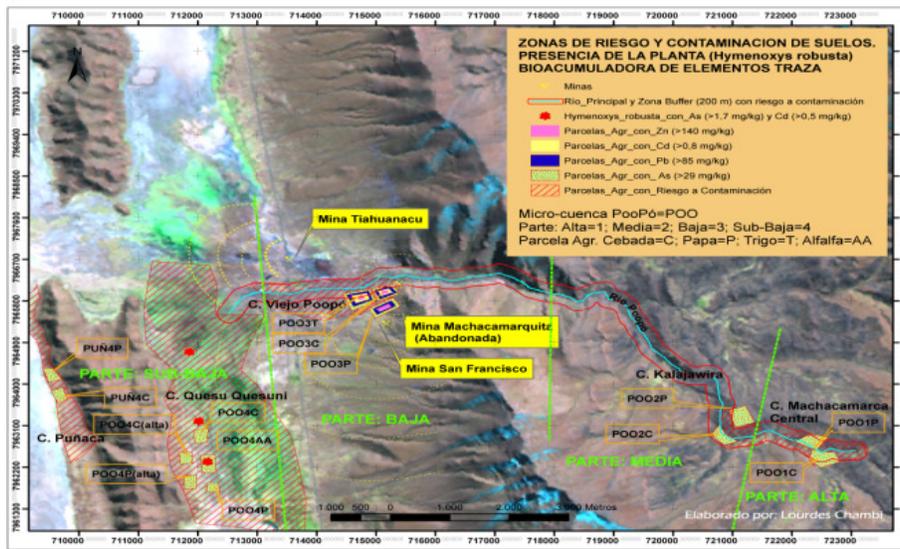


Figura 3: Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Cd, Zn) y As en parcelas agrícolas de la Micro-cuenca Poopó parte alta, media, baja y sub-baja.

Según los resultados (Gráfico 1) 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.

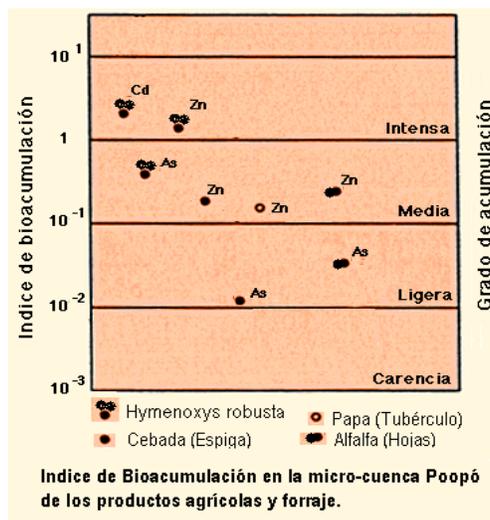


Gráfico 1:

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

Según los resultados (Gráfica 1) 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 (*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.

**CONCLUSIONES.**

De acuerdo a la evaluación de los metales pesados y arsénico 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 Quesuni y Puñaca) presenta mayor acumulación de As, considerando 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 del 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 la 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.

## RECONOCIMIENTOS

Al Ing. Ph.D. Vladimir Orsag, por la orientación y entusiasmo desinteresado, a la Lic. Amalia Niura, Lic. Oswaldo Ramos y Lic. Jorge Quintanilla por los consejos brindados y la colaboración versátil expuesta, para la realización del presente trabajo. Al Proyecto CAMINAR (Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America), quienes hicieron realidad el presente trabajo con la financiación de la investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Apaza, R; Franken, M; Marín, R y Osorio, F. 1996 [1]. 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.
- [2] Chilón, E. 2000. Manual de Edafología: Prácticas de Campo y Laboratorio. La Paz, BOL. UNIR-UMSA. 290 p.
- [3] Kabata Pendias, A. 2000. Metales Pesados en cultivos (en línea). USA. Consultado el 10/09/2009. Disponible en <http://www2.sag.gob.cl/Recursos-Naturales/criterios-calidad-suelos-agricolas/pdf/>
- [4] 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.
- [5] 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>
- [6] MEDMIN (Medio Ambiente Minería e Industria), 2006. Caracterización Geológico-Minera Ambiental y Socioeconómico: Diagnostico Minero Ambiental. Estudio Minero Municipio Poopó. La Paz – BOL.
- [7] Miranda, R. 2005. Edafología: Segunda Parte. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos. La Paz, BOL. 29 p.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Ramos, O; Niura, A. 2008. Monitoreo Químico Ambiental 2007- 2008 Municipio de Poopó. Proyecto Caminar-IIQ. La Paz, BOL. 72p.
- [11] Rodríguez 1982. Fisiología Vegetal. Ed. Los Amigos del Libro. Cochabamba – Bolivia. Pp: 48.
- [12] Stocker, S. 1981. Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua. Trad. R. Navarro. 1 ed. Barcelona, ES. Editorial Blume. 313 p.
- [13] Villarroel, J. 1998. Manual Para La Interpretación de Análisis de Suelos. 1 ed. Santa Cruz, BOL. Editorial Tokio. 81 p.

