



# Capacidad acumuladora de cadmio en raíces de *Scirpus californicus* expuestas a diferentes concentraciones de nitrato de cadmio en condiciones de laboratorio

Accumulating capacity of cadmium in *Scirpus californicus* roots exposed to different concentrations of cadmium nitrate under laboratory conditions

Lili E. Fernández-Aguilar<sup>1</sup> y Santos Enrique Padilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tesista, Escuela AP de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Trujillo, Perú. <sup>2</sup>Departamento de Ciencias Biológicas. UNT

## RESUMEN

Se determinó la capacidad acumuladora de cadmio en raíces de *Scirpus californicus* en condiciones de laboratorio; para ello, luego de la aclimatación y adaptación del material experimental durante 30 días, se aplicó el diseño experimental de estímulo creciente con cinco tratamientos: 0; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 ppm de cadmio, durante 15 días. La concentración de cadmio en las raíces se determinó mediante la técnica de Espectrofotometría de absorción atómica, cuyos datos se procesaron mediante Análisis de varianza y el método de Mínima Diferencia Significativa Honesta entre las muestras que presentaron diferencias significativas y para diferenciar los cambios de color y crecimiento se realizaron evaluaciones cualitativas tomando como referencia la Escala de Likert. Se encontró que las raíces del tratamiento con 1,5 y 2,0 ppm de cadmio acumularon mayor cantidad de este elemento, con cambios severos en el color, engrosamiento y crecimiento longitudinal. Se concluye que las raíces de *S. californicus* tienen capacidad de acumular, tolerar y resistir altas concentraciones de cadmio.

**Palabras clave:** Capacidad acumuladora, Cadmio, *Scirpus californicus*, espectrofotometría de absorción atómica.

## ABSTRACT

Storage capacity of cadmium in roots of *Scirpus californicus* under laboratory was determined. For this, after acclimatization and adaptation of the experimental material for 30 days, the increasing stimulus experimental design with five treatments: 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ppm of cadmium, for 15 days were applied. The concentration of cadmium in the roots was determined by the technique of atomic absorption spectrophotometry, whose data were processed by analysis of variance and Least Significant Difference method Honest between samples that showed significant differences and to differentiate color changes and growth qualitative assessments were made by reference to the Likert Scale. It was found that treatment roots with 1.5 and 2.0 ppm of cadmium were the most quantity of this element accumulated, with severe changes in the color, thickness and longitudinal growth. It was concluded that the roots of *S. californicus* are capable of accumulating, tolerate and withstand high concentrations of cadmium.

**Keywords:** Accumulator capacity, Cadmium, *Scirpus californicus*, Atomic Absorption Spectrophotometry



## INTRODUCCIÓN

La fitorremediación, tecnología que utiliza a los vegetales para limpiar o disminuir los ambientes contaminados dentro de ellos el agua, constituye una estrategia interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos presentes en dichos ambientes. Dentro de esta tecnología se encuentran la fitoacumulación, que tiene la particularidad de absorber elementos químicos contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, y la rizofiltración, que utiliza raíces de las plantas para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de efluentes líquidos contaminados<sup>1,2,3</sup>.

Como una manera de descontaminar el medio acuático en el que habitan, esta característica de acumular o hiperacumular ha conducido a la utilización de plantas para la remoción de metales pesados mediante procesos de bioabsorción y bioacumulación, tal es el caso de: *Eloдея* spp.<sup>4</sup>, *Eichornia crassipes*<sup>5</sup>; *Azolla pinnata*<sup>6</sup>, *Scirpus californicus*<sup>7</sup>, *Lemma giba*<sup>8</sup> y *Phragmites australis*<sup>9</sup>.

*Scirpus californicus* “totora”; es una especie herbácea, acuática emergente y cosmopolita, que crece de manera silvestre y cultivada en lagos y lagunas desde el nivel del mar hasta los 3000 metros de altitud en zonas pantanosas y zanjas ribereñas de Perú<sup>10</sup>; sus características anatómicas le permite mantener en su interior abundante agua y aire, en proporciones estables durante largos períodos de tiempo, por lo que fácilmente se propaga mediante yemas y semillas<sup>3,11,12</sup>.

La totora no solamente acumula contaminantes cuando está viva, sino que se ha verificado que los tejidos de ejemplares secos pueden ser altamente eficientes en la retención de metales, actuando como resinas de intercambio<sup>13,14</sup>. Esto se puede interpretar como que la utilización de biomasa seca sería una importante ventaja para el manejo de humedales construidos, porque las macrófitas podrían ser cosechadas, secadas y como disposición final, utilizadas en columnas para la eliminación de metales pesados en agua, debido a que cuando mueren, su degradación es lenta, pero siguen reteniendo metales dentro del humedal<sup>15</sup>.

Algunos estudios han revelado que el cadmio está asociado con el zinc y el fósforo, a manera de impureza, por lo que los fertilizantes cuya constitución química está basada en estos elementos pueden contener este metal, que se llega a convertir en contaminante y acumularse en los organismos vivos que ingieran material vegetal y, debido a su toxicidad, se encuentran sujetos a una de las legislaciones más severas en términos ambientales, porque en la vida acuática, puede incorporarse a los peces, a la vez a la cadena alimenticia y afectar a la salud humana cuyos efectos pueden ser agudos y crónicos<sup>16</sup>, por lo que resulta importante determinar estas concentraciones en los cuerpos de agua debido a sirven para regar diversos cultivos y vegetales silvestres los que serán consumidos por animales y seres humanos. En este contexto, la presente investigación que tiene como objetivo determinar la capacidad acumuladora de cadmio en raíces de *Scirpus californicus* “totora” expuesta a diferentes concentraciones de cadmio en solución a partir del nitrato de cadmio en condiciones de laboratorio.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Obtención de plantas de *S. californicus* en el laboratorio:

100 Plantas adultas de *S. californicus* se obtuvieron aleatoriamente dentro de una extensión de cinco Ha de los humedales de “Choc-Choc” (distrito de Moche, La Libertad-Perú), las que fueron trasladadas en baldes de 10 L de capacidad con agua de su medio hasta el laboratorio de Ecología y Medio Ambiente, en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, para su aclimatación y adaptación en el laboratorio. El proceso de adaptación y aclimatación se realizó colocando a las plantas en recipientes de vidrio de 15 L de capacidad durante 30 días, haciendo cambio de agua potable en forma interdiaria con la finalidad de garantizar su viabilidad y desarrollo, con un fotoperiodo con luz permanente, haciendo uso de cuatro fluorescentes de 40 W, a fin de acercar a la similitud de iluminación de su medio natural, cuyas condiciones fueron demostradas cuando los ejemplares conservaron su color



verde oscuro y aspecto turgente. Para el estudio se utilizaron yemas de aproximadamente 5-7cm de longitud colocadas en vasos de vidrio de 150 mL.

### **Preparación de soluciones de cadmio**

Las concentraciones del material químico, se prepararon haciendo una solución patrón utilizando la sal de nitrato de cadmio tetrahidratado  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4(H_2O)$  con la finalidad de hacer diluciones y disponerlos en el diseño experimental de estímulo creciente organizados en cinco tratamientos (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ppm) y diez repeticiones teniendo una muestra testigo (control).

### **Tratamientos de las plántulas con soluciones de cadmio**

Las yemas de *S. californicus*, fueron sometidas a los tratamientos con soluciones de cadmio durante un período de 15 días, como se indica a continuación:

- 0.0 ppm ..... Tratamiento 1 (T1)
- 0.5 ppm ..... Tratamiento 2 (T2)
- 1.0 ppm ..... Tratamiento 3 (T3)
- 1.5 ppm ..... Tratamiento 4 (T4)
- 2.0 ppm ..... Tratamiento 5 (T5)

Las unidades experimentales para el diseño experimental, fueron elegidas completamente al azar, para los cinco tratamientos y 10 repeticiones; la unidad muestral consistió en cada recipiente (vasos de vidrio) con capacidad de 150 ml, cada una, de los cuales contenían la solución de cadmio (100 mL por recipiente) y una plántula por cada vaso, lo que nos permitió obtener la biomasa requerida para el análisis químico de las muestras. Cada recipiente fue acondicionado con una tapa de tecnopor donde estuvieron suspendidas las plántulas, las que fueron selladas con plástico adherente para evitar la contaminación con microorganismos, a la vez que se procedió a la oxigenación de cada recipiente, utilizando aeradores

### **Recolección de muestras:**

Transcurrido el tiempo previsto para la aplicación, en los tratamientos se seccionó cada una de las plántulas para separar las raíces de la parte aérea, las mismas que se enjuagaron con agua destilada y se secó con papel absorbente, se colocaron dentro de sobres de papel bond; los cuales fueron rotulados, indicando la parte de la plántula y la concentración de cadmio a la que habían sido sometidas en el diseño experimental las que fueron analizadas en el Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo.

### **Observaciones y evaluaciones cualitativas de raíces:**

Se realizaron observaciones a las raíces de *S. californicus* de cada tratamiento durante el proceso experimental, para desarrollar las evaluaciones cualitativas de cambio de color y crecimiento, tomando como modelo la Escala de Likert; para ello se procedió a la construcción de una tabla donde presenta los ítems y criterios, los cuales disponen de puntuaciones del 1 al 5, con grado de desacuerdo y acuerdo, luego se realizó la suma de las puntuaciones de cada muestra y la correlación de cada ítem como se evidencia en el Anexo 9; para asegurar la precisión y fiabilidad de la escala, se desarrolló el criterio de consistencia interna, que consistió en seleccionar el 25 % de los muestras con puntuaciones máximas y el 25 % con puntuaciones mínimas; además de evaluar la diferencia de promedios para cada ítem; para la validez de la escala se escogieron los valores máximos de la diferencia de promedios y valores mayores a 0,20 para las correlaciones (Tabla 4) (Fernández 2005)

### **Cuantificación de cadmio en raíces de *Scirpus californicus***

La concentración de cadmio en las muestras se determinó utilizando un equipo de espectrofotometría de absorción atómica marca Perkin Elmer AAnalyst 300 HGA800 recomendado por Perkin Elmer Corporation (1996), tomando como referencia el método de calcinación y deshidratación de ácido clorhídrico al 10%, cuyos valores fueron almacenados registrados y ordenados como base de datos.

### **Análisis estadístico**

Los datos de acumulación de cadmio en las raíces de *S. californicus* analizados en el espectrofotómetro de absorción atómica, fueron procesados utilizando el análisis de varianza y el método de la Diferencia



Significativa Honesta propuesta por Tukey (1952) ( $p < 0.05$ ) para determinar las diferencias significativas entre tratamientos asignados, a través de los promedios. Para el Análisis de varianza se siguió el modelo

sugerido por Sokal y Rolf (1987). Para los análisis cualitativos de cambios de color y crecimiento de raíces de *S. californicus*, tomando como referencia la escala de Likert, los datos fueron analizados con el paquete estadístico SPSS 19.

## RESULTADOS

Se encontró que a medida que aumenta la concentración de cadmio en los tratamientos (T) aumenta la concentración en las raíces de la plantas de *S. californicus*, con un máximo de 0,4432 en el T4 (2,0 ppm) y que, básicamente, no varían durante las repeticiones (Figs. 1, 2 y 3).

Cuando se evaluó el efecto del cadmio sobre el color de las raíces se observó que en el T1 no hubo cambios evidentes, que en los T2, T3 y T4 cambios moderados y en el T5 cambios severos que conllevaron a la muerte de la planta (Tabla 1); asimismo, dentro de los cambios radiculares (Tabla 2, Fig. 3) los más frecuentes fueron: crecimiento longitudinal (23%) y aparición de nuevas raíces (24%).

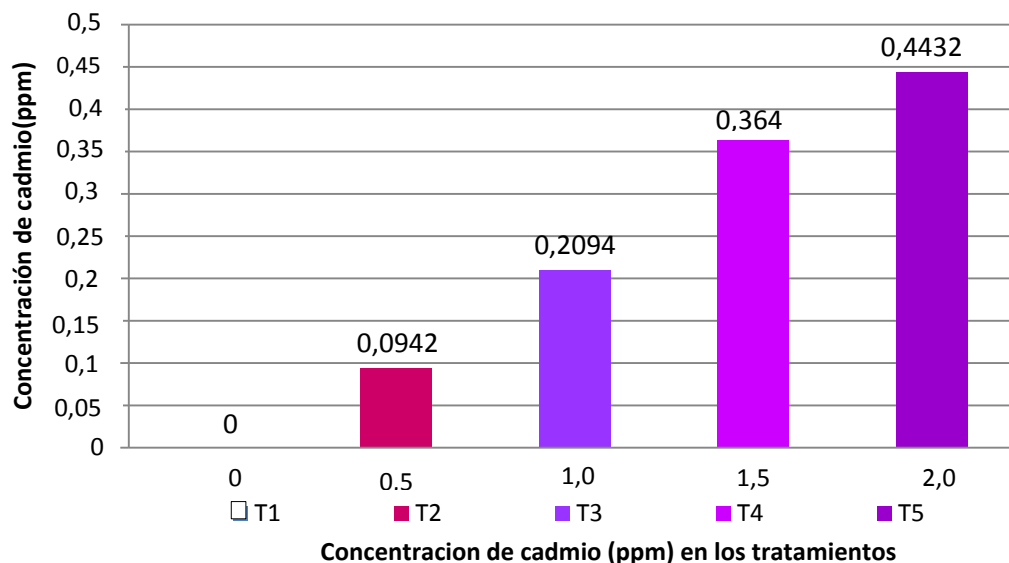


Fig. 1. Representación del promedio de la concentración de cadmio (ppm) en raíces de *Scirpus californicus* a los 15 días de tratamiento con diferentes concentraciones de cadmio.

Tabla 1. Cambio del estado de las raíces por el efecto de cadmio (ppm) en raíces de *Scirpus californicus*, después de 15 días de tratamiento.

|             | Efectos en los tratamientos | Cambio            | Estado de raíz | Efecto       |
|-------------|-----------------------------|-------------------|----------------|--------------|
| Color       | T1                          | Blanco            | ninguno        | Ninguno      |
|             | T 3 y T4                    | Amarillo y marrón | leve           | moderado     |
|             | T5                          | Negro             | severo         | Muerte       |
| Crecimiento | T1, T2, T3, T4 y T5         | Longitudinal      | adelgazamiento | Aumenta      |
|             | T4 y T5                     | Engrosamiento     | mayor volumen  | Aumenta      |
|             | T3, T4 y T5                 | Pelos absorbentes | atrofia        | ápice oscuro |
|             | T1, T2, T3, T4 y T5         | Nuevas raíces     | atrofia        | ápice oscuro |

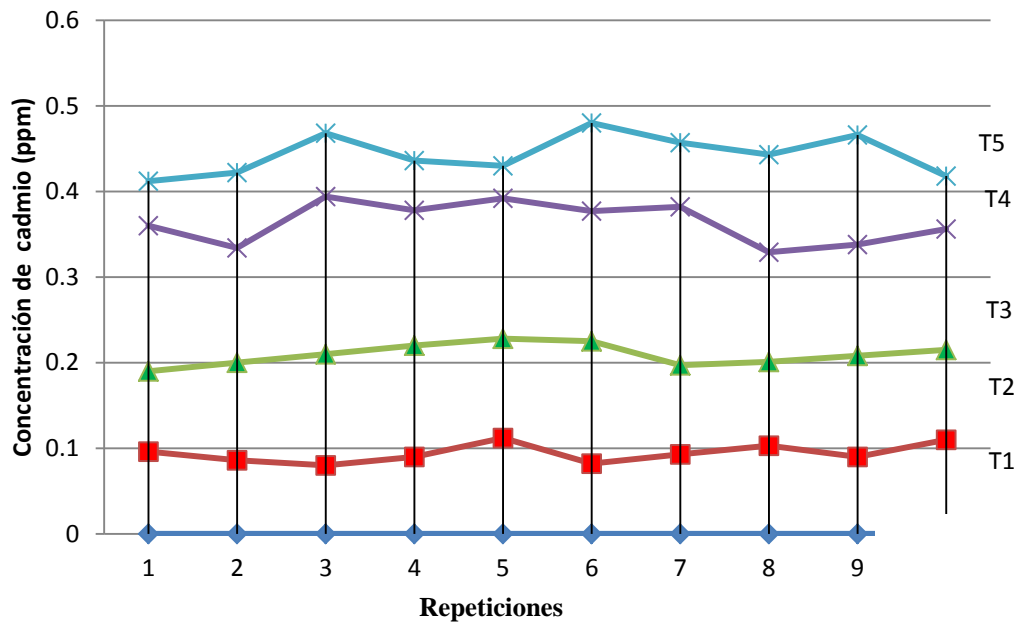


Fig. 2. Representación de la relación entre las repeticiones experimentales y la concentración de cadmio (ppm) en raíces de *Scirpus californicus* a los 15 días de tratamiento.

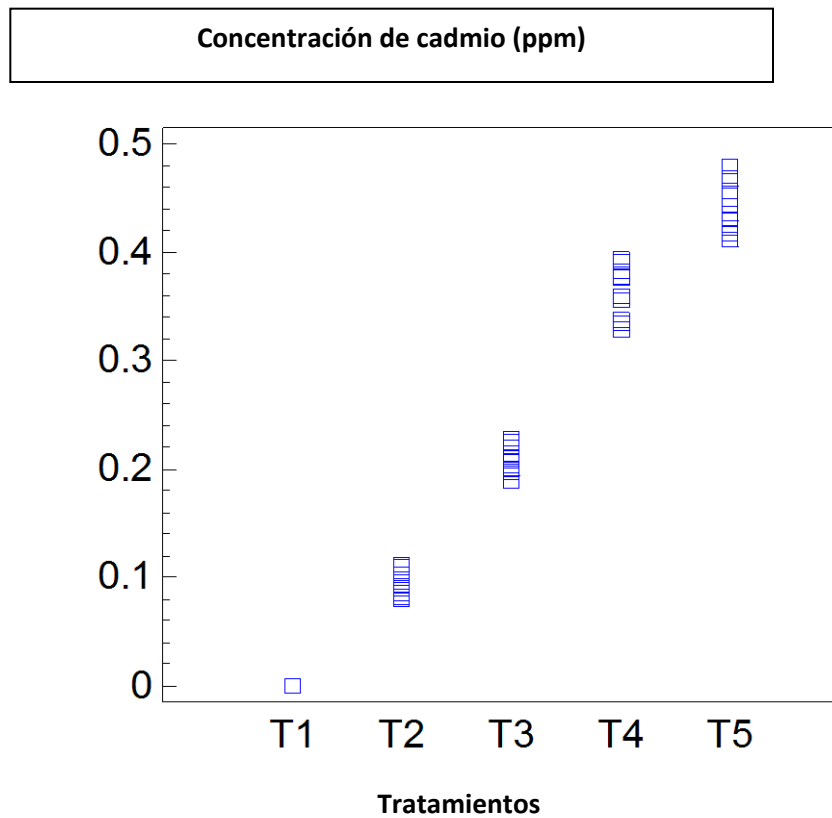
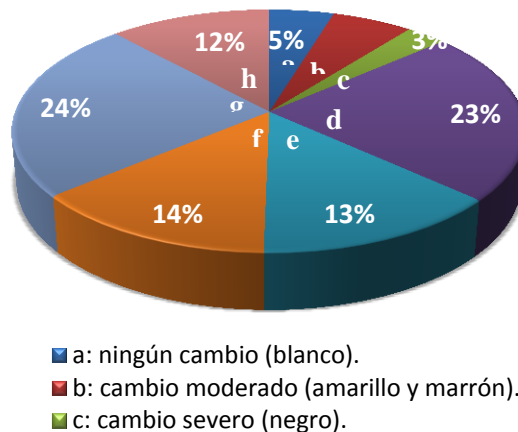


Fig. 3. Relación entre tratamientos y la concentración de cadmio (ppm), acumulado en raíces de *Scirpus californicus* a los 15 días de tratamiento.

**Tabla 2.** Valores en porcentajes de los diferentes cambios de color y crecimiento presentes en raíces *Scirpus californicus* después de 15 días de tratamiento.

|               | Cambio de color y crecimiento en raíces |    |    |     |     |     |     |     |
|---------------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|               | a                                       | b  | c  | d   | e   | f   | g   | h   |
| Tratamiento 1 | 7                                       | 0  | 0  | 10  | 0   | 0   | 10  | 0   |
| Tratamiento 2 | 1                                       | 4  | 0  | 10  | 0   | 0   | 10  | 0   |
| Tratamiento 3 | 0                                       | 3  | 0  | 8   | 3   | 3   | 9   | 5   |
| Tratamiento 4 | 0                                       | 3  | 0  | 5   | 10  | 10  | 9   | 6   |
| Tratamiento 5 | 0                                       | 0  | 5  | 6   | 10  | 10  | 3   | 10  |
| $\Sigma$      | 8                                       | 10 | 5  | 39  | 23  | 23  | 41  | 20  |
| Porcentajes   | 5%                                      | 6% | 3% | 23% | 13% | 14% | 24% | 12% |

**Leyenda:** En las letras indican el cambio de color y crecimiento de la raíz: **a:** sin cambio, (blanco). **b:** leve (crema y marrón). **c:** severo (negro). **d:** crecimiento longitudinal de raíz. **e:** engrosamiento de raíz. **f:** crecimiento de nuevos pelos absorbentes. **g:** aparición de nuevas raíces. **h:** aumento de biomasa radicular.



**Fig. 4.** Cambios de color y crecimiento presentes en raíces de *Scirpus californicus* después de 15 días de tratamiento de cadmio (ppm), expresados en porcentajes.

## DISCUSIÓN

Las especies vegetales como cualquier ser vivo, tiene la capacidad de absorber, adsorber o incluir dentro de su sistema inmunológico sustancias o elementos químicos de la naturaleza; muchos de ellos son beneficiosos para su subsistencia y otros perjudiciales para sus procesos fisiológicos, como es el caso de los elementos químicos, que participan en reacciones diversas hasta generar nuevas moléculas, que en muchos casos son acumuladas y producen cambios de color y forma de crecimiento<sup>17</sup>.

En esta experiencia se muestra valores encontrados en los tratamientos y repeticiones, los cuales aumentan en relación directa a la cantidad de cadmio (ppm) aplicado en cada tratamiento a *S. californicus*, que demuestra capacidad de asimilar el estímulo de dicho elemento; por lo que es de suponer que si se agrega mayor concentración, es posible que la planta tenga respuesta de tolerancia, cuyas evidencias se pueden contrastar con la investigación de Contreras<sup>7</sup>, quien afirma que la mayor



concentración de cadmio se encontró en la raíz de *S. californicus*; en condiciones naturales a campo abierto; similares estudios han reportado que la misma especie acumula plomo, cobre, cromo, níquel y arsénico, en las mismas condiciones<sup>18</sup>. Asimismo, la tendencia ascendente en concordancia con las concentraciones aplicadas permite asumir que la planta posiblemente tiene la capacidad de tolerar concentraciones mayores a 2 ppm; por lo tanto, podemos sospechar que en nuevas experiencias encontraremos valores superiores a los encontrados.

Durante el proceso experimental, se utilizaron diez repeticiones distribuidas en el espacio disponible en condiciones similares como se demuestra en la figura 3; con la intención de que no haya interferencia durante el tratamiento, como se observa la secuencia de valores casi homogéneos en los tratamientos uno (T1), dos (T2) y tres (T3) a diferencia del tratamiento cuatro (T4) y cinco (T5); aunque el incremento en la repetición 5 del tratamiento 2 (T2), se debe posiblemente al aumento de raíces en la planta como se observa con la misma tendencia en los tratamiento tres (T3) en las repeticiones 4, 5 y 6; similares al tratamiento cuatro (T4) y cinco (T5), donde presentan variaciones en las repeticiones 3, 6 y 9; lo que permite asumir que la planta tiene tendencia a sufrir perturbaciones, evidenciadas por los cambios de color y crecimiento en la raíz, concordante con los reportes anteriores que refirieron que el estrés por metales pesados puede inducir un engrosamiento de las raíces, incluyendo un incremento en la densidad y diámetro de las mismas, cuya condición favorece la capacidad de acumular mayor cantidad del elemento químico<sup>19,20</sup>.

El análisis de varianza demostró que los datos obtenidos tiene confiabilidad, lo que permite demostrar diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre tratamientos, confirmado con el valor Fisher (F) calculado que es mayor que Fisher (F) tabulado; sin embargo, el valor que corresponde las repeticiones, F-calculado es menor que F-tabulado; lo que significa que no hay diferencia entre las repeticiones; es decir que cada una de las unidades experimentales están dispuestas en las mismas condiciones, lo que se confirma con la representación de la figura 4; que explica por la separación de cada cuadrícula; lo que da evidencias que las repeticiones del tratamiento cuatro (T4) tienen mayor variación; posiblemente tenga relación con el estado de estrés de la planta, concordante con lo señalado previamente: las plantas cuando acumulan el cadmio en las raíces y en los tallos, inhiben su desarrollo y crecimiento de la parte radical, debido a que este elemento, por su toxicidad, causa inhibición del crecimiento de la raíz, por lo que probablemente la planta acumule menos cantidad de cadmio<sup>21,22</sup>.

La comparación de los tratamientos presentados en la tabla 3, tiene especial énfasis; puesto que indica que los tratamientos tienen diferencia significativa; esto significa que la acumulación de cadmio (ppm) en las raíces de la planta no es la misma, apreciándose que es menor en el tratamiento 2 (T2) y va aumentando hasta el tratamiento 5 (T5); es decir que el efecto en las raíces será más severo a medida que aumenta las concentraciones de exposición<sup>23</sup>.

Con la finalidad de conocer, la respuesta de la planta al estímulo de cadmio, se hacen evaluaciones cualitativas, tomando como modelo la escala de Likert; donde se evidencian los efectos de cadmio producidos en las raíces de *S. californicus* expresados en los cambios en el color y crecimiento de la raíz, tomando como referencia el criterio de consistencia interna, donde se puede afirmar que la diferencia de promedios es buen indicador de las evaluaciones, realizadas durante la experimentación; así mismo los resultados de la correlación concuerdan con las evaluaciones de fiabilidad y validez de la escala, que explica que los valores deben ser mayores a 0,20.

Del mismo modo en la tabla 7 y figura 5, están reportando los porcentajes de unidades experimentales con cambios de color y crecimiento de las raíces de *S. californicus*; se observa que el 24% de las plantas, las raíces presentan una aumento en la aparición de nuevas raíces, con mayor evidencia en los tratamientos 1, 2 y 3; puesto que la cantidad de cadmio (ppm) es menor, a diferencia de los tratamientos 4 y 5, el 23% y 13% de las raíces de las plantas, presentan un aumento en la longitud radicular y un aumento en el grosor del diámetro de las raíces; debido a que estuvieron sometidas a diferentes concentraciones de cadmio y siguieron aumentando su crecimiento, como se indica en los anexos 11, 12, 13 y 14; estos resultados son contrastantes con los reportes de Wang y Zhou<sup>24</sup>.



## CONCLUSIONES

- *Scirpus californicus* tiene capacidad de acumular altas concentraciones de cadmio de 0,4432 ppm, correspondiente al tratamiento 5.
- *Scirpus californicus* tiene capacidad de tolerar y sobrevivir altas concentraciones de cadmio.
- El cadmio produce cambios de color y crecimiento en raíces de *Scirpus californicus*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arias M, Betancur T, Gomez R, Salazar G, et al. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador técnico 2010; 74: 12-22.
2. Jaramillo J, Flores C. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en agua residuales producto de la actividad minera. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Colombia. 2012.
3. Benítez P. Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y Tul (*Thypha spp*) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la Cerra, Villa Canales por medio de fluorescencia de Rayos X. Tesis de Maestro en Ciencias en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008.
4. Hauenstein E, Ramírez C, González M, Leiva L, et al. Flora hidrófila del Lago Villarrica (IX Región, Chile) y su importancia como elemento indicador de contaminación. Rev Medio Ambiente 1996; 13 (1): 88-96.
5. Karpiscak M, Foster K, Hope S, Warshall P. Using water hyacinth *Eichornia crassipens* to treat wastewater. Arid Lands Newsletter 1992; 32: 6-12.
6. Jain S, Valsudevan P, Jha N. *Azolla pinnata* R Br. and *Lemna minor* for Removal of lead and Cadmium from Polluted Water. Wat. Res. 1990; 24 (2):177-183.
7. Contreras S. Determinación de metales traza (Ni, Cr, Cd, Fe, Mg, Al) en totora (*Scirpus californicus*) y sedimento en el santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, río Cruces, Valdivia. Tesis de Químico Farmacéutico de la Universidad Austral de Chile. 2006.
8. Boniardi N, Rota R, Nano G. Effect of dissolved metals on the organic load removal efficiency of *Lemna gibba*. Water Res 1999; 33(2): 530-538.
9. Ye Z, Baker A, Wong M, Willis A. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by the common reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. Ann Bot 1997; 80(3): 363-370.
10. Burke D, Weis J, Weis P. Release of metals by the leaves of the salt marsh grasses *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 2000; 51: 153-159.
11. Mostacero, L., Mejía, C. y Gamarra, T. 2009. Fanerógamas del Perú: Taxonomía, Utilidad y Ecografía. Edita CONCYTEC. Primera edición. Pág. 1068.
12. Velasco G, Espinosa E. Evaluación de la fitorremediación en términos de remediación de carga orgánica, tratando aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. Tesis de Tecnólogo en Química en la Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 2010.
13. Abdel G, Hegazy A, Chaghaby G, Lima E. Factorial experimental design for biosorption of iron and zinc using *Typha domingensis* phytomass. Desalination 2009; 249: 343-347.
14. Verma V, Tewari S, Rai J. Ion exchange during heavy metal biosorption from aqueous solution by dried biomass of macrophytes. Biores Technol 2008; 99: 1932-1938.
15. Hammerly J, Leguizamón M, Maine M, Schiver D, Pizarro M. Decomposition rate of plant material in the Parana Medio River (Argentina) 1989; 183(3): 179-184.
16. Lora R. Contaminación por micronutrientes y posibles soluciones. Rev. U.D.C.A. Act & Div Cient 2007; 7(1): 5-20.
17. Salisbury B, Roos W. Fisiología de las Plantas. 3ra ed. México: Edit. Ibo América. 1994.
18. Figueroa C. Determinación de metales trazas (Ni, Cr, Cu y As) en *Scirpus californicus*. Tesis de Químico Farmacéutico. Universidad Austral de Chile. 2004.
19. Arduini I, Masoni A, Mariotti M, Ercoli L. Low cadmium application increase miscanthus growth and cadmium translocation. Environ Exp Bot 2004; 52:153-164.





20. Rucinska R, Waplak S, Gwozdz E. Free radical formation and activity of antioxidant enzymes in lupin roots exposed to lead. *Plant Physiol Biochem* 1999; 37: 187-194.
21. Varvara P. Increase ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. Department of biology. University of Waterloo. Ontario, Canadá. N2 L 361. 2001.
22. Williams L, Pittman J, Hall J. Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochim et Biophys Acta* 2000; 1465: 104-126.
23. Xie Y, Yu D. The significance of lateral roots in phosphorus acquisition of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Rev Aquat Bot* 2003; 75: 311-321.
24. Wang X, Zhou Q. Ecotoxicological effects of cadmium on three ornamental plants. *Chemosphere* 2005; 60: 16-21.