

## USO DE *SALICORNIA SP.* EN LA FITORREMEDIACIÓN DE RELAVES

SEPÚLVEDA, B.A.<sup>1</sup>, PAVEZ O.<sup>2</sup>, TAPIA M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama – CRIDESAT.

<sup>2</sup>Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama y Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama – CRIDESAT.

<sup>3</sup>Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama. Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile.  
antonio.sepulveda@cridesat.cl

### RESUMEN

Se evaluó el uso de plantas de *Salicornia sp.* en la absorción de metales pesados desde relaves, para ello se estudió el comportamiento de esta especie en macetas conteniendo relave, a escala de laboratorio. Los resultados muestran que *Salicornia sp.* absorbe principalmente Fe, Cu y Mn, aparentemente sin presentar problemas. Para complementar este trabajo, se analizó plantas de salicornia creciendo en el relave que cubre la playa de la Bahía de Chañaral (Región de Atacama, Chile), confirmándose que esta especie resiste ese ambiente. Se concluye que *Salicornia sp.* puede ser usada en la fitorremediación de relaves y suelos contaminados.

**PALABRAS CLAVES:** relaves; *Salicornia sp.*; fitorremediación; metales pesados.

### ABSTRACT

The use of *Salicornia sp.* plants to biosorption of heavy metals from tailings was evaluated. For this goal, the behavior of this specie in pots containing tailings was studied at laboratory scale. The results showed that *Salicornia sp.* mainly absorbed Fe, Cu and Mn, apparently with no physiological problems. To complete this work, salicornia plants growing in the tailing that actually cover the Chañaral Bay (Atacama Region, Chile), showing that the studied specie is resistant to this environment. It was concluded that *Salicornia sp.* can be used in fitorremediación of tailings and contaminates soils.

**KEYWORDS:** tailings; *Salicornia sp.*; phytoremediation; heavy metals.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de concentración de minerales generan grandes cantidades de relave, los que contienen metales pesados y metaloides. Estos residuos mineros pueden producir en los ecosistemas importantes problemas ambientales (Ginocchio 1996, Ginocchio and Baker 2004, Gercman 2005, Cornejo *et al.*, 2008, Montenegro *et al.*, 2009).

Los tranques de relave que contienen estos residuos presentan una textura arenosa-limosa y escasa materia orgánica (Cornejo *et al.*, 2008, Montenegro *et al.*, 2009). Las arenas de relave son un sustrato desfavorable para el desarrollo de vegetación (Lambers *et al.*, 1998). Sin embargo, hay un lento proceso de revegetación natural que indica la existencia de mecanismos biológicos de resistencia a la toxicidad para la colonización de estas áreas (Lambers *et al.*, 1998, Reeves 2003, Ginocchio and Baker, 2004, Iannacone and Alvaríño 2005, Reeves and Baker 2000), nominándose este tipo de plantas como metalófilas; estas plantas pueden acumular metales en sus tejidos, en concentración superior a la de otras (Lasat 2002, Reeves 2003); denominándose hiperacumuladoras (Reeves 2003) cuando se comprueba en las plantas traslocación de elementos al follaje, acumulándose allí de metales en mayor concentración y el desarrollo de mecanismos para secuestrar los metales en sus tejidos.

Las plantas metalófilas son un recurso genético importante (Lasat 2002, Reeves 2003) ya que en Chile hay abundancia y diversidad de yacimientos minerales metálicos, sin embargo, se han descrito pocas especies hiperacumuladoras. En Chile, por ejemplo, se ha evaluado 54 especies nativas y el 63% de ellas son tolerantes al Cu (Ginocchio and Baker 2004).

La Región de Atacama, se caracteriza por presentar una gran cantidad de minas y tranques de relaves que afectan a la flora local y nativa de los ecosistemas. Es por ello, que se torna interesante encontrar especies vegetales locales tolerantes y/o resistentes a metales pesados y otros contaminantes mineros.

Sepúlveda *et al.* (2012) comprobaron que la especie silvestre halófila de Copiapó-Atacama llamada *Salicornia* (*Sarcocornia neei?*) es capaz de crecer en relaves y llegar a acumular altos niveles de metales pesados sin sufrir fitotoxicidad. Esta especie es un buen prospecto para ser usada en trabajos de fitoestabilización y rehabilitación de suelos contaminados y salinos.

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el comportamiento de especies de *salicornia* en relave y su capacidad como fitoextractora de elementos químicos, para su uso en la fitorremediación de estos pasivos ambientales mineros.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Obtención de la muestra de relave

La muestra de relave que se usó en los ensayos de laboratorio se obtuvo de un depósito ubicado a orillas del río Copiapó en la Región de Atacama. Posteriormente, la muestra se disgregó en un tamiz de 18 mallas, con el fin de obtener una granulometría adecuada para su utilización como sustrato en las pruebas de plantación de *salicornia*.

## **2.2. Caracterización química de la muestra de relave**

La muestra de relave se caracterizó químicamente para conocer los elementos contenidos y la concentración de éstos. Los análisis químicos fueron realizados en el IDICTEC de la Universidad de Atacama.

## **2.3. Determinación de elementos químicos en ejemplares de salicornia creciendo en relave**

Se obtuvo plantas de tres pulgadas (esquejes) de ramas de salicornia, enraizadas en arena de playa. Este material se usó posteriormente en los ensayos de laboratorio para la captura de elementos químicos desde el relave. En macetas con relave se trasplantaron ejemplares de salicornia, las que se mantuvieron en una humedad relativa del relave superior a 50% y creciendo en condiciones normales de temperatura (14 a 25 °C). Luego de un periodo de tiempo de crecimiento se obtuvieron muestras aleatorias de estas plantas, las que se secaron por algunos días. Posteriormente, las muestras se enviaron para análisis al laboratorio para la determinación de la concentración de elementos químicos presentes en las plantas. En la figura 1 se presenta un registro fotográfico de los ejemplares de salicornia (esquejes) trasplantados y creciendo en macetas de relave en los ensayos de laboratorio.



**Figura 1. Ejemplares de salicornia (esquejes) trasplantados en macetas de relaves en los ensayos de laboratorio.**

## 2.4. Obtención de muestras de relave y plantas de salicornia en la playa de la Bahía de Chañaral, Región de Atacama, Chile

Se visitó la playa de la Bahía de Chañaral, la cual está cubierta en su totalidad por relave de cobre, y en el sector sur de la playa se tomaron muestras de plantas de salicornia para análisis y observación de estas especies vegetales.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla I se muestra el análisis químico del relave utilizado en los ensayos de laboratorio. Se observa que el relave presenta una muy alta concentración de Fe, así como cantidades apreciables de Cu y Mn.

**Tabla I. Análisis químico de la muestra de relave utilizada en los ensayos de laboratorio.**

Elementos químicos	Cu	Fe	Mn	Mo	As	Hg	Cd
Concentración (g/t)	946	249000	185	15,6	<12,5	0,3	<0,5

En relación a los elementos químicos absorbidos por las plantas de salicornia en los ensayos de laboratorio, se determinó la concentración de Cu, Fe, Mo, As, Mn, Hg y Cd. En la tabla II se presentan las concentraciones de los elementos químicos que fueron absorbidos en las plantas de salicornia, encontrándose que los que los elementos que se absorbieron en mayor cantidad fueron Fe, Cu y Mn, y en menor proporción Mo, As, Hg y Cd.

**Tabla II. Elementos químicos absorbidos por las plantas de salicornia utilizadas en los ensayos de laboratorio.**

Elementos químicos	Cu	Fe	Mn	Mo	As	Hg	Cd
Concentración (mg/kg ps)	182,6	4557,9	135,6	<5	2,84	0,49	<0,25

De los resultados obtenidos se aprecia que las plantas de salicornia acumulan diferentes tipos de elementos químicos, destacándose el Fe, Cu y Mn que alcanzan alrededor del 99,8% de la absorción total de elementos químicos absorbidos por la salicornia. Sin embargo, debe señalarse que los valores de absorción alcanzados para Fe y Cu no parecen interesantes para una posible aplicación de plantas de salicornia en la fitominería de estos elementos. Sin embargo para Mn y Hg, se observa que las plantas podrían absorber un porcentaje elevado de estos elementos existentes en el relave. Estos resultados muestran que salicornia es una planta ferrofila, y que tiene un interesante potencial de absorción de Mn.

Los autores de este trabajo, en el proyecto FIC-SALI 2012 del GORE Atacama, han registrado salicornia creciendo en el relave que cubre la totalidad de la playa de la Bahía de Chañaral. El análisis y observación en terreno de las especies vegetales permitió confirmar que las plantas no presentan problemas fisiológicos, observándose una población de especie en expansión. La exitosa presencia y crecimiento de salicornia en Chañaral confirma en terreno la utilidad de ella para fines de fitorremediación. En la figura 2 se presenta un registro fotográfico de especies de salicornia que crecen en el relave de la playa y de plantas que fueron recolectadas en el lugar.

Análisis químicos de los relaves del litoral de Chañaral, han indicado la presencia de cobre, hierro, arsénico, zinc, cianuro, plomo, aluminio, mercurio, molibdeno, níquel y otros metales pesados. Andrade *et al.* (2006) señalan que la costa de todo el sector de Chañaral es una de las zonas más altamente contaminadas con cobre en el mundo, debido a la descarga de relaves por más de 60 años (Bahía de Chañaral y Caleta Palito). Wisskirchen and Dold, 2006, informaron concentraciones relevantes de metales pesados y arsénico en los relaves de Chañaral, en mg/kg: Cu (1000-24100), Zn (24-223), Níquel (5-370), Pb (3-26), Mo (19-186), As (30-281). Según estos autores, el mar de todo ese sector fue afectado principalmente por As, Mo, Cu y Zn, contaminación producida vía infiltración; mientras que la población de Chañaral ha estado expuesta principalmente a contaminación vía transporte eólico de Cu, Ni y Zn. En este contexto, la población estaría expuesta a altas concentraciones de Cu y en menor cantidad a Ni y Zn (Wisskirchen and Dold, 2005).



Figura 2. Salicornia (a) Creciendo en el relave de cobre de la playa de la Bahía de Chañaral (Chile), (b) Plantas colectadas en Agosto 2012, mantenidas en relave y (c) Las mismas plantas en Enero 2013.

#### 4. CONCLUSIONES

El relave utilizado en los ensayos de laboratorio presentó los elementos químicos: Cu, Fe, Mn, Mo, As, Hg y Cd. La salicornia absorbió principalmente Fe, Cu y Mn y en menor grado los otros elementos. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio mostraron que la salicornia parece ser adecuada para la fitoextracción de elementos químicos desde relaves con fines de fitorremediación, ya que esta planta se adapta y resiste bien su crecimiento en estos pasivos ambientales mineros. Para complementar el estudio, se visitó y se hizo un registro fotográfico de

plantas de salicornia que crecen sin problemas fisiológicos en el relave de cobre de la Bahía de Chañaral.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CRIDESAT de la Universidad de Atacama y al proyecto del Fondo de Innovación Competitiva FIC-SALI 2012 “Cultivo de *Salicornia* sp. a partir de ecotipos silvestres, en el borde costero de la Región de Atacama”, financiado por el Gobierno Regional de Atacama, por el apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

## 6. REFERENCIAS

ANDRADE, S., MOFFETT, J., CORREA, J.A., Distribution of dissolved species and suspended particulate copper in an intertidal ecosystem affected by copper mine tailings in Northern Chile. *Marine Chemistry*, n. 101, p. 203-212, 2006.

CORNEJO, P., MEIER, S., BORIE, F. *Gestión Ambiental*, n. 16, p. 13-26, 2008.

GERCMAN, H. *Geophysical Research Abstracts*, n. 7, p. 11-17, 2005.

GINOCCHIO, R. *Revista Chilena de Historia Natural* n. 69, p. 413-424, 1996.

GINOCCHIO, R., BAKER, A. *Revista Chilena de Historia Natural*, n. 77, p. 185-194, 2004.

IANNACONE, J., ALVARIÑO, L. *Agricultura Técnica*, v. 65, n. 2, p. 198-203, 2005.

LAMBERS, H., CHAPIN III, F.S., PONS, T.L. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York, USA. 540 pp., 1998.

LASAT, M.M. *J Environm. Quality*, n. 31, p. 109-120, 2002.

MONTENEGRO, G., FREDES, C., MEJÍAS, E., BONOMELLI, C., OLIVARES, L. *Agrociencia*, n. 43, p. 427-435, 2009.

REEVES, R.D., BAKER, A. Metal accumulating plants. in I.Raskin and B. Ensley, Eds. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. Wiley and Sons, New York, p 193–229, 2000.

REEVES, R.D. *Plant and Soil*, n. 249, p. 57-65, 2003.

SEPÚLVEDA, B.A., PAVEZ, O., TAPIA, M. Fitoextracción de metales pesados desde relaves utilizando plantas de salicornia. SAM/CONAMET 2012, 22-26 octubre 2012, Valparaíso, Chile, 2012.

WISSKIRCHEN, C., DOLD, B. Hydrogeochemistry of the marine shore porphyry copper tailings deposit at Chañaral, Atacama desert, Northern Chile. 3<sup>rd</sup>. Swiss Geoscience Meeting, Zurich, 2005.

WISSKIRCHEN, C., DOLD, B. The marine shore porphyry copper mine tailings deposit at Chañaral, Northern Chile. 7<sup>th</sup> Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), march 26-30, 2006, St. Louis MO, p. 2480-2489, 2006.