

## EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y CULTIVOS EN TRES MICROCUENCAS DEL MUNICIPIO DE POOPÓ-BOLIVIA

### Evaluation of the presence of heavy metals in agricultural soils and crops in three microbasins of the municipality of Poopó - Bolivia

Lourdes Janneth Chambi Parisaca<sup>1</sup>; Vladimir Orsag Cespedes<sup>2</sup>; Amalia Niura Zurita<sup>3</sup>

#### 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 microcuencas del municipio Poopó; divididas en tres partes (alto, medio y bajo). Se muestrearon suelos de parcelas agrícolas y cultivos fracción comestible (papa, haba, cebada y alfalfa), en puntos previamente seleccionados, según la disponibilidad, en la microcuenca de: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3). Las muestras con pequeñas concentraciones se determinaron mediante el espectrofotómetro de absorción atómica en llama y horno de grafito, en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas de La Paz, Universidad Mayor de San Andrés. 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 (2000). Los resultados muestran que los suelos agrícolas de las tres microcuencas en estudio se encuentran contaminados por arsénico, superando el nivel peligroso de ( $55 \text{ mg kg}^{-1}$  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 ( $1.7 \text{ mg kg}^{-1}$  de muestra).

**Palabras clave:** Metales pesados, suelos agrícolas y cultivos, municipio de Poopó, Bolivia.

#### ABSTRACT

The purpose of the study was to determine the presence of heavy metals (Pb, Cd, Zn and As) in agricultural soils and representative crops in three micro basins in the Poopó municipality; divided into three parts (high, medium and low). Soil from agricultural plots and edible fraction crops (potato, bean, barley and alfalfa) were sampled, according to availability, in the micro basin of Sale and Mean (P1), Coriviri (P2) and Poopó (P3). Samples with small concentrations were determined using the atomic absorption spectrophotometer in flame and graphite furnace, in the laboratory of the Chemical Research Institute of La Paz, Universidad Mayor de San Andrés. The concentration of metals was evaluated with the maximum permissible limits and the levels dangerous for soil, proposed by the Dutch Environmental Agency and the Environmental Management Law of Ecuador, the agricultural crops were evaluated with the maximum contents proposed by Kabata (2000). The results show that the agricultural soils of the three micro-basins under study are contaminated with arsenic, surpassing the dangerous level of ( $55 \text{ mg kg}^{-1}$  of soil), via the natural mineralization of the area and the contribution of the surrounding mining in the Region (Clearing, Copagira waters thrown in the open and to the rivers), a situation that deserves immediate remediation, in order to avoid the intensity of accumulation. The cultivation of edible bean fraction presents tendencies of greater accumulation of arsenic, reaching in some cases to exceed the maximum content in cultures ( $1.7 \text{ mg kg}^{-1}$  of sample).

**Keywords:** Heavy metals, agricultural soils and crops, Poopó, Bolivia.

<sup>1</sup> Facultad de Administración de Empresas, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Jades.lin@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Proyecto CAMINAR, Bolivia.

<sup>3</sup> Docente Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, Proyecto CAMINAR, Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

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 qué 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.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) en suelos agrícolas y cultivos representativos en tres microcuencas del municipio Poopó; divididas en tres partes (alto, medio y bajo).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el municipio de Poopó que es la primera sección 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 de Poopó, 2007).

Para determinar el contenido de metales pesados en los suelos agrícolas y cultivos, se trabajó en tres fases: gabinete, campo y laboratorio.

### Caracterización de las propiedades física, química y biológica de las parcelas agrícolas y cultivos

Se tomaron muestras de suelos en parcelas agrícolas y cultivos de 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

microcuencas de: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3).

Las propiedades físicas de suelos evaluadas fueron pendiente (%), profundidad efectiva (cm), grava (%), textura (%). Las propiedades químicas y biológicas (pH, capacidad de intercambio catiónico (mdeq 100g<sup>-1</sup> de suelo), CE (dS m<sup>-1</sup>), fósforo asimilable (ppm), nitrógeno total (%), materia orgánica (%). Estos parámetros fueron determinados en el laboratorio de edafología de la Facultad de Agronomía y el Instituto Boliviano de tecnología y Energía Nuclear - IBTEN.

Para el análisis de metales pesados, previamente se realizó un muestreo homogéneo, desecación, molienda, tamizado y pesaje de los suelos y cultivos fracción comestible, se procedió a tomar pequeñas concentraciones de 0.5000 g de suelo con volúmenes de reactivos de: 3 ml 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 hidrógeno; 0.5 ml de ácido clorhídrico bidestilado y 4 ml ácido nítrico bidestilado. Una vez obtenido los analitos en solución gracias a 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 del Instituto de Investigaciones Químicas de La Paz, Universidad Mayor de San Andrés.

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 (2000).

El 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<sup>-3</sup>, ligera 10<sup>-2</sup>, media 10<sup>-1</sup> e intensa 10<sup>1</sup> (Mas y Azcue, 1993).

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:

Tabla 1. Límites máximos permisibles de metales pesados totales en suelos.

Elemento (mg kg <sup>-1</sup> )	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.	SIMBIOSIS (Servicios Integrales de Medio Ambiente), 2008.
Cd	2	0.80	12		
Zn	200	140	720		

\*\*LMP: límite máximo permisible; IP: intervención nivel/peligroso.

Tabla 2. Concentración tolerable, máxima permitida y excesiva o tóxica de metales pesados totales en cultivos agrícolas.

Nivel	Concentración de elementos pesados (mg kg <sup>-1</sup> ) en peso			
	As	Pb	Cd	Zn
Tolerable en cultivos Agrícolas	1	0.5	0.2	50
Contenidos Máximos	1.7	5	0.5	100
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, 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Microcuenca Venta y Media (P1)

Por sus características físico, químico y biológicos los suelos de las parcelas agrícolas de la microcuenca Venta y Media, presentan 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 (Cóndor Apacheta, Challa Apacheta, Coripata) y parte media (K'arajara), a débilmente alcalino en la parte baja (Asanquera) de la microcuenca. La conductibilidad 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 debido a que estas parcelas agrícolas de la parte bajan de la microcuenca 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 microcuenca Venta y Media (P1), se encontraron por encima de su límite máximo permisible (29 mg kg<sup>-1</sup> y 140 mg kg<sup>-1</sup>) propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa, respectivamente. Incluso en algunas parcelas agrícolas las concentraciones de As superaron los niveles peligrosos de (55 mg kg<sup>-1</sup> 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.

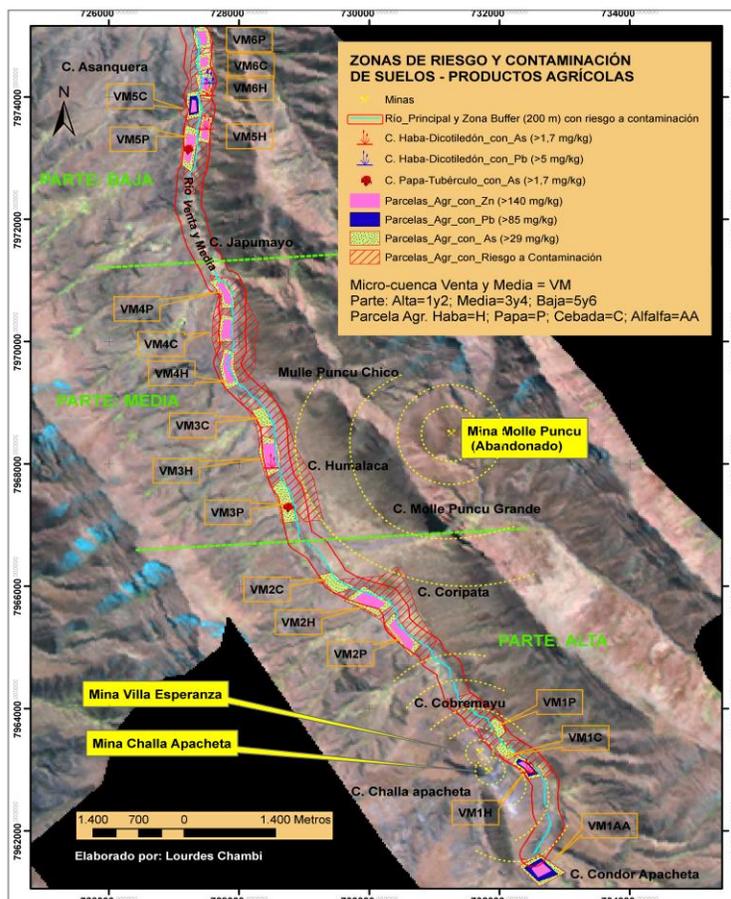


Figura 1. Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la microcuenca Venta y Media parte alta, media y baja.

### Microcuenca Coriviri (P2)

Por sus características físico, químico y biológicos los suelos de las parcelas agrícolas de la microcuenca 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, 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 a 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 microcuenca Coriviri (P1), con los valores de

referencia (Tabla 1), el As superó el límite máximo permisible ( $29 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e incluso en algunas parcelas agrícolas las concentraciones de As excedieron los niveles peligrosos de ( $55 \text{ mg kg}^{-1}$  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 microcuenca de Coriviri, superó el límite máximo permisible ( $85 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 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.

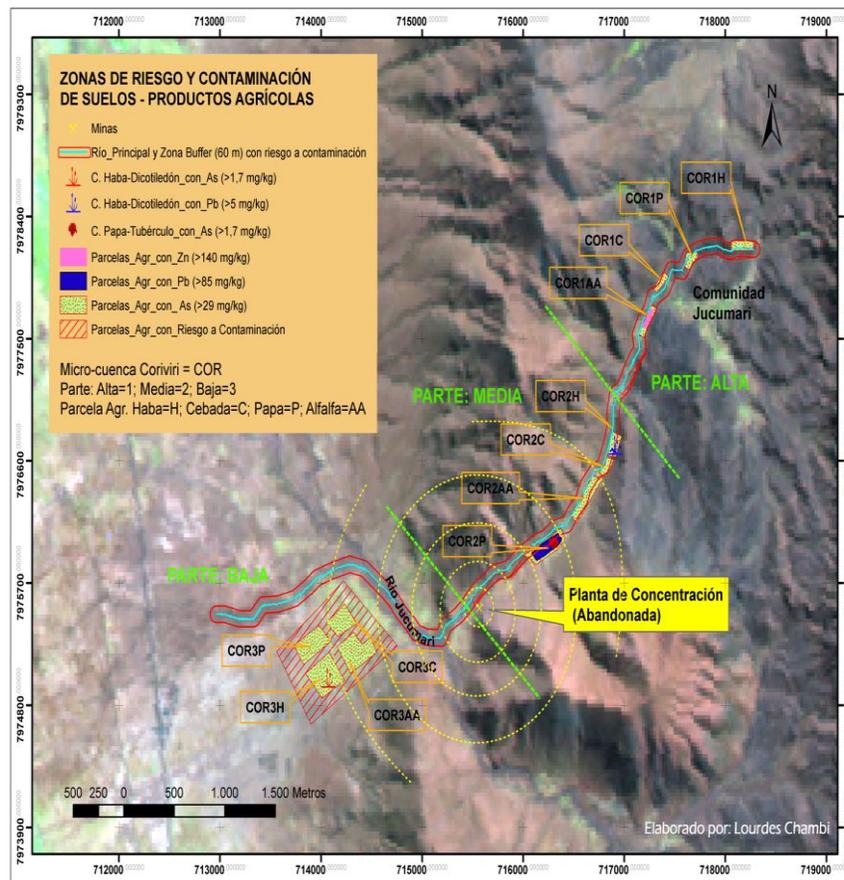


Figura 2. Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Zn y As) en cultivos y parcelas agrícolas de la microcuenca Coriviri parte alta, media y baja.

Los productos agrícolas y forraje de la microcuenca Coriviri en su mayoría tiene concentraciones totales de Pb, Cd, Zn y As por debajo de los contenidos máximos, propuestos por Kabata, 2000, excepto el producto agrícola de papa (COR2P Veg), ubicado en la parte media de la microcuenca, que superó el contenido máximo de As ( $1.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y en la parte baja el producto agrícola de haba (COR3H Veg), que excedió levemente el nivel tóxico de As ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$  de muestra), propuesto por (Kabata, 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 microcuenca. 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 Quesuni 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 microcuenca Poopó (P3), el As presentó mayor acumulación en la parte sub baja de la microcuenca (comunidad Quesu Quesuni y Puñaca), en relación a la parte alta, media y baja de la microcuenca y no así el Pb, Cd y Zn que presentaron una tendencia de mayor acumulación en la parte baja (Viejo Poopó) de la microcuenca 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 microcuenca 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 ( $12 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $29 \text{ mg kg}^{-1}$ ) respectivamente e inclusive algunas parcelas

agrícolas sobrepasaron el nivel tóxico de (55 mg kg<sup>-1</sup> de suelo) en toda la microcuenca, posiblemente por la

naturaleza de los suelos y la actividad minera intensiva de la zona.

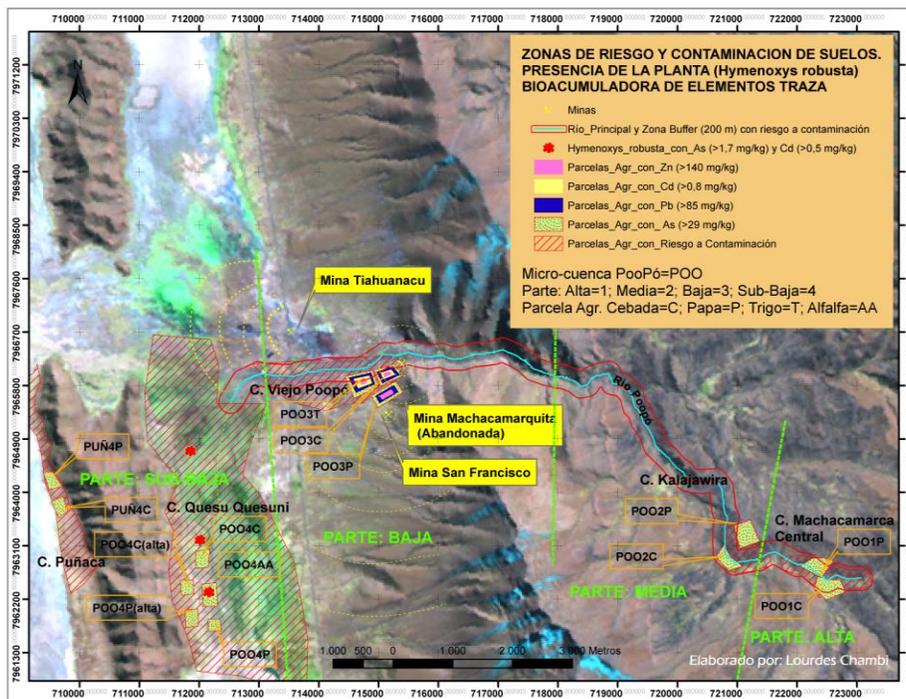


Figura 3. Presencia y riesgo de metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) en parcelas agrícolas de la microcuenca Poopó parte alta, media, baja y sub baja.

Según los resultados (Figura 4) la bioacumulación de Arsénico en la época de cosecha de la cebada-espiga es ligera, en toda la microcuenca Poopó (P3). En la parte sub baja (Quesu Quesuni y Puñaca) de la microcuenca, 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 Arsénico en la época de cosecha en la cebada-espiga es ligera, en toda la microcuenca Poopó (P3). En la parte sub baja (Quesu Quesuni y Puñaca) de la microcuenca, 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.

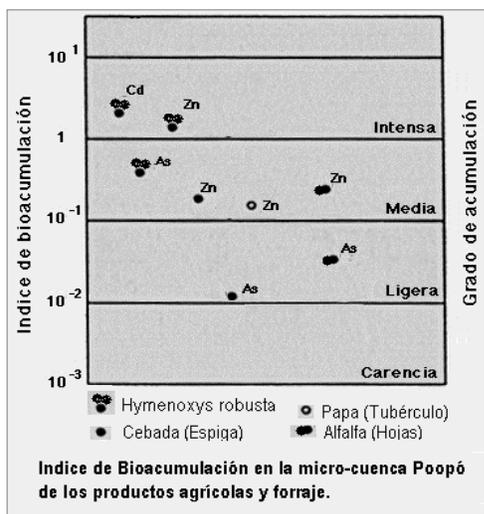


Figura 4. Bioacumulación de los contaminantes en los productos Agrícolas y forraje de la microcuenca Poopó.

La bioacumulación de Zinc es media en la papatubérculo, cebada-espiga y alfalfa-hoja en las tres partes de la microcuenca 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 de llanura de infiltración de la microcuenca Poopó.

## CONCLUSIONES

La parte baja de la microcuenca 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 ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 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 microcuenca de Coriviri, revelan concentraciones de As por encima del límite máximo permisible ( $1.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 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 microcuenca Poopó (comunidad Quesu Quesuni 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 microcuenca 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.

Se considera al cultivo del haba como una planta indicadora de elementos traza ya que manifiesta elevadas concentraciones de As. La especie vegetal *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.

## AGRADECIMIENTOS

A Vladimir Orsag, por la orientación y entusiasmo desinteresado, a Amalia Niura, Oswaldo Ramos y Jorge Quintanilla por los consejos brindados y la colaboración versátil expuesta. Al Proyecto CAMINAR (Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America).

## BIBLIOGRAFÍA

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.

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

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

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.

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.

Artículo recibido en: 31 de mayo 2017

Aceptado en: 2 de junio 2017