

## EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ADSORCIÓN DE COBRE, CADMIO Y CINC DEL MUSGO *Sphagnum maguellanicum* PROVENIENTE DE JUNÍN, PERÚ

Rafaela Elías-Letts<sup>a\*</sup>, Diego Ugarte La Torre<sup>a</sup>, Raúl Loayza-Muro<sup>a</sup>,  
David Condori<sup>b</sup>, Rosario Rojas<sup>b</sup>, Marco Piñatelli<sup>c</sup>

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de adsorción de Cu, Cd y Zn de una matriz del musgo *Sphagnum maguellanicum*, preparada a partir de partículas de musgo de 8 y 0,5 mm de diámetro. Los valores de remoción fueron de 19,3 mg/g para Cu, 12,5 mg/g para Cd y 10,3 mg/g para Zn, los cuales estuvieron relacionados al tamaño de partícula. Los altos niveles de adsorción fueron obtenidos en un sistema dinámico, en contraste con la exposición estática. Estas diferencias se atribuyen a las características químicas del musgo y a las condiciones de su hábitat.

**Palabras clave:** Adsorción, metales, sphagnum, contaminación, musgo

## EVALUATION OF COPPER, CADMIUM AND ZINC BIOSORPTION BY *Sphagnum maguellanicum* MOSS FROM JUNÍN, PERÚ

### ABSTRACT

The aim of this investigation was to determine the adsorption capacity of Cu, Cd and Zn of a matrix of the moss *Sphagnum maguellanicum* prepared from moss particles with a diameter of 8 and 0.5 mm. The values of metal removal, 19.3 mg/g for Cu, 12.5 mg/g for Cd and 10.3 mg/g Zn were related to the particle size. The highest removal of metal ions was obtained in the dynamic system in contrast with the static exposure. These differences are attributed to the chemical properties of the moss and its habitat conditions.

**Key words:** Adsorption, metals, sphagnum, pollution, moss

### INTRODUCCIÓN

En el Perú contamos con ingentes recursos naturales que requieren ser estudiados; entre ellos están las especies nativas, muy apreciadas por los lugareños de cada zona debido a sus propiedades terapéuticas. La fuente de estudio en este caso es el musgo *Sphagnum maguellanicum*, un musgo que crece en forma abundante en zonas húmedas a más de 3500 msnm. En los distritos de Comas, Curimarca, Pampa Hermosa, Palca, Huasahuasi y otros, en el departamento de Junín, existen unas 50,000 hectáreas cubiertas por el musgo, las cuales son manejadas por unas 20 comunidades campesinas. El *S. maguellanicum* presenta un pH ácido

<sup>a</sup> Laboratorio de Ecotoxicología, Laboratorios de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia.

<sup>b</sup> Unidad de Investigación en Productos Naturales, Laboratorios de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia.

<sup>c</sup> Inkamoss.

\* Autor de correspondencia: rafaela.elias@upch.pe  
Av. Honorio Delgado 430, San Martín de Porres, Lima, Perú, Tel +51 1 3190000 Anexo 2714.

y tiene la propiedad de absorber agua hasta 20 veces su peso y adsorber diversos iones metálicos. Debido a estas propiedades es utilizado principalmente como sustrato para el cultivo de orquídeas. Otros usos comprenden el almacenaje de frutas y flores, como material aislante, etc. En los últimos años se observa un mayor énfasis en el estudio de los procesos de adsorción de metales pesados de las aguas de desecho, utilizando adsorbentes de origen biológico.<sup>1,2</sup> Estudios previos indican que el musgo, en su forma natural, es capaz de adsorber metales.<sup>3,4</sup> Por otro lado, estudios con quitosano demuestran que con una mayor área superficial de partícula se asegura la disponibilidad de más sitios de adsorción.<sup>5</sup> Nuestro trabajo propone una disminución del tamaño de partícula del musgo *S. maguellanicum* para alcanzar una mayor capacidad de adsorción de metales. El monitoreo biológico de metales y su remoción del agua, podría ser mayor que la tradicional determinación fisico-química, usando matrices biológicas, como el musgo.<sup>6</sup> El musgo *S. maguellanicum* podría ser un eficiente acumulador de metales pesados, debido a su pH ácido y a una gran capacidad para fijar cationes.<sup>7</sup>

El procesamiento del musgo para su exportación es simple, ya que éste se cosecha a mano, se seca en tendales, se prensa y se empaca para ser comercializado, principalmente a Japón, China y Estados Unidos. El precio del producto exportado es bajo (aproximadamente 3 dólares/kg). El Perú está incrementando cada año la exportación de *Sphagnum*. Según el programa Sierra Exportadora, en los últimos 3 años se exportaron unas 60 TM, mientras que en el primer trimestre del 2009 el volumen de exportación fue mayor a 20 TM. Estos incrementos en los volúmenes de exportación hacen peligrar la perdurabilidad del recurso natural. Existe un plan de manejo de aprovechamiento del *Sphagnum* en comunidades campesinas, donde se extrae en concordancia con la ley forestal y de fauna silvestre. Sin embargo, en el departamento de Junín y en otros donde existe la especie, no se cuenta con un mapa de su distribución geográfica o delimitación natural, y se desconoce la situación actual de las turberas y tremedales, la cantidad aprovechable y la capacidad de extracción.

La presencia de metales pesados en aguas subterráneas y superficiales puede ser resultado de actividades antropogénicas,<sup>8</sup> las cuales son responsables de forma directa e indirecta del incremento de los niveles de estas sustancias en el ambiente.<sup>9</sup> En general, los organismos vivos requieren cantidades trazas de algunos de estos elementos, pudiendo tener efectos perjudiciales si se encuentran en concentraciones excesivas.

La remoción de metales pesados por medio de procesos tales como el intercambio iónico (resinas) y la adsorción (carbón activado), es una alternativa eficiente. Sin embargo, el uso de estos materiales convencionales puede resultar prohibitivo en muchas situaciones debido a los altos costos asociados a su adquisición, implementación y operación.<sup>10</sup> Es por esta razón que, durante las últimas décadas, diversas investigaciones se han centrado en la búsqueda de adsorbentes no convencionales de bajo costo, tanto de origen industrial como agrícola, que permitan reemplazar el carbón activado y las resinas de intercambio en el tratamiento de aguas residuales. Entre los materiales de origen agrícola considerado promisorio para la remoción de metales pesados de aguas residuales, se encuentra el musgo del género *Sphagnum*. Entre sus principales ventajas está su bajo costo, ya que requiere poco procesamiento, y su relativa abundancia en algunas zonas del país.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Material biológico

El musgo usado en el estudio fue recolectado en el departamento de Junín (3500 msnm). La especie se sometió a limpieza, separación de las partes utilizables y se procesó con un equipo Moulinex obteniendo partículas de 8; 4; 2; 1 y 0,5 mm de diámetro.

### Ensayo de retención de agua

En esta etapa se evaluó los cuatro tamaños de partículas generadas. Se pesó 1 g del musgo y se colocó en beakers de vidrio con 200 mL de agua destilada. El tiempo de exposición fue de 72 horas, luego de lo cual las muestras fueron filtradas con papel Whatman N°1 y se recuperó el agua libre, determinando por diferencia de volúmenes el agua retenida por el musgo. Este ensayo fue repetido 5 veces.

### Ensayo de retención de metales en sistema estático y dinámico

En estos ensayos se usaron los tamaños de partícula de 0,5 y 8 mm, por ser los que mostraron mayor capacidad de retención de agua. Para los ensayos en sistema dinámico se colocó 1 g del musgo en beakers de vidrio de 200 mL con 200 mL de la solución del metal. Los metales usados fueron cadmio, cobre y cinc en concentraciones de 100 mg/L usando como fuente las sales  $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , respectivamente. Las muestras se mantuvieron expuestas durante 72 horas, luego de lo cual fueron filtradas con papel Whatman N° 1 y se recuperó el agua libre. La concentración de metales en el filtrado fue determinada por ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo), determinando por diferencia de concentraciones los metales retenidos en el musgo. Los ensayos en sistema dinámico fueron realizados de manera similar al sistema estático, salvo que en este caso el musgo fue expuesto a agitación constante de 100 rpm. Ambos ensayos fueron repetidos 5 veces.

### Análisis estadístico

La diferencia entre tratamientos fue determinada mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un test posterior de Tukey y un intervalo de confianza de 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las partículas obtenidas muestran uniformidad en su tamaño (90% de una muestra al azar mantienen el tamaño de partícula estimado). El ensayo de retención de agua en una gradiente de tamaños de partícula del musgo generaron los resultados expuestos en la figura 1, donde se observa una mayor capacidad de retención de agua en las muestras de musgo con un particulado de 8 mm (81,6 mL) y 0,5 mm (86,5 mL). El ANOVA muestra diferencias significativas ( $P < 0,0001$ ) entre todos los tratamientos a excepción del particulado de 8 mm vs 2 mm y 1 mm vs 0,5 mm, donde no se encontraron diferencias.

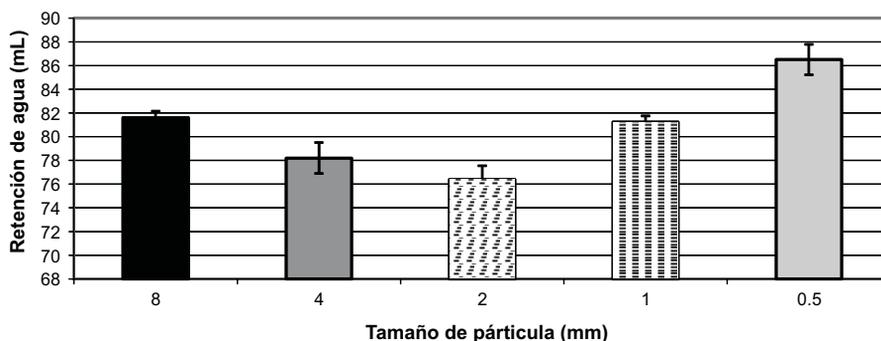
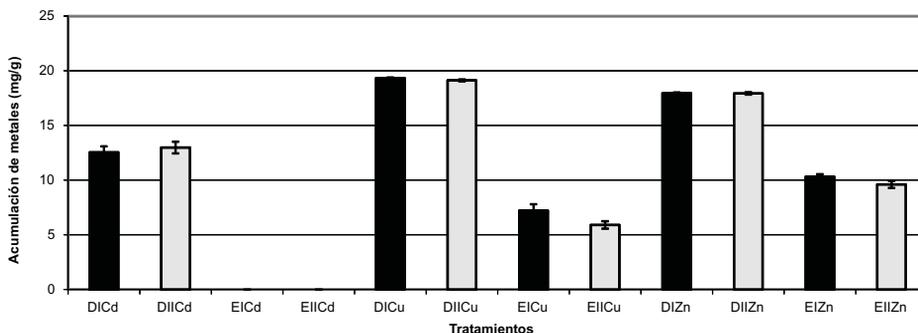


Figura 1. Retención de agua en el musgo *Sphagnum maguellanicum*

La exposición del musgo en un sistema estático generó diferencias significativas ( $P < 0,0001$ ) en la capacidad de retención de metales con respecto al dinámico, produciendo este último mayores valores, para cobre (19,3 mg/g) y Cd (12,5 mg/g) (figura 2). Los datos obtenidos muestran una mayor capacidad del musgo en sistema dinámico adsorbiendo 19,3 mg/g de cobre, 12,5 mg/g de cadmio y 10,3 mg/g de cinc.



**Figura 2.** Acumulación de metales (mg/g) en musgo con dos tratamientos particulados y exposición estática y dinámica. Barras negras =partículas de 8 mm; barras grises =partículas de 0,5 mm. El sistema dinámico es representado por (D) y el estático por (E).

En todos los casos el ANOVA muestra diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,0001$ ), menos en la comparación entre los sistemas dinámicos en relación al tamaño de partículas para los tres metales.

Anicic y col.<sup>11</sup> evaluaron la capacidad de acumulación de diversas especies, reportando lo siguiente para: *Sphagnum girgensohnii*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sphagnum capillifolium*, *Sphagnum spp.* valores de acumulación de Cu de 2,4; 1 4; 2 3; y 1 5 ( $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$  de peso seco); Cd 0 18; 0 3; 0 38; y 0 27 y Zn 20; 36; 83 y 26 ( $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$  de peso seco), respectivamente. Estos valores resultan significativamente más bajos que los obtenidos con *Sphagnum maguellanicum*, permitiendo sugerir una mayor capacidad del musgo de nuestro estudio como más eficiente y con un mayor rendimiento para la remoción de metales pesados.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con nuestros objetivos iniciales, el musgo particulado de 0,5 mm muestra una mayor capacidad de retención de agua y muestra una correspondencia con una mayor adsorción de metales, principalmente cobre.
- El aumento de la superficie de exposición y la mayor exposición de los centros activos para la adsorción de metales se ven favorecidas por el flujo de las partículas, obteniendo una mayor adsorción en un sistema dinámico frente a un sistema estático.
- La evaluación de *Sphagnum maguellanicum* como matriz para retener metales, muestra un significativo grado de adsorción favorecido por una exposición dinámica de las partículas.
- El tamaño de la partícula influye favorablemente en la retención de metales pesados particularmente metales catiónicos, atribuyéndoles esta característica a las propiedades químicas del musgo como a las condiciones del hábitat donde es cultivado.

- Estas propiedades hacen de este musgo un potencial recurso ambiental con aprovechamiento en el monitoreo de aguas contaminadas con metales pesados así como para el tratamiento de aguas impactadas por metales.
- Por ello sugerimos continuar con las evaluaciones a una escala mayor con la implementación de pilotos en campo y la evaluación del impacto de factores químicos y ambientales que puedan influir en el rendimiento de este musgo para capturar metales.

### AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación fue llevado a cabo gracias al auspicio del FINCyT (Proyecto 118-10-FINCyT-PIITEI-2010: Desarrollo de productos con valor agregado a partir del *Sphagnum* (musgo blanco) proveniente de comunidades de la región de Junín).

### BIBLIOGRAFÍA

1. Volesky, B., Holan, Z.R. *Biosorption of heavy metals. Biotechnology. Program.* 1995; 11, 235-250.
2. Seki, H., Suzuki, A.J. Kinetic study of metal biosorption to a brown alga, *Kjellmaniella rassiforia*. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2002; 246, 259-262.
3. Fine, P., Scagnossi, A., Chen, Y., Mingelgrin, U. Practical and mechanistic aspects of the removal of cadmium from aqueous systems using peat. *Environmental Pollution.* 2005; 138, 358-367.
4. Ringqvista, L., Holmgrenb, A., Born, I. O. Poorly humified peat as an adsorbent for metals in wastewater. *Water Research.* 2002; 36, 2394-2404.
5. Flores, J.A., Navarro, A.E., Ramos, K.P., Chang, L., Neptali, A., Ly, M., Maldonado, H. J. Adsorción de Cu(II) por quitosano en polvo y perlas de gel. *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 2005; 71, 17-25.
6. Glooschenko, W.A., Nabil, A. Atmospheric deposition of arsenic and selenium across canada using sphagnum moss as a biomonitor. *Science of the Total Environment.* 1988; 73, 269-275.
7. Clymo RS. Ion exchange in *Sphagnum* and its relation to bog ecology. *Annals of Botany.* 1963; 27, 309-324.
8. Dal Bosco, S.M., Jimenez, R.S., Carvalho, W.A. Removal of toxic metals from wastewater by Brazilian natural scolecite. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2005; 281, 424-431.
9. Santos, M.J., de Oliveira, E. Heavy metals removal in industrial effluents by sequential adsorbent treatment. *Advances in Environmental Research.* 2003; 7, 263-272.
10. Kobyas, M., Demirbas, E., Senturk, E. Ince, M. Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot stone. *Bioresource Technology.* 2005; 96, 1518-1521.
11. Anicić, M., Tasic, M., Frontasyeva, M.V., Tomasević, M., Rajsić, S., Mijić, Z., Popović, A. Active moss biomonitoring of trace elements with *Sphagnum girgensohnii* moss bags in relation to atmospheric bulk deposition in Belgrade, Serbia. *Environmental Pollution* 2009; 157, 673-679.