

FITOEEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS DESDE RELAVES UTILIZANDO PLANTAS DE *Salicornia* sp.

B.A. Sepúlveda¹, O. Pavez², M. Tapia³

¹Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama – CRIDESAT. Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile.

²Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama y Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama – CRIDESAT. Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile.

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

RESUMEN

En zonas contaminadas con relave se pueden usar plantas que absorben y concentran metales pesados (MP) en sus tejidos (fitoextracción). El uso de *Sarcocornia neri* (salicornia) se evaluó para absorción de MP desde relave, encontrándose que esta planta pudo desarrollarse en relave con crecimiento 39,1% menor que en arena, pero similar a la mezcla relave-arena; se consideró que el crecimiento de salicornia en relave fue satisfactorio para el estudio. En el relave se determinó Cu, Fe, Mn, Mo, As Hg y Cd. Salicornia absorbió mayormente Fe, Cu y Mn. Para el caso de Mn y Hg una tonelada de plantas podría, teóricamente, absorber el 73% y 100%, respectivamente, de los elementos existentes en una tonelada de relave. La absorción para Fe y Cu no fue interesante para una posible aplicación de plantas de salicornia en fitominería, sin embargo estos resultados muestran que esta especie parece ser adecuada para la fitoextracción desde relaves.

Palabras claves: Relaves, fitoextracción, *Salicornia*, metales pesados.

ABSTRACT

In contaminated areas with tailings, plants that absorb and concentrate heavy metals in their tissues or phytoextraction can be used. *Salicornia* sp. was evaluated to absorb HM from tailings. This plant might develop in tailings growing at 39.1% less than growth in sand; the growth in tailings-sand mixture was similar than in tailing; the growth of salicornia in tailings was satisfactory for this study. In tailings Cu, Fe, Mn, Mo, As, Hg and Cd were determined. Salicornia absorbed mostly Fe, Cu and Mn. For Mn and Hg a ton of plants, theoretically, could absorb 73% and 100% the concentration of these elements in one ton of tailings. The absorption for Fe and Cu for possible application of salicornia in phytomining was not interesting, however, these results show that this plant appears to be suitable for phytoextraction from tailings.

Keywords: Tailings, phytoextraction, *Salicornia*, heavy metals.

1. INTRODUCCIÓN

La actividad minera genera residuos como depósitos de relave, conteniendo metales pesados y metaloides. Estos residuos pueden ingresar al ecosistema, pudiendo traducirse en importantes problemas ambientales [1, 2, 3, 4, 5].

Los tranques de relave carecen de estructura, como un suelo, por tener textura arenosa-limosa y escasa materia orgánica [4, 5]. Las arenas de relave son un sustrato desfavorable para el desarrollo de vegetación [6]. 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 [2, 6, 7, 8, 9], nominándose este tipo de plantas como metalófilas; estas plantas pueden acumular metales en sus tejidos, en concentración superior a la de otras [7, 10]; denominándose hiperacumuladoras [7] cuando se comprueba traslocación de elementos al follaje y se acumula allí en mayor concentración y habiendo desarrollado mecanismos para secuestrar los metales en sus tejidos.

Las plantas metalófilas pueden ser endémicas de zonas con suelos metálicos y zonas mineras; otras especies son ecotipos ocupando nichos enriquecidos con metales pesados. Las plantas metalófilas son un recurso genético importante [7, 10] ya que en Chile hay abundancia y diversidad de yacimientos minerales metálicos; pero, se ha descrito pocas especies hiperacumuladoras. Se ha identificado cerca de 400 especies metalófitas [7, 11], básicamente en países como Nueva Caledonia, Filipinas, Brasil y Cuba. En Chile se ha evaluado 54 especies nativas y 63% de ellas son tolerantes al Cu [2].

Atacama es una región con gran cantidad de minas, por ejemplo de Fe, Au, Ag, Cu, and otras; afectando a la flora local y nativa, luego se espera encontrar algunas especies locales tolerantes y/o resistentes a metales pesados ya otros contaminantes mineros. Todas las plantas tienen potencial para absorber amplia variedad de metales del sustrato; pero, la mayor parte de ellas solamente absorben lo que es esencial.

Naturalmente, hay un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar alto nivel de algunos metales, llamada hiperacumuladoras. Este último concepto se define como plantas que pueden concentrar un metal (elemento) específico entre 1000 y 10000 mg/kg (0.1% a 1% del peso seco) dependiendo del elemento inorgánico específico [12, 13]. Sepúlveda (Proyecto PAM CRIDESAT-UDA 2011, publicación en preparación y Proyecto FIC-SALI 2012, en curso), ha comprobado que la especie silvestre halófito de Copiapó-Atacama *Salicornia* sp. (nombre común salicornia) es capaz de crecer en relaves puros y llega a acumular altos niveles de componentes como Cu, Hg, Pb y As sin sufrir fitotoxicidad. Esta especie es un buen prospecto para ser usada en trabajos de fitoestabilización y rehabilitación de suelos contaminados y salinos. Por otra parte, lo anterior muestra que las hiperacumuladoras representan, a la vez, un recurso de extracción de componentes en trazas que podría ser importante en diferentes aplicaciones como la remediación, la fitominería, entre otros.

Este estudio tiene por objetivo evaluar la capacidad de *Salicornia* sp. como fitoextractora de elementos desde relave; elementos que se consideren importantes o con valor agregado, para determinar preliminarmente su potencial como recurso natural.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Obtención de la Muestra de Relave

El relave utilizado en este trabajo se obtuvo de las orillas del río Copiapó, a un costado de la Universidad de Atacama. La muestra de relave que se usó en los ensayos de laboratorio se obtuvo aplicando la técnica de cono y cuarteo. En el laboratorio, la muestra se utilizó como sustrato para las pruebas de plantación de salicornia.

2.2. Caracterización Química del 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. Crecimiento de Semillas de Salicornia Plantadas en Relave

La muestra de relave se disgregó en un tamiz de 18 mallas, con el fin de obtener una granulometría cercana a la de arena. En placas petri se puso una capa de muestra de relave (n=10), el cual se humedeció hasta saturación; en 5 placas se sembró semillas de salicornia de tamaño +18# y en las otras 5 placas semillas de -18#. En los días siguientes el relave se regó en forma periódica. Se evaluó la capacidad de germinación y emergencia de las plantas.

Al comprobarse que las semillas de salicornia crecían sin problemas en el relave, se realizó una nueva experiencia utilizando una muestra de relave, una muestra de arena y una muestra de relave/arena razón 1/1, las que se pusieron en una maceta rectangular (tipo jardinera) dispuesta para la experiencia. Se humedeció cada sustrato y se sembró semillas. Por sector se añadió 100 semillas de salicornia en cada maceta. Además de comprobar el porcentaje de germinación y emergencia, en cada sustrato se evaluó la tasa de crecimiento de las plantas (n=10); determinando la altura de éstas periódicamente.

2.4. Determinación de Elementos Químicos del Relave en Ejemplares de Salicornia Creciendo en Relave.

Se produjo plantas desde secciones de tres pulgadas (esquejes) de ramas de salicornia, enraizadas (inducción con hormonas) en arena de playa. Este material se usó para el ensayo de captura de elementos desde el relave.

A macetas con relave puro se transplantó ejemplares de salicornia, manteniéndose humedad relativa en el relave superior a 50% y las plantas crecieron en condiciones normales de variación diaria (de 14 a 25 °C); debido a que de aplicarse en terreno estos resultados se estaría trabajando en esas condiciones reales. Luego de un periodo de tiempo a determinar, se obtuvo muestra aleatoria de estas plantas. La muestra de plantas se secó en sombra por algunos días y se envió al laboratorio para la identificación de elementos del relave.

2.5. Evaluación

Se graficó la dinámica de crecimiento de salicornia obtenida por semilla. Se determinó qué componentes del relave se encontró en las plantas, si hay elementos que pueden ser considerados importante para una posible aplicación de la salicornia en fitominería y la utilidad de esta planta en fitoextracción de componentes de relave para usos diversos.

3. RESULTADOS

3.1. Crecimiento de Plantas

Con semillas de salicornia de tamaño +18 mallas, la emergencia de plántulas fue mayor en sustrato arena (46%); pero, no fue estadísticamente diferente del resultado en relave puro (42%), sin embargo en la mezcla la emergencia fue bastante menor (14%). Por otra parte, usando semillas de tamaño -18 mallas la emergencia de plantitas en todos los sustratos fue menor que la alcanzada con semillas +18 mallas, además los valores de emergencia obtenidos fueron estadísticamente iguales para los tres sustratos. En general las semillas fueron capaces de germinar en todos los sustratos sin grandes diferencias, lo que fue muy adecuado para la proyección de este ensayo.

En la figura 1 se presenta la dinámica de crecimiento de la salicornia obtenida desde semilla en arena, relave puro y mezcla de ellos. La tasa de crecimiento (mm/día) considerada normal (en arena) fue del orden de 2,15. En relave la tasa de crecimiento (1,31) fue 39,1 % menor que en arena; en la mezcla arena -relave la tasa de crecimiento (1,29) fue 40 % menor que en arena y 1,5 % menor que en relave puro. Esto muestra que salicornia es capaz de germinar en relave; pero, desarrolla menor tasa de crecimiento que un sistema normal; sin embargo las plántulas se han mantenido bien hasta mucho tiempo después y siguen creciendo. Este menor crecimiento de las plantas de salicornia en relave puro respecto de la arena, indicaría que existe un efecto producido por el relave que impide el normal crecimiento. Este efecto puede ser atribuido a (a) daño causado por elementos químicos del relave a la planta (fitotoxicidad), (b) a

características físicas del relave, que actúa como arcilla reteniendo fuertemente el agua en su estructura o a otras causa que se

deben estudiar. Sin embargo, el crecimiento de salicornia en relave es satisfactorio para el objetivo de este estudio.

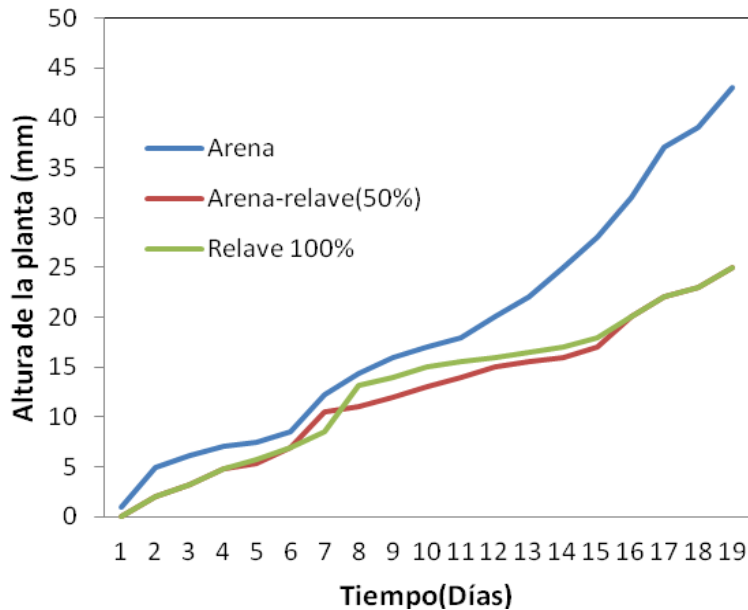


Figura 1. Crecimiento de plantas de salicornia en función del tiempo y en diferentes sustratos.

3.2. Componentes del Relave en Plantas

El análisis del relave usado indicó la presencia de los elementos Fe (4558 mg/kg), Cu (183 mg/kg), Mn (136 mg/kg) y, en menor cantidad, Mo (5 mg/kg), As (2,8 mg/kg), Hg (0,49 mg/kg) y Cd (0,25 mg/kg). Por su parte, en plantas desde arena normal se encontró Fe (3333,3 mg/kg, 99,6 %), Cu (10 mg/kg), Mn (1 mg/kg), Mo (1 mg/kg), As (0,43 mg/kg), Hg (0,14 mg/kg) y Cd (0,25 mg/kg). En plantas en arena, el 99,6 % del contenido de elementos determinados fue de Fe; en plantas creciendo en el relave el contenido de hierro representó el 93,3 % de los elementos detectados.

Evaluando, en plantas, la diferencia de concentración relave-arena de los elementos determinados (figura 2), se obtiene Fe (1224,6 mg/kg), Cu (172 mg/kg), Mn (134,6 mg/kg, 8,8 %), Mo (4 mg/kg), As (2,4 mg/kg), Hg (0,3 mg/kg) y Cd (0 mg/kg); donde el orden de importancia representa Fe

(79,6 %), Cu (11,2 %) y Mn (8,6 %). Evaluando, ahora, la escala de ganancia neta en las plantas de los elementos, se determinó la proporción de concentración relave/arena (%); la mayor ganancia por las plantas en el relave (figura 3) fue de Mn (79,2 %), seguido por el Cu (10,7 %), el Fe solo fue de 0,8 %.

Figuroa et al. [14] muestran que especies de salicornia son metalófilas, y especialmente ferrófilas, corroborando lo encontrado por uno de los autores del presente trabajo (Sepúlveda, resultados en redacción), llegando a concentrar en el follaje – en promedio - cerca de cuatro veces (3542,8 ppm) la concentración de Fe en el suelo (894,7 ppm). El elevado valor de Fe encontrado en especies de salicornia podría implicar elevada traslocación de raíces a tallos, corroborando los resultados de Sepúlveda, quién además determina que la Salicornia de Atacama no es hiperacumuladora.

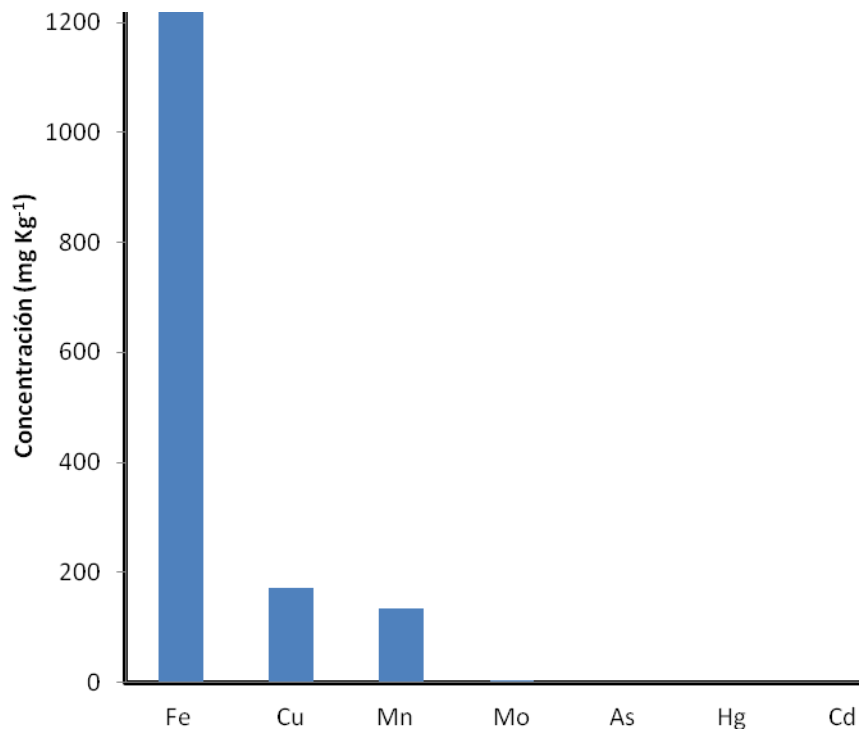


Figura 2. Escala de presencia de elementos del relave en plantas de Salicornia, comparado con plantas en arena normal.

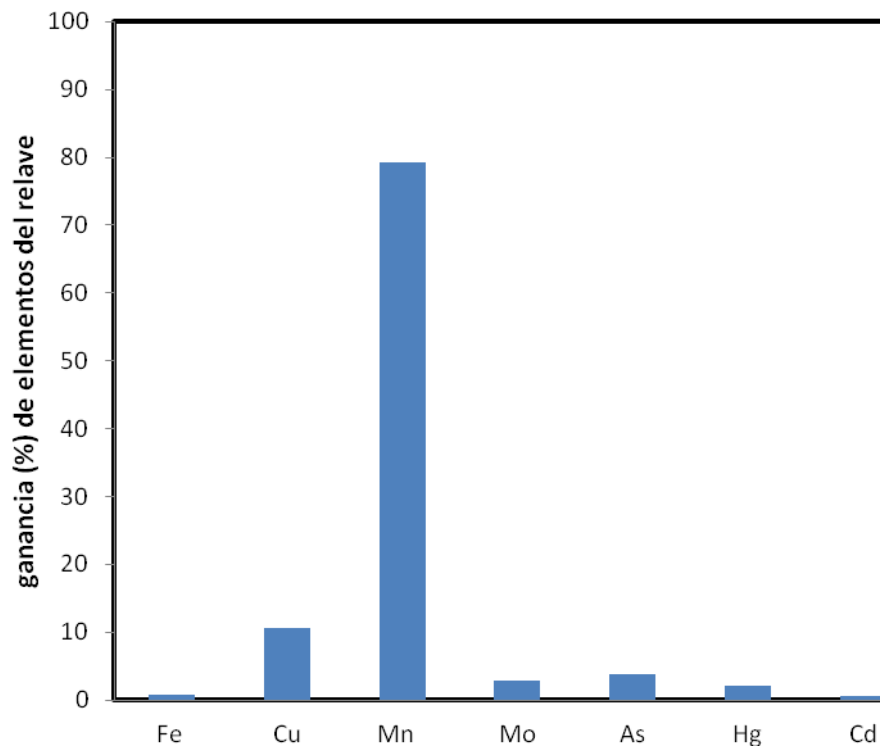


Figura 3. Ganancia neta de los elementos desde el relave por plantas de Salicornia.

Los mismos autores muestran datos que indican que una especie de salicornia secuestra entre 12 y 92 % del contenido del Mn del suelo, aparentemente dependiendo de las condiciones edafoclimáticas. El Mn no se encuentra normalmente en los sustratos, por lo que el resultado obtenido en esta investigación corrobora que esta planta tiene afinidad especial con el Mn.

A pesar de la capacidad de absorción de los principales metales por salicornia, debe señalarse que los valores de absorción alcanzados para Fe, Cu, por ahora, no parecen interesantes para una posible aplicación de esta especie en fitominería. Sin embargo para el Mn y Hg, una tonelada de plantas podría, teóricamente, absorber el 73 % y el 100 %, respectivamente, de estos elementos existentes en una tonelada de relave. Esto es interesante para su aplicación. Sepúlveda (Proyecto PAM CRIDESAT-UDA 2011, publicación en preparación y Proyecto FIC-SALI 2012, en curso), determinó que, si bien salicornia no se comportó como una planta hiperabsorbente en cuanto a mecanismo (mayor concentración en el follaje), capturó concentración de contaminantes del relave mucho más alta que plantas indicadas como hiperabsorbentes. Esto la hace una especie importante para posible aplicación en remediación de ambientes donde esta planta puede crecer. Por otra parte, de este trabajo coligamos que, si bien la concentración absorbida no parece momentáneamente importante, es posible que se pueda determinar objetivamente este punto considerando alta masa de plantas.

Lo anterior se corrobora con el comportamiento conocido y con datos obtenidos de concentración de metales pesados de salicornia de Bahía Chañaral, Región de Atacama (proyecto FIC-SALI Atacama 2012, en desarrollo). Los autores del presente trabajo suponen que la salicornia que se observa en la playa de la Bahía de Chañaral pudiera ser la misma especie que la encontrada en el lugar de origen de la planta utilizada en este estudio. Este punto se está determinando en un proyecto independiente que incluye genómica de biotipos de esta especie en Chile. Esta especie crece naturalmente en el relave de la

playa de la Bahía de Chañaral sin presentar problemas fisiológicos, con una adaptación extraordinaria y con una población en expansión. La exitosa presencia de esta planta en Chañaral confirma la utilidad de ella para fitoextracción. Este trabajo continuará desarrollándose, en investigaciones de la Universidad de Atacama y CRIDESAT, en líneas de investigación relacionadas con la fitoextracción y aplicación.

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que salicornia puede germinar en relave, sin embargo, desarrolla una menor tasa de crecimiento que un sistema normal (arena). En general las plántulas se mantienen bien, siguen creciendo y conservándose en ese ambiente.

El relave utilizado presentó los siguientes 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 indicaron que la salicornia parece ser adecuada para la fitoextracción de elementos químicos desde relaves con fines de fitorremediación, ya que esta planta resiste bien su crecimiento en estos pasivos ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece 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 al desarrollo del presente trabajo.

5. REFERENCIAS

- [1] Ginocchio, R. Revista Chilena de Historia Natural 69(1996): 413-424.
- [2] Ginocchio, R., Baker, A. Revista Chilena de Historia Natural 77 (2004): 185-194.

- [3] Gercman, H. Geophysical Research Abstracts 7 (2005): 11-17.
- [4] Cornejo, P., Meier, S., Borie, F. Gestión Ambiental 16 (2008): 13-26.
- [5] Montenegro, G., Fredes, C., Mejías, E., Bonomelli, C., Olivares, L. Agrociencia 43 (2009): 427-435.
- [6] Lambers, H., Chapin III, F.S., Pons, T.L. Plant physiological ecology. Springer-Verlag, New York, 1998, USA, 540 pp.
- [7] Reeves, R.D. Plant and Soil 249 (2003): 57-65.
- [8] Iannacone, J., Alvarino, L. Agricultura Técnica (Chile) 65(2) (2005): 198-203.
- [9] 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. (Libro online) (2000): pp. 193-229.
- [10] Lasat, M.M., J. Environm. Quality 31(2002):109-120.
- [11] Cunningham, S.D., Ow, D.W. Plant Physiol. 110 (1996): 715-719.
- [12] Baker, A.J., Brooks, R.R. Biorecovery 1 (1989): 81-126.
- [13] Baker, A.J.M., Brooks, R.R., Reeves, R.D. New Science, 177 (1998): 44-48.
- [14] Figueroa E., Jiménez-Nieva, J., Carranza, J., González, C. 1978. Distribución y nutrición mineral de *Salicornia ramosissima* J. Woods, *Salicornia europea* L. y *Salicornia dolichostachya* Moss en el estuario de los ríos Odiel y Tinto (Huelva, SO España). Limnetica, 3 (2) (1987): 307-310.