

EVALUACIÓN DEL EFECTO BIOACUMULADOR EN VEGETACIÓN TERRESTRE DE LAS ESPECIES TRIFOLIUM REPENS “TRÉBOL” Y CALAMAGROSTIS SP. “ICHU” EN ÁREAS MINERAS ABANDONADAS

Lizardo Cahuana y * Osvaldo Aduvire

Ingeniero Agrónomo. Área GeoAmbiente, SRK consulting (Perú) S.A. Perú. Consultor Senior.

* Doctor Ingeniero de Minas/ Área GeoAmbiente SRK consulting (Perú) S.A. Perú, Consultor Principal.

* Profesor de la Sección Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)

lcahuana@srk.com.pe

oaduvire@srk.com.pe

RESUMEN

En áreas de laboreo minero antiguo se encuentran emplazados una serie de estructuras e instalaciones mineras en abandono también conocidas como pasivos ambientales mineros, que en la actualidad constituyen fuentes de contaminación, principalmente por la movilización de carga metálica en los drenajes ácidos producidos por la oxidación de sulfuros. Los mismos que impactan sobre el suelo, agua y flora circundantes a las zonas de emplazamiento de estas antiguas instalaciones.

El objetivo del presente trabajo se centra en evaluar la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de la vegetación terrestre, principalmente en especies como: *Trifolium repens* “trébol” y *Calamagrostis sp.* “ichu”; y la relación que existe entre la cantidad de metales pesados en el suelo de las áreas circundantes a las antiguas instalaciones mineras abandonadas.

La evaluación del efecto bioacumulador de las especies de vegetación terrestre, permitirá formular propuestas de remediación y rehabilitación con las especies de mayor amplitud de distribución y abundancia en las zonas ocupadas por pasivos ambientales mineros.

Palabras clave: Bioacumulación en vegetales – Adsorción de metales en trébol y ichu – Rehabilitación suelos contaminados

ABSTRACT

In old mining areas, abandoned mining structures and facilities are also known as mining environmental liabilities. These currently constitute sources of pollution, mainly due to the mobilization of metal loading in acid seepage produced by the oxidation of sulfides, and impacting the soil, water and flora surrounding these old facilities.

The objective of this work is to evaluate the bioaccumulation of heavy metals in the tissues of terrestrial vegetation, mainly in species such as: *Trifolium repens* "clover" and *Calamagrostis tarmensis* "Ichu"; and its relationship with the amount of heavy metals in the soil of the areas surrounding the old abandoned mining facilities.

The evaluation of terrestrial vegetation species' bioaccumulative effect will allow the formulation of remediation and rehabilitation proposals with species of greater distribution and abundance in areas occupied by mining environmental liabilities.

Keywords: Bioaccumulation in vegetables - Adsorption of metals in clover and ichu - Rehabilitation of contaminated soils

1. INTRODUCTION

La colonización vegetal de los suelos ricos en metales depende de la capacidad de las plantas para desarrollar mecanismos de tolerancia (Ernst, 1990). Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas (estrategia de exclusión). Sin embargo,

otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa aérea (estrategia acumuladora), lo que requiere una fisiología altamente especializada (Baker y Walker, 1990).

Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como

Lizardo cahuana, Osvaldo aduvire

normal para otras especies e n los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en los suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras, generalmente, tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata - Pendias, 2000). Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

En el presente trabajo se busca evaluar la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de la vegetación terrestre, principalmente en especies como: *Trifolium repens* “trébol” y *Calamagrostis sp.* “ichu”; y la relación que existe entre la cantidad de metales pesados en el suelo de las áreas circundantes a las antiguas instalaciones mineras abandonadas.



Fotografía 1.- Labores mineras abandonadas y su impacto sobre la vegetación, agua y suelos

2. METODOLOGIA

2.1 Método de muestreo

El procedimiento de muestreo de la vegetación terrestre se llevó a cabo siguiendo como base la

Guía para la recolecta y preparación de muestras botánicas publicado por el Herbario Nacional del Museo Nacional de Costa Rica (2008).

Se trabajó con hierbas pequeñas de menos de 50 cm de altura se recolectó la planta completa con la raíz, de la cual se eliminó el exceso de tierra. Cuando se trató de hierbas de mayor tamaño o arbustos pequeños se cortó la parte terminal del tallo. En este caso, se procedió a coleccionar muestras de la especie de mayor abundancia en la zona, principalmente de las Familias Poaceae. La colecta comprendió muestras de 500 gramos para al análisis de metales en Laboratorios acreditados y siguiendo los procedimientos y estándares para su conservación y traslado fue en coolers con gel refrigerado.



Fotografía 2.- Muestreo de Tejido Vegetal

2.2 Muestreo en vegetación terrestre

La evaluación de metales en el tejido vegetal se llevó a cabo en 16 estaciones de vegetación terrestre, cuya finalidad es evaluar el efecto bioacumulador de éstas, frente a los metales presentes en el suelo. A continuación, se indica la ubicación de las 16 estaciones de evaluación de metales en tejido vegetal.

Tabla 1.- Unidades de evaluación de metales e n tejido vegetal

ESTACION DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS84 Zona 17 S			DESCRIPCIÓN
	ESTE	NORTE	ALT URA	
Tv-01	758953	9256201	3850	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Trifolium repens</i> , el cual se encontraba en un Pajonal cerca de un pasivo minero (bocamina).
Tv-02	758657	9256315	3823	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Trifolium repens</i> , el cual se encontraba en un Pajonal cerca de un pasivo minero (tajo).
Tv-03	758302	9256403	3824	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal cerca de los pasivos minero (tajo y desmontera).
Tv-04	758803	9256140	3839	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal alejado de pasivos mineros (bocamina y desmontera).
Tv-05	757569	9257426	3732	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal cerca de la bocamina que se encuentra al lado de la carretera, cerca de los pasivos mineros (trinchera y desmontera).
Tv-06	757381	9257870	3740	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal alejado de pasivos mineros (bocamina y desmonteras).
Tv-07	757996	9256960	3757	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal que está al lado de la carretera y pasivos mineros (tajo, trinchera y desmontera).
Tv-08	758356	9256835	3770	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Trifolium repens</i> ., el cual se encontraba en un Pajonal cerca de un pasivo minero (bocamina).
Tv-09	757992	9256651	3865	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal que está en una de las laderas, muy cerca de pasivos ambientales (desmontera e infraestructura).
Tv-10	758558	9256530	3810	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal que está al lado de pasivos mineros (bocamina y desmonteras).
Tv-11	759000	9256241	3864	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal, que está en cerca de un pasivo minero (bocamina).
Tv-12	757606	9257594	3730	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Trifolium repens</i> ., el cual se encontraba en un Pajonal que está influenciado por pasivos mineros (desmontera, tajo y bocamina).
Tv-13	758401	9257056	3816	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal alejado de algún pasivo minero.
Tv-14	758845	9256660	3842	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal, alejado de algún pasivo minero.
Tv-15	759059	9256038	3897	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Calamagrostis</i> sp., el cual se encontraba en un Pajonal alejado de algún pasivo minero.
Tv-16	758268	9256614	3780	El espécimen colectado pertenece a la especie <i>Trifolium repens</i> , el cual se encontraba en un Pajonal muy cerca de un pasivo minero (bocamina) y al lado de la carretera.

Plantas Terrestres

3. RESULTADOS Y DICUSION

la vegetación terrestre de las especies como: *Trifolium repens* “trébol” y *Calamagrostis sp.* “ichu” según el Informe de Ensayo N° AMM-18/00028 realizados por el laboratorio acreditado.

3.1 Plantas Terrestres

A continuación, se muestran los resultados de la concentración de metales pesados en el tejido de

Tabla 2 Concentración de metales (mg/kg) en el tejido vegetal terrestre

Metales pesado	Incert	Unidades	Tv-01	Tv-02	Tv-03	Tv-04	Tv-05	Tv-06	Tv-07	Tv-08	Tv-09	Tv-10	Tv-11	Tv-12	Tv-13	Tv-14	Tv-15	Tv-16	Rango mg/kg	
Aluminio Total	±11%	mg/kg	> 50	13	> 50	43	39	35	> 50	21	> 50	> 50	48	> 50	> 50	25	24	> 50	1-50mg/kg	
Antimonio Total	± 13 %	mg/kg	2	< 0,01	0,3	0,07	0,22	0,01	0,24	0,01	0,24	0,01	0,29	0,3	< 0,01	< 0,01	0,05	0,29	0,01 - 20	
Arsénico Total	± 13 %	mg/kg	> 20	1,1	3	3,5	1,3	0,51	4,2	0,44	5,2	0,96	0,97	13	0,6	0,73	0,61	4,4	0,030 - 20,0	
Bario Total	± 12 %	mg/kg	12,4	2,85	4,12	20,0	2,97	1,47	2,43	5,82	2,23	1,7	1,57	6,25	1,61	1,95	2,52	13,1	0,030 - 20,0	
Berilio Total	± 11 %	mg/kg	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01 - 5,00
Boro Total	± 10 %	mg/kg	19,3	19,7	2,1	18,8	4,3	4,4	2,9	28,6	1,8	3,9	3,9	24,7	2,8	4,6	3,4	24,8	0,2 - 50,0	
Cadmio Total	± 13%	mg/kg	0,393	0,095	0,02	0,179	0,118	0,303	0,047	0,438	0,039	0,125	0,105	0,401	0,018	0,051	0,518	0,228	0,010 - 20,0	
Cobalto Total	± 13%	mg/kg	0,3	< 0,01	0,08	0,06	0,09	0,04	0,18	0,03	0,04	0,19	0,02	0,15	< 0,01	< 0,01	0,01	0,11	0,01 - 20,0	
Cobre Total	± 13%	mg/kg	> 50	9,7	11	22	10	8,3	11	10	10	12	5	> 50	4,9	5,3	6,1	17	0,03 - 50	
Cromo Total	± 12 %	mg/kg	5,2	0,73	1,6	0,46	1,4	0,98	2,3	1,3	1,3	1,1	1,7	1	1,2	1,2	1	1,2	0,03 - 20	
Estaño Total	± 6 %	mg/kg	0,069	0,027	0,036	0,03	0,037	0,071	0,046	0,028	0,056	0,04	0,043	0,027	0,042	0,053	0,051	0,027	0,010 - 20,0	
Estroncio Total	± 9 %	mg/kg	> 20,0	> 20,0	7,71	> 20,0	7,16	9,96	7,32	20,0	11,6	7,92	9,69	> 20,0	6,97	11,1	10,7	> 20,0	0,010 - 20,0	
Hierro Total	± 9 %	mg/kg	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	0,2 - 50	
Litio Total	± 5%	mg/kg	0,155	0,06	0,052	0,083	0,050	0,050	0,052	0,102	0,079	< 0,050	< 0,050	0,175	0,051	< 0,050	0,059	0,111	0,050 - 20,0	
Manganeso Total	-	mg/kg	0,135	0,05	0,373	0,244	0,231	0,163	0,514	0,113	0,1	0,068	0,168	0,1	0,258	1,11	0,081	0,077	0,025 - 20,0	
Mercurio Total	± 8 %	mg/kg	0,04	< 0,01	0,02	< 0,01	0,57	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01 - 5,0	
Molibdeno Total	-	mg/kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01 - 10	
Níquel Total	± 7 %	mg/kg	3,12	0,349	1,13	0,678	0,814	1,15	1,92	1,25	1,05	1,6	1,73	1,19	0,868	0,851	0,961	1,46	0,010 - 20,0	
Plata Total	± 10 %	mg/kg	0,27	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05 - 20,0	
Plomo Total	± 12 %	mg/kg	14	0,418	1,12	1,33	0,624	0,448	1,18	0,554	1,57	1,48	0,603	8,75	0,706	1,03	0,877	2,91	0,010 - 20,0	
Selenio Total	± 9 %	mg/kg	0,382	< 0,050	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,050	0,192	0,050	0,050	0,050	0,050 - 20,0	
Titanio Total	± 4 %	mg/kg	4,25	0,894	1,06	1,1	1,03	1,09	1,38	1,1	1,25	0,615	1,07	5,96	0,976	0,723	0,768	2,58	0,030 - 20,0	
Vanadio Total	± 6%	mg/kg	0,887	< 0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,057	0,030	0,034	0,030	0,030	0,568	0,030	0,030	0,030	0,104	0,030 - 20,0	
Zinc Total	± 13%	mg/kg	> 50	38	17	> 50	24	39	24	> 50	31	> 50	24	> 50	12	22	> 50	49	0,50 - 50	

De los resultados de laboratorio presentados en la Tabla 2 se puede deducir los siguientes: Algunos elementos se encuentran ausentes o no detectables en el tejido vegetal de las plantas terrestres evaluadas, como: Berilio (Be), Molibdeno (Mo), Plata (Ag) y Selenio (Se). Antimonio (Sb) ausente o no detectable, solo en las estaciones Tv-02, Tv-06, Tv-08, Tv-10, Tv-

Mercurio (Hg), ausente y no detectables, solo en las estaciones Tv-02, Tv-04, Tv-06, al Tv-16, mientras que en la estación Tv-01, Tv-03 y Tv-05 registro valores de 0.04, 0.02 y 0.57 mg/kg respectivamente, cuyos valores están dentro del rango el cual corresponde al AMD.

13 y Tv-14 mientras las demás estaciones presentaron valores dentro del rango el cual corresponde al AMD (0.01 - 20 mg/Kg).

Las concentraciones del Cobalto (Co) en muestras de tejido vegetal obtenidas en la totalidad de las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros arroja valores dentro del rango (0.01 – 20.0 mg/kg) a excepción de las estaciones Tv-02, Tv-13 y Tv-14 se encuentran como no detectables, seguido de Litio (Li) en la mayoría de las estaciones evaluadas presenta valores dentro del rango (0.050 – 20.0 mg/kg) a excepción de las estaciones Tv-05, Tv-06, Tv-10, Tv-11 y Tv-14 se encuentran como no detectables.

Por otro lado los parámetros de metales pesados Hierro (Fe) todas las estaciones presento valores por encima del rango (0.2 - 50 mg/Kg) que corresponde al AMD, Aluminio (Al) solo presento valores por encima del AMD en la estación Tv-01, Tv-03, Tv-07, Tv-09, Tv-10, Tv-12, Tv-13 y Tv-16 (> 50 mg/Kg), Seguido de Arsénico (As) en la estación Tv-01 con un valor de (> 20 mg/Kg), Cobre (Cu) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 y Tv-12 con (> 50 mg/Kg), Estroncio (Sr) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 Tv-02, Tv-04, Tv-08, Tv-12 y Tv-16 con (> 20.0 mg/Kg), Finalmente Zinc (Zn) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 Tv-04, Tv-08, Tv-10, Tv-12 y Tv-15 con (> 50. mg/Kg).

Todas los demás parámetros de metales evaluación presentaron valores dentro del rango. Tal como se puede observar en el cuadro anterior. A continuación, se muestra el coeficiente de regresión Lineal Simple de la concentración de metales en tejido vegetal en plantas terrestres y la concentración de metales en suelo

Tabla 3.- Coeficiente de regresión lineal plantas terrestres – suelo

ELEMENTO	R ²
Arsénico (As)	61.0
Mercurio (Hg)	0.0
Bario (Ba)	0.0
Cadmio (Cd)	0.0
Cromo (Cr)	0.0
Plomo (Pb)	0.0

De acuerdo a los resultados se tiene que existe una relación lineal y estadísticamente significativa entre las concentraciones de Arsénico (As) de los suelos y las plantas terrestres (R²=61 %), por cuanto una mayor concentración de Arsénico en suelos traerá consigo una mayor concentración de Arsénico en el tejido vegetal de plantas terrestres. Todos los demás elementos no presentan una correlación lo que indica que la composición de las plantas terrestre es independiente de su entorno.

Cabe indicar que el Arsénico se encuentra presentes en elevadas concentraciones en los resultados de suelo, de forma tal que se incrementa su disponibilidad y su capacidad de poder ser acumulados.

Finalmente, el resto de elementos evaluados no presentaron regresiones estadísticamente significativas que indiquen la existencia de relaciones entre las concentraciones de metales de ambas muestras.

3.2 Criterios de comparación

Debido a que en Perú no se cuenta con estándares nacionales de calidad ambiental para metales en tejidos vegetales, que establezcan los valores máximos permitidos de contaminantes en el entornos de pasivos mineros; por tal motivo, además de la Regresión Lineal para plantas terrestre se ha realizado comparaciones basadas en lo establecido por la Association of American Feed Control Officials (AAFCO, 1996), así como lo establecido por Unión Europea (1988) para 2 especies vegetales (Tv-1, Tv-02, Tv-08, Tv-12 y Tv-16 *Trifolium repens*, (familia Fabaceae), mientras que (Tv-03, Tv-04, Tv-05, Tv-06, Tv-07 y Tv-09, Tv-10, Tv-11, Tv-13, Tv-14 y Tv-15 *Calamagrostis sp* de la (familia Poaceae) el cual fija valores máximos para metales pesados en alimentación animal.

La AAFCO (1996) americana clasifica los metales en altamente tóxicos, tóxicos, moderadamente tóxicos y ligeramente tóxicos y da unos valores máximos recomendables (Tabla 4), y que son en general bastante elevados.

Tabla 4.- Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentos animales (AAFCO, 1996)

Categoría	Metal	Nivel máximo (mg/kg)
Altamente tóxico	- Cadmio	10
	- Mercurio	
	- Selenio	
Tóxico	- Bario	40
	- Cobalto	
	- Cobre	
	- Plomo	
	- Molibdeno	
	- Tungsteno	
	- Vanadio	
Moderadamente toxico	- Antimonio	400
	- Arsénico	
	- Yodo	
	- Níquel	
Ligeramente tóxico	- Aluminio	1 000
	- Boro	
	- Bromo	
	- Bismuto	
	- Cromo	
	- Manganeso	
	- Zinc	

Y la unión europea existe una legislación que fija valores máximos para metales pesados en alimentación animal. En España está recogida en el Real Decreto 747/2001 de 29 de junio, y cuyos valores resumidos para piensos completos se

muestran en la Tabla 5. Para materias primas y piensos complementarios los valores varían ligeramente.

Tabla 5.- Niveles máximos de metales pesados en piensos completos (Orden 11 octubre de 1988)

Metal	Contenido Máximo (mg/Kg)
Arsénico	2
Plomo	5
Flúor	100 - 350
Mercurio	0.1
Cadmio	0.5 - 1.0

Frente a esta situación se decidió realizar estas comparaciones usando el estándar de calidad internacional para especies consideradas como palatables para el ganado, por lo tanto, de las estaciones de evaluación para plantas terrestre, 16 estaciones (Tv-01 al Tv-16) se registraron especies consideradas como palatables.

Por otro lado, se indican los resultados de las concentraciones de seis (6) metales pesados considerados tradicionalmente por sus efectos tóxicos en tejido vegetal: (arsénico, cobre, cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc), en muestras obtenidas en las áreas de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, y comparar sus

resultados con los límites máximo establecidos por la AAFCO (1996). Y la unión europea (1998).

la vegetación terrestre de las especies *Trifolium repens* "trébol" y *Calamagrostis sp.* "ichu".

4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de metales pesados en el tejido de

Tabla 6 Concentración de metales (mg/kg) en el tejido vegetal terrestre.

Estaciones	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Cadmio (Cd)	Mercurio (Hg)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)
TV-01	0	0	0,393	0,04	14	0
TV-02	1,1	9,7	0,095	0	0,418	38
TV-03	3	11	0,02	0,02	1,12	17
TV-04	3,5	22	0,179	0	1,33	0
TV-05	1,3	10	0,118	0,57	0,624	24
TV-06	0,51	8,3	0,303	0	0,448	39
TV-07	4,2	11	0,047	0	1,18	24
TV-08	0,44	10	0,438	0	0,554	0
TV-09	5,2	10	0,039	0	1,57	31
TV-10	0,96	12	0,125	0	1,48	0
TV-11	0,97	5	0,105	0	0,603	24
TV-12	13	0	0,401	0	8,75	0
TV-13	0,6	4,9	0,018	0	0,706	12
TV-14	0,73	5,3	0,051	0	1,03	22
TV-15	0,61	6,1	0,518	0	0,877	0
TV-16	4,4	17	0,228	0	2,91	49
Rango mg/kg	0,030 - 20,0	0,03 - 50	0,010 - 20,0	0,01 - 5,0	0,010 - 20,0	0,50 - 50

Arsénico (AS).

Las concentraciones del arsénico (As) en muestras de tejido vegetal obtenidas en las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,030 - 20,0 mg/kg) corresponde al AMD del método analítico empleado por el laboratorio, tal como se observa en la Tabla 6, Además, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (400 mg/kg). Este resultado evidencia que las concentraciones de arsénico (As) encontradas en las especies palatables *Trifolium repens*, (familia Fabaceae) y *Calamagrostis sp.* de la (familia Poaceae) registrado en la estaciones no constituye peligro ni riesgo toxico para el ganado o especies silvestres locales al encontrarse estas

concentraciones dentro de lo permitido por la AAFCO (1996). Sin embargo, estos valores comparados con la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) evidencian que las concentraciones de (As) encontradas en la estación Tv-01, Tv-03, Tv-04 y Tv-07, Tv-09, Tv-12 y Tv-16 se encuentran por encima del contenido máximo permitido (2mg/kg) con (>20 mg/kg), (3mg/kg), (3.5 mg/kg) (4.2 mg/kg), (5.2 mg/kg), (3.5 mg/kg) (13 mg/kg) y (4.4 mg/kg) respectivamente este incremento de concentración posiblemente se deba a la presencia de Pasivos Ambientales Mineros con códigos (BC-7733, DM-7698, TJ-7693, BC-7701, DM-14348, DM-143.92 entre otras) sin embargo este valor es mucho menor que la concentración máxima de la AAFCO (400 mg/kg). Tal como se observa en la Tabla 6.

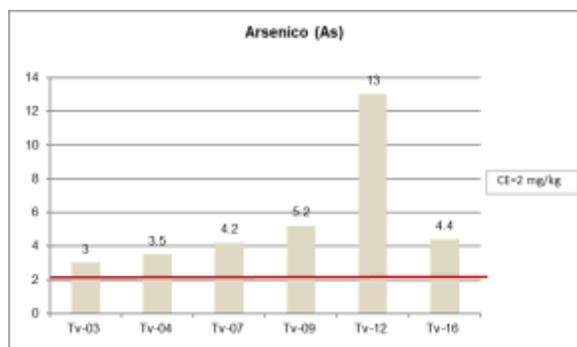


Figura 1 Concentración de Arsénico en las estaciones evaluadas

Cadmio (Cd)

Las concentraciones del cadmio (Cd) en muestras de tejido vegetal obtenidas en la totalidad de las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,010 - 20,0mg/kg) corresponde al AMD del método analítico empleado por el laboratorio, en cuanto a las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (0,5 a1.0 mg/kg Real Decreto 747/2001. España), se obtuvieron valores por debajo de la concentración máxima establecidas, por otro lado los límites máximos de la AAFCO (10 mg/kg) (1996), todas las estaciones estuvieron por debajo de la concentración máxima. Lo cual indicaría que las concentraciones cadmio no ocasionarían efectos adversos biológicos a la biota terrestre. Tal como se observa en la siguiente figura.

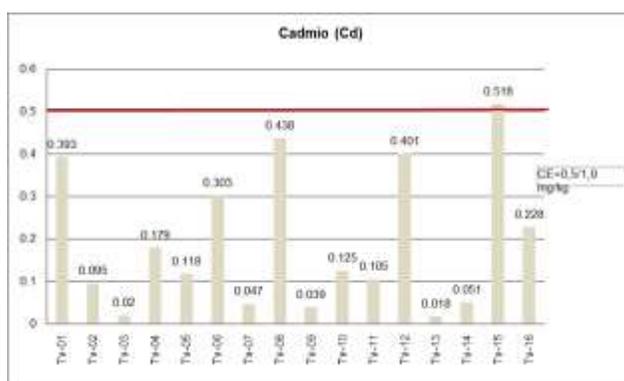


Figura 2 Concentración de Cadmio en las estaciones evaluadas

Cobre (Cu)

Las concentraciones del Cobre (Cu) en muestras de tejido vegetal obtenidas en las estaciones (PT-1, PT-2 y PT-4) de muestreo en el área de

influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,03 – 50 mg/kg) corresponde al AMD del método analítico empleado por el laboratorio, Sin embargo, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (40 mg/kg), a excepción de las estaciones Tv-01 y Tv-12 que presenta valores > 50 mg/kg

Este resultado evidencia que las concentraciones de (Cu) encontradas en las especies palatables *Trifolium repens*, (Familia Fabaceae) registrado en la estación (Tv-01 al Tv-12) podrían constituir peligro y riesgo toxico para el ganado o especies silvestres locales al encontrarse estas concentraciones por encima de lo permitido por la AAFCO (1996). Sin embargo, la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) no establece límites máximos de concentración referidos a este metal.

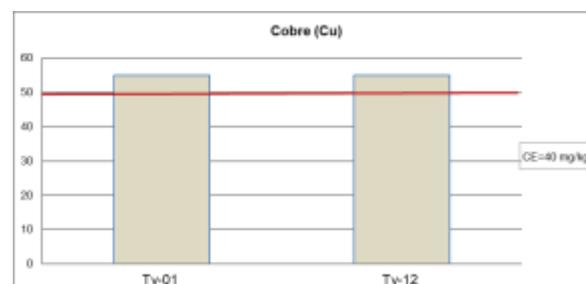


Figura 3 Concentración de Cobre en las estaciones evaluadas

Mercurio (Hg)

Las concentraciones del mercurio (Hg) en muestras de tejido vegetal obtenidas en las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, la mayoría se encuentran por debajo de límite de cuantificación o no detectable sin embargo la estación Tv-01, Tv-03 y Tv-05 arroja valores de concentración dentro del rango. (0,01 – 5.0 mg/kg) corresponde al AMD, por lo tanto las concentraciones del mercurio (Hg) en muestras de tejido vegetal obtenidas en la totalidad de las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, arrojan valores por debajo de las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (0,1 mg/kg. Real Decreto 747/2001. España), así como los límites máximos de la AAFCO (10 mg/kg) (1996). Por lo tanto, estas concentraciones probablemente no

ocasionarían efectos biológicos adversos a la biota terrestre:

Plomo (Pb).

Al respecto las concentraciones de plomo (Pb) en muestras de tejido vegetal obtenidas en las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, todas las estaciones arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,010 – 20.0 mg/kg) corresponde al AMD, en cuanto a las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (5,0 mg/kg. Real Decreto 747/2001. España), se observa un incremento de concentración en la estación de muestreo Tv-01 y Tv-12 con (14 mg/kg) y (8.75 mg/kg) respectivamente esto posiblemente se deba a que el uso del suelo es de tipo minero y de acuerdo a las condiciones geológicas de la zona estarían conformados por rocas sedimentarias y rocas ígneas acidas, que pueden contener Cu, Pb Zn , por otro lado de las estaciones evaluadas ninguna estaría superando a los límites máximos que establece la AAFCO (40,0 mg/kg) (1996), Tal como se observa en la Tabla 6 es importante indicar estos valores son referenciales por lo que no podemos asegurar si existe efecto biológico adversos a la biota terrestre en la zona por lo que se sugiere hacer seguimientos e investigación.

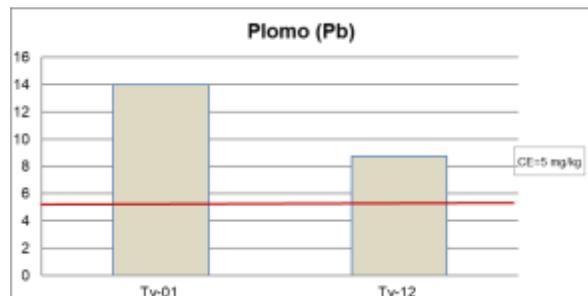


Figura 4 Concentración de Plomo en las estaciones evaluadas

Zinc (Zn)

Las concentraciones del Zinc (Zn) en muestras de tejido vegetal obtenidas en las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, arrojan valores de concentración por encima del rango (0,50 – 50 mg/kg) en las estaciones (Tv-01, Tv-04, T-08, Tv-10 y Tv-12 y Tv-15) corresponde al AMD del método analítico empleado por el laboratorio, Sin embargo, estos valores se encuentran por debajo

de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (1 000 mg/kg),

Este resultado evidencia que las concentraciones de Zinc (Zn) encontradas en las especies palatables *Trifolium repens*, (Familia Fabaceae) y *Calamagrostis sp* de la (Familia Poaceae) no constituye peligro ni riesgo toxico para el ganado o especies silvestres locales al encontrarse estas concentraciones muy por debajo de lo permitido por la AAFCO (1996). Sin embargo, la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) no establece límites máximos de concentración referidos a este metal.

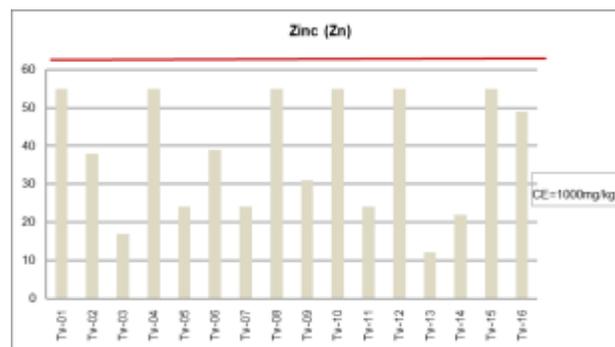


Figura 5 Concentración de Zinc en las estaciones evaluadas

Se puede observar que las estaciones evaluadas presentan concentraciones de Zinc con niveles bajos lo cual se deduce que estas concentraciones no ocasionarían efectos adversos a la biota acuática ni terrestre especifica mente a las especies palatables consumidas por el ganado.

5. CONCLUSION

- En el caso del tejido vegetal terrestre, no se evidenciaron relaciones fuertes con las concentraciones de metales del suelo. Estos resultados podrían deberse a muchos factores, por lo que se debe tener en cuenta que la toxicidad de los metales no depende solamente de su concentración total.
- Berilio (Be), Molibdeno (Mo), Plata (Ag) y Selenio (Se), se encuentran ausentes o no detectables en el tejido vegetal de las plantas terrestres evaluadas
- Mercurio (Hg), ausente y no detectables, solo en las estaciones Tv-02, Tv-04, Tv-06, al Tv-16, mientras que en la estación Tv-01, Tv-03 y Tv-05 registro valores de 0.04, 0.02 y 0.57 mg/kg respectivamente, cuyos

valores están dentro del rango el cual corresponde al AMD.

- Antimonio (Sb) ausente o no detectable, solo en las estaciones Tv-02, Tv-06, Tv-08, Tv-10, Tv-13 y Tv-14 mientras las demás estaciones presentaron valores dentro del rango el cual corresponde al AMD (0.01 - 20 mg/Kg).
- Las concentraciones del Cobalto (Co) en muestras de tejido vegetal obtenidas en la totalidad de las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros arroja valores dentro del rango (0.01 – 20.0 mg/kg) a excepción de las estaciones Tv-02, Tv-13 y Tv-14 se encuentran como no detectables
- Litio (Li) en la mayoría de las estaciones evaluadas presenta valores dentro del rango (0.050 – 20.0 mg/kg) a excepción de las estaciones Tv-05, Tv-06, Tv-10, Tv-11 y Tv-14 se encuentran como no detectables.
- Hierro (Fe) todas las estaciones presento valores por encima del rango (0.2 - 50 mg/Kg) que corresponde al AMD.
- Cobre (Cu) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 y Tv-12 con (> 50 mg/Kg), Estroncio (Sr) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 Tv-02, Tv-04, Tv-08, Tv-12 y Tv-16 con (> 20.0 mg/Kg).
- Zinc (Zn) presento valores por encima del AMD en las estaciones Tv-01 Tv-04, Tv-08, Tv-10, Tv-12 y Tv-15 con (> 50. mg/Kg).
- Existe una relación lineal y estadísticamente significativa entre las concentraciones de Arsénico (As) de los suelos y las plantas terrestres ($R^2=61\%$), por cuanto una mayor concentración de Arsénico en suelos traerá consigo una mayor concentración de Arsénico en el tejido vegetal de plantas terrestres
- Los demás elementos no presentan una correlación lo que indica que la composición de las plantas terrestre es independiente de su entorno.
- Las concentraciones del arsénico (As) en muestras de tejido vegeta arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,030 - 20,0 mg/kg) que corresponde al AMD

además, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (400 mg/kg).

- Sin embargo, estos valores comparados con la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) evidencian que las concentraciones de (As) encontradas en la estación Tv-01, Tv-03, Tv-04 y Tv-07, Tv-09, Tv-12 y Tv-16 se encuentran por encima del contenido máximo permitido (2mg/kg).
- Las concentraciones del cadmio (Cd) en muestras de tejido vegetal obtenidas en la totalidad de las estaciones de muestreo en el área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,010 - 20,0mg/kg) corresponde al AMD en cuanto a las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (0,5 a 1.0 mg/kg Real Decreto 747/2001. España), se obtuvieron valores por debajo de la concentración máxima establecidas, por otro lado los límites máximos de la AAFCO (10 mg/kg) (1996), todas las estaciones estuvieron por debajo de la concentración máxima.
- Los valores del cobre (Cu) se encuentran por debajo de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (40 mg/kg), a excepción de las estaciones Tv-01 y Tv-12 que presenta valores > 50 mg/kg, Sin embargo, la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) no establece límites máximos de concentración referidos a este metal.
- La concentración de Mercurio (Hg) la mayoría se encuentran por debajo de límite de cuantificación o no detectable sin embargo la estación Tv-01, Tv-03 y Tv-05 arroja valores de concentración dentro del rango. (0,01 – 5.0 mg/kg) corresponde al AMD, sin embargo estos se encuentran por debajo de las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (0,1 mg/kg. Real Decreto 747/2001. España), así como los límites máximos de la AAFCO (10 mg/kg) (1996).
- Las concentraciones de plomo (Pb) arrojan valores de concentración dentro del rango. (0,010 – 20.0 mg/kg) corresponde al AMD

sin embargo en cuanto a las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (5,0 mg/kg. Real Decreto 747/2001. España), se observa un incremento de concentración en la estación de muestreo Tv-01 y Tv-12 con (14 mg/kg) y (8.75 mg/kg) respectivamente, por otro lado de las estaciones evaluadas ninguna estaría superando a los límites máximos que establece la AAFCO (40,0 mg/kg) (1996).

- Las concentraciones del Zinc (Zn) arrojan valores de concentración por encima del rango (0,50 – 50 mg/kg) en las estaciones (Tv-01, Tv-04, T-08, Tv-10 y Tv-12 y Tv-15) corresponde al AMD del método analítico empleado por el laboratorio, Sin embargo, estos valores se encuentran por debajo de la concentración máxima permitidas por la AAFCO (1 000 mg/kg), la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) no establece límites máximos de concentración referidos a este metal.

REFERENCIAS

AAFCO. (1996) 'Association of American Feed Control Officials', *Official Publication*. pp. 230.

Baker, A.J.M. (1981) 'Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrition', *Department of Botany, University of Sheffield, S. Yorkshire, ZTN, U.K.* pp. 643-654.

Barceló, J. y Poschenrieder, C. (2003) 'Phytoremediation: principles and perspectives. Contributions to Science', *Institut d'Estudis Catalans, Barcelona*, pp. 333-344.

Corinne P. Rooney, Fang-Jie Zhao, Steve P. McGrath. (2006) 'Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil

properties, Ni solubility and speciation', *Environmental Pollution* pp. 596-605.

Fernandez, Leborans, G. and Olalla-Herrero, Y. (2000) 'Toxicity and bioaccumulation of lead and cadmium in marine protozoa communities' *Ecotoxicol. and Environ. Saf.* 47: 266-276.

Kataba-Pendias, A. (2000) 'Trace elements in soils and plants', Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 413.

Lasat MM. (2000) 'The use of plants for the renewal of toxic metals from contaminated soil', *American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow*, pp. 33.

Moral, R., Palacios, G., Gómez, I., Navarro, J. and Mataix, J. (1994) 'Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plant', *Fresenius Environmental Bulletin*. pp. 395-399.

Ministerio de Salud del Perú. (2007) 'Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales', aprobado mediante Resolución Directoral N° 2254-2007-DIGESA/SA de Perú. pp. 8.

Ministerio de Medio Ambiente de España. (2005) 'Protocolos de muestreo y análisis para Macrófitos'. pp. 26.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (2001). Real Decreto 747, donde se establecen las sustancias y productos indeseables en la alimentación animal. Anexo I.

Artículo recibido en: 09.06.2021

Artículo aceptado: 05.07.2021