



## El exceso de cobre inhibe el crecimiento de *Bidens pilosa* en condiciones de laboratorio

Excess copper inhibits the growth of *Bidens pilosa* under laboratory conditions

Excesso de cobre inibe o crescimento de *Bidens pilosa* em condições de laboratório

**Julio Chico-Ruiz<sup>1</sup>**

[jchico@unitru.edu.pe](mailto:jchico@unitru.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-7287-321X>

**Luis Felipe Gonzalez Llontop<sup>2</sup>**

[luis.gonzales@untrm.edu.pe](mailto:luis.gonzales@untrm.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0001-7944-2642>

**Marcela Yvone Saldaña Miranda<sup>3</sup>**

[marcela.saldaña@unj.edu.pe](mailto:marcela.saldaña@unj.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0001-9457-5697>

**Lisi Cerna-Rebaza<sup>1</sup>**

[lisi.cerna@gmail.com](mailto:lisi.cerna@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-7654-3464>

**Mariel del Rocío Chotón Calvo<sup>2</sup>**

[mariel.choton@untrm.edu.pe](mailto:mariel.choton@untrm.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0001-6870-9268>

**Catalina Silvia Rodríguez Rosales<sup>4</sup>**

[crodriguezr@undac.edu.pe](mailto:crodriguezr@undac.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0003-4933-4637>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Jaén. Cajamarca, Perú

<sup>4</sup>Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú

Artículo recibido el 9 de marzo 2022 / Arbitrado el 6 de abril de 2022 / Publicado el 30 de mayo 2022

### RESUMEN

Las especies vegetales pueden presentar problemas de toxicidad debido al exceso de sales minerales presentes en el suelo, en especial los micronutrientes, que causan alteraciones en su crecimiento y desarrollo. Las asteráceas, como *Bidens pilosa*, toleran elevados niveles de metales pesados en comparación con otros grupos taxonómicos, por ese motivo se investigó el efecto del exceso de cobre sobre su crecimiento y como se relaciona con su índice de translocación. Para ello se expusieron las plántulas a diferentes concentraciones de cobre y se evaluó su crecimiento y almacenamiento en hojas y raíces. Fueron tres los tratamientos utilizados (T1: 0 uM, T2: 50 uM y T3: 100 uM) con tres repeticiones por tratamiento y acondicionadas en un sistema hidropónico al cual se agregó el medio nutritivo de Hoagland modificado, diluido a la tercera parte de su concentración normal. Los resultados muestran que cuando las concentraciones de cobre van en aumento, se presentó inhibición en la longitud del tallo y la raíz y también disminución en el peso fresco y peso seco; sin embargo, el número de hojas permanece constante. Además, se observó clorosis y necrosis leve para T2 y T3, y es la raíz el órgano que tiene mayor concentración de cobre en T3. El coeficiente de extracción y el índice de producción relativa disminuyen, pero el índice de Translocación (IT) aumenta según aumenta la concentración del cobre. Se concluye que a mayor concentración de cobre se inhibe el crecimiento de la especie vegetal, pero aumenta IT.

**Palabras clave:** Crecimiento vegetal; *Bidens Pilosa*; cobre; toxicidad, micronutriente

### ABSTRACT

Plant species can present toxicity problems due to the excess of mineral salts present in the soil, especially micronutrients, which cause alterations in their growth and development. Asteraceae, such as *Bidens pilosa*, tolerate high levels of heavy metals compared to other taxonomic groups, for this reason, the effect of excess copper on their growth and how it relates to their translocation index was investigated. For this, the seedlings were exposed to different concentrations of copper and their growth and storage in leaves and roots were evaluated. Three treatments were used (T1: 0 uM, T2: 50 uM and T3: 100 uM) with three repetitions per treatment and conditioned in a hydroponic system to which the modified Hoagland nutrient medium was added, diluted to a third of its normal concentration. The results show that when the copper concentrations increase, there is inhibition in the length of the stem and root and also a decrease in the fresh weight and dry weight; however, the number of leaves remains constant. In addition, mild chlorosis and necrosis were observed for T2 and T3, and the root is the organ that has the highest concentration of copper in T3. The extraction coefficient and the relative production index decrease, but the Translocation Index (TI) increases as the copper concentration increases. It is concluded that a higher concentration of copper inhibits the growth of the plant species, but increases IT.

**Key words:** Plant growth, *Bidens pilosa*, copper, toxicity, micronutrient

### RESUMO

Espécies vegetais podem apresentar problemas de toxicidade devido ao excesso de sais minerais presentes no solo, principalmente micronutrientes, que causam alterações em seu crescimento e desenvolvimento. Asteraceae, como *Bidens pilosa*, tolera altos níveis de metais pesados em comparação com outros grupos taxonômicos, por isso foi investigado o efeito do excesso de cobre em seu crescimento e como ele se relaciona com seu índice de translocação. Para isso, as mudas foram expostas a diferentes concentrações de cobre e seu crescimento e armazenamento em folhas e raízes foram avaliados. Foram utilizados três tratamentos (T1: 0 uM, T2: 50 uM e T3: 100 uM) com três repetições por tratamento e condicionados em sistema hidropônico ao qual foi adicionado o meio nutriente Hoagland modificado, diluído a um terço de sua concentração normal. Os resultados mostram que quando as concentrações de cobre aumentam, há inibição no comprimento do caule e raiz e também diminuição na massa fresca e seca; no entanto, o número de folhas permanece constante. Além disso, discreta clorose e necrose foram observadas para T2 e T3, sendo a raiz o órgão que apresenta maior concentração de cobre em T3. O coeficiente de extração e o índice de produção relativa diminuem, mas o Índice de Translocação (IT) aumenta à medida que a concentração de cobre aumenta. Conclui-se que uma maior concentração de cobre inibe o crescimento das espécies vegetais, mas aumenta a TI.

**Palavras-chave:** Crecimiento vegetal, *Bidens pilosa*, cobre, toxicidade, micronutriente

## INTRODUCCIÓN

La degradación de los recursos naturales causada por los diferentes contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos presentes en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas es un problema mundial y de actualidad. Así, un recurso natural muy afectado es el suelo, que se puede degradar por sustancias nocivas que se almacenan y posteriormente influyen en el rendimiento de los cultivos; debido, a que se almacenan y causan alteraciones en sus tejidos (1).

La captación del metal por las plantas y su posterior acumulación en sus partes comestibles causa un fuerte impacto en la salud humana a través de la cadena alimentaria (2,3). Aparte de los metales con funciones biológicas conocidas (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se, Hg), o elementos esenciales (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni); también, éstos se acumulan en suelos utilizados en la agricultura a través de las fuentes naturales, aguas residuales, abonos de animales, y aplicación de lodos depurados, uso de fertilizantes y agroquímicos, explotación minera, industria metalúrgica, entre otros (4,5,6). Los elementos esenciales también pueden ser peligrosos; porque, ellos son tóxicos a altas concentraciones o ser considerado como un metal pesado con una densidad atómica que supera a los 5 a 6 g cm<sup>-3</sup>, o si su número atómico es superior a 20 (Cu, Pb, Zn, Ni, Se, As, Cd, Hg, etc.) (7,8).

El cobre se encuentra presente en toda materia viva vegetal y animal y distribuida en las aguas y los suelos. Es absorbido como

catión divalente (Cu<sup>2+</sup>) en suelos aireados o como ion cuproso (Cu<sup>+</sup>) en suelos pobres en oxígeno o con alto contenido de agua, como los suelos inundados de los manglares. La forma divalente forma quelatos con varios componentes del suelo, lo que se debe evitar ya que pueden aparecer estados de toxicidad (9,10). El cobre es uno de los micronutrientes necesarios para las plantas en muy pequeñas dosis. En el suelo, el rango normal es de 0,05-0,5 ppm; mientras, que en la mayor parte de los tejidos es de 3-10 ppm (11,12). Este metal juega un papel clave en los procesos metabólicos de las plantas, es un cofactor de varias enzimas implicadas en las reacciones de transferencias de electrones (13), debido a sus diferentes estados de oxidación y su capacidad para aceptar o donar electrones en varios sistemas de enzimas implicados en reacciones redox (14). También, es esencial para el metabolismo de las proteínas, transporte de electrones en la fotosíntesis y respiración, metabolismo de la pared celular, actividad antioxidante, cofactor en la biogénesis del molibdeno, fijación del nitrógeno, percepción de las hormonas y sensible al etileno (15,16), pero, su alta actividad redox, más allá de un máximo de concentración, el cobre es altamente tóxico (17).

Debido al incremento en el uso de agroquímicos como pesticidas, bactericidas y fungicidas, los que contienen cobre como componente activo, la toxicidad por cobre en la agricultura es frecuentemente reportado (16,18). El efecto adverso por toxicidad por cobre en la germinación de semillas, proceso

de crecimiento y actividad fotosintética (17). También, la alteración del estado hormonal, inhibición celular, captación de minerales e interrupción del metabolismo (14,19). Un bajo contenido de clorofila, y alteraciones en la estructura del cloroplasto y membrana tilacoidal han sido encontrado en hojas de "espinaca", "arroz" (*Oryza sativa* L.), *Triticum durum* y *Phaseolus coccineus* L. lo cual altera sus condiciones de crecimiento y de las proteínas<sup>11</sup> o facilita la fotoinhibición y todo el proceso del metabolismo de las plantas interactuando, por ejemplo, con el fierro no-heme y citocromo b559 (20).

Se reporta que existen algunas especies pertenecientes a las asteráceas, que al mismo tiempo que son hiperacumuladoras de cobre, lo son del cobalto; asimismo, toleran altos niveles de metales pesados en comparación con otros grupos taxonómicos (5). Una de ellas es *Bidens pilosa* L. (Asteraceae) que es una especie herbácea, anual, común en cultivos, rastrojos, potreros, orillas de carreteras y caminos de climas cálidos y templados (21), se encuentra ampliamente distribuida en casi todos los ambientes tropicales del mundo. Según Tashimiro y Seitao (22), la planta tiene de tres a cuatro generaciones por año, con una producción de semillas que varía entre 3.000 y 6.000 aquenios por planta, características que la hacen una planta que pueda ser estudiada en sus características fisiológicas. No se encontró reportes del efecto del cobre en *B. pilosa*; pero, sí con otro metal pesado, como el plomo. Según Salazar (23) esta planta

mostró mayor eficiencia en la extracción de Pb que la internacionalmente reconocida como fitoextractora *Brassica juncea*. Además, el Pb extraído se acumuló principalmente en la raíz y en el tallo y los valores más elevados de extracción total de Pb por planta se encontraron en los estudios en campo. Otro reporte como el de Avelino (24) señala que *B. triplinervia* es muy eficaz en la absorción de zinc.

Debido a que los metales pesados no pueden ser degradados, estrategias efectivas para reducir su toxicidad, deben ser aplicados en los suelos para que sean removidos. Una estrategia es la fitorremediación que utiliza plantas como agentes bio remediadoras. Estas especies vegetales muestran un patrón tipo de acumulación de metales pesados en las raíces; mientras, que el transporte hacia la parte aérea es restringido, observándose el típico patrón de exclusión. Como los procesos fotosintéticos son especialmente sensibles a la toxicidad de los metales y las raíces parecen capaces de almacenar mayores concentraciones de metales en forma inocua, esta dualidad en los patrones de acumulación es interpretada como un mecanismo importante en la tolerancia de metales pesados en muchas especies (25,26), y que debe ser estudiado primero su capacidad de asimilar los metales pesados, en este caso el cobre. Por lo expuesto, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del exceso de cobre como inhibidor del crecimiento de *B. pilosa* y su relación con el índice de translocación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de *B. pilosa* fueron recolectadas de los campos de cultivo de la campiña de Moche (Trujillo), ellas fueron aproximadamente 200. La especie se determinó en el Herbarium Truxillensis (HUT) de la Universidad Nacional de Trujillo.

La experiencia se inició desinfectando las semillas con hipoclorito de sodio al 2% durante tres minutos; luego, se lavaron tres veces con agua estéril y finalmente se pusieron a germinar en placas Petri, en cuyo interior se arregló papel de filtro Whatman N° 1 humedecido con

30 ml de agua destilada estéril. Después de 10 días, las plántulas se adaptaron al sistema hidropónico; éste consistió en recipientes de plástico de 3 litros de capacidad y una plancha de tecnopor perforada, con hoyos de un centímetro de diámetro, para suspender las plántulas, ayudado con una esponja pequeña, y el sistema fue oxigenado con un aireador (figura 1). Se utilizó la solución nutritiva de Hoagland modificada (soluciones madres de 0.5 M de  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  y fertilón al 1%) a la tercera parte de su concentración normal.



**Figura 1.** Sistema hidropónico para el cultivo de plántulas de *B. pilosa*

Se estableció un diseño de estímulo creciente con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron concentraciones ascendentes de cobre en forma de sulfato de cobre (0, 50 y 100  $\mu\text{M}$ ).

Las plántulas fueron adaptadas en el sistema hidropónico durante 25 días de edad, al final de los cuales se evaluó lo siguiente:

## Determinación de la biomasa de hojas y raíz

En una balanza analítica, se determinó el peso fresco de hojas y raíz de 10 plantas, después se llevó a la estufa por 24 horas a 80°C y se determinó el peso seco de ambos órganos vegetales.

## Medición de la longitud de raíz y tallo

**Raíz.** Se midió la raíz más larga utilizando una regla milimétrica para cada uno de los tratamientos.

**Tallo.** El tallo medido comprendió desde la zona de diferenciación con la raíz hasta el brote apical. La unidad de medición fue en centímetros, utilizando una regla milimétrica.

## Número de hojas por planta

### Contenido de cobre en los órganos vegetales

Se analizaron las muestras secas de hojas y raíces expuestas a diferentes concentraciones de los metales en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Trujillo. Para la lectura se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer 373-USA).

### Coefficiente de extracción (factor de transferencia)

El potencial de las plantas para captar el cobre de la solución nutritiva fue medido con el coeficiente de fitoextracción o factor de transferencia (t), para ello se utilizó la siguiente relación:

$$t = \frac{\text{total de metal en la planta}}{\text{metal en solución}}$$

## Índice de producción relativa (RP)

Se relaciona la influencia del metal en la variación del peso seco de la raíz (PSr + PSh) y es obtenida de la siguiente manera:

Peso seco producido según concentración del metal

$$RP(\%) = \frac{\text{Peso seco producido según concentración del metal}}{\text{Peso seco producido con el metal ausente}} \times 100$$

Peso seco producido con el metal ausente

## Índice de translocación (TI)

Es la capacidad de las especies para translocar el cobre de la raíz hacia las hojas.

$$TI = \frac{\text{Parte aérea}}{(\text{Parte aérea} + \text{Parte raíz})} \times 100$$

## Análisis estadísticos

Se utilizó el programa IBM Statistical Package for the Social Science (SPSS) v. 22, para aplicar promedio, desviación estándar, ANAVA y la prueba de Tukey con  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La longitud de tallo disminuyó en relación al testigo (4.36 cm); así, a 50  $\mu\text{M}$  es 3.50 cm y a 100  $\mu\text{M}$  es 3.33 cm, igual sucedió con la raíz, que disminuyó en relación al testigo (4.48 cm); así, a 50  $\mu\text{M}$  es 3.57 cm y a 100  $\mu\text{M}$  Cu es 3.24 cm. (Figura 2, Tabla 1).



**Figura 2.** Longitud de las plántulas de *B. pilosa* después de ser expuestas a las diferentes concentraciones de 0, 50 y 100  $\mu\text{M}$  de cobre.

El peso de tallo fresco disminuyó en relación al testigo (0.0389 g); así, a 50  $\mu\text{M}$  es 0.0141 g y a 100  $\mu\text{M}$  es 0.0017 g, y el peso de raíz fresco también disminuyó en relación al testigo (0.0118 g); así, a 50  $\mu\text{M}$  es 0.0087 g y a 100  $\mu\text{M}$  Cu es 0.0078 g. (Tabla 1). El peso de tallo seco disminuyó en relación al testigo (0.0034g); así, a 50  $\mu\text{M}$  es 0.0023 g y a 100  $\mu\text{M}$  es 0.0013 g; del mismo modo, el peso de raíz seco disminuyó en relación al testigo (0.0005g); así,

a 50  $\mu\text{M}$  es 0.0004 g y a 100  $\mu\text{M}$  es 0.0002 g. (Tabla 1).

Para el número de hojas presentes por plántulas, se observó que permaneció constante en los dos tratamientos y control; pero, si hubo una disminución en cuanto al tamaño, además en las mismas se evidenció clorosis y necrosis para los tratamientos de 50 y 100  $\mu\text{M}$  Cu (Tabla 1).

**Tabla 1.** Promedio y desviación estándar de las variables de longitud, peso fresco y peso seco de tallo y de raíz respectivamente y número de hojas en plántulas de *B. pilosa* cuando fueron expuestas a concentraciones de 0, 50, 100  $\mu\text{M}$  de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ).

| Tratamientos          | T1(0 $\mu\text{M}$ Cu) |         | T2(50 $\mu\text{M}$ Cu) |          | T3(100 $\mu\text{M}$ Cu) |         |
|-----------------------|------------------------|---------|-------------------------|----------|--------------------------|---------|
|                       | Media                  | DE      | Media %                 | DE       | Media %                  | DE      |
| Longitud tallo (cm)   | 4.36                   | 0.21    | 3.56 (18.3)             | 0.01     | 3.23 (25.9)              | 0.14    |
| Longitud raíz (cm)    | 4.73                   | 0.32    | 3.65 (22.8)             | 0.15     | 3.13 (33.8)              | 0.26    |
| Peso tallo fresco (g) | 0.0389                 | 0.0021  | 0.0244(37.2)            | 0.0023   | 0.0171(56.0)             | 0.0039  |
| Peso raíz fresco (g)  | 0.0127                 | 0.0005  | 0.0099(22.0)            | 0.0001   | 0.0073(42.5)             | 0.0012  |
| Peso tallo seco (g)   | 0.0034                 | 0.0003  | 0.0023(32.3)            | 0.0003   | 0.0013(61.7)             | 0.0009  |
| Peso raíz seco (g)    | 0.0005                 | 0.00008 | 0.0004(20)              | 0.000005 | 0.0002(60)               | 0.00004 |
| Número hojas          | 3.70                   | 1.39    | 3.65                    | 1.33     | 3.72                     | 1.38    |

El cobre acumulado ( $\text{mg/g} \times 10^2$  de muestra seca) en órganos vegetales de **B. pilosa** fue mayor en la raíz con un valor de 12.39 para T3,

a diferencia del tallo que presentó un valor de 3.48 para T3. (Tabla 2).

**Tabla 2.** Cobre acumulado ( $\text{mg/g} \times 10^2$ ) en órganos vegetales de **B. pilosa** expuestas a diferentes concentraciones de cobre (Cu).

| Tratamiento ( $\mu\text{M Cu}$ )<br>Órganos | T1<br>0 | T2<br>50 | T3<br>100 |
|---|---------|----------|-----------|
| TALLO                                       | 0.18    | 0.91     | 3.48      |
| RAÍZ  | 2.31    | 7.34     | 12.39     |

Los valores obtenidos de las variables evaluadas para tallo, indican que existe una disminución en cuanto a longitud, peso fresco y peso seco, a medida que aumenta la concentración aplicada; sin embargo, la acumulación de cobre aumenta en razón a que las concentraciones de los tratamientos son mayores.

Los valores obtenidos de las variables evaluadas para raíz, indican que cuando aumentan las concentraciones de los

tratamientos, se observa disminución de la longitud, peso fresco y peso seco; sin embargo, la acumulación va en aumento.

Al analizar el desplazamiento del cobre en las plántulas (Tabla 3) encontramos que en el coeficiente de extracción (t) la diferencia es mínima para cada tratamiento, aproximadamente 0.07. Cuando analizamos el índice de producción relativa (RP) es menor para el tratamiento 3 pero es mayor para el índice de translocación (TI).

**Tabla 3.** Indicadores sobre el desplazamiento del cobre en **B. pilosa**.

| Parámetros<br>Concentraciones<br>( $\mu\text{M}$ ) | t      | RP (%) | TI (%) |
|--|--------|--------|--------|
| T1 (0)   | 0.00   | 100    | 7.228  |
| T2 (50)  | 0.165  | 69.23  | 11.030 |
| T3 (100)   | 0.1587 | 38.46  | 21.928 |

t: Coeficiente de extracción (factor de transferencia)

RP: Índice de producción relativa

TI: Índice de translocación

De acuerdo a los datos estadísticos, el ANAVA (Tabla 4) para acumulación de cobres en tallos y raíces se observó diferencias significativas con  $p < 0.05$  y según el método HSD

de Tukey (Statgraphics Plus 5.1), se encontró diferencias significativas en la distribución de cobre en planta, a nivel de tratamientos (Tabla 5).

**Tabla 4.** Análisis de varianza (ANAVA) para la acumulación de cobre en tallo y raíz de *B. pilosa* al ser expuestas a diferentes tratamientos de cobre (Cu).

| Fuente                      | Suma de Cuadrados | GL | Cuadrado Medio | Cociente F | P Valor |
|-----------------------------|-------------------|----|----------------|------------|---------|
| <b>EFFECTOS PRINCIPALES</b> |                   |    |                |            |         |
| A: Tratamientos             | 5.40735           | 2  | 2.70368        | 18.26      | 0.0002  |
| B: Tipo de órgano           | 6.10518           | 1  | 6.10518        | 41.22      | 0.0001  |
| <b>INTERACCIONES</b>        |                   |    |                |            |         |
| AB                          | 1.41786           | 2  | 0.708931       | 4.79       | 0.0296  |
| RESIDUOS                    | 1.77713           | 12 | 0.148094       |            |         |
| <b>TOTAL (CORREGIDO)</b>    | 14.7075           | 17 |                |            |         |

**Tabla 5.** Prueba estadística de Tukey para establecer las diferencias significativas entre los tratamientos con relación al total de cobre (Cu) acumulado por los órganos de plántulas de *B. pilosa* al ser expuestos a diferentes tratamientos de cobre.

| Método: 95.0 porcentaje HSD Tukey Tratamientos | Recuento | Media LS    | Sigma LS    | Grupos Homogéneos |
|--|----------|-------------|-------------|-------------------|
| 0 $\mu$ M                                      | 6        | 0.248833    | 0.157106    | X                 |
| 50 $\mu$ M                                     | 6        | 0.824       | 0.157106    | X                 |
| 100 $\mu$ M                                    | 6        | 1.587       | 0.157106    | X                 |
| Contraste                                      |          | Diferencias | +/- Limites |                   |
| 0 $\mu$ M - 100 $\mu$ M                        |          | *-1.33817   | 0.59438     |                   |
| 0 $\mu$ M - 100 $\mu$ M                        |          | *-1.33817   | 0.59438     |                   |
| 0 $\mu$ M - 50 $\mu$ M                         |          | -0.575167   | 0.59438     |                   |
| 100 $\mu$ M - 50 $\mu$ M                       |          | *-0.763     | 0.59438     |                   |



## Discusión

La inhibición del crecimiento de *B. pilosa* se presenta cuando se acumula el cobre en los órganos vegetales y ello causa problemas de toxicidad a nivel de raíz y tallo, como también se reporta en *Elsholtzia splendens* (27) y se observa en las Tablas 1 y 2. Los valores de coeficiente de extracción (t) y RP aumentan hasta 50  $\mu\text{M}$  y decrecen con 100  $\mu\text{M}$  (Tabla 3), pero TI a mayor concentración de cobre, la raíz es capaz de seguir acumulando y trasladando este elemento hacia la parte aérea, lo cual sugiere su capacidad de fitoextracción, según Antoniadis et al., (50) y de hiperacumulador (51).

En el caso de la raíz, la inhibición del crecimiento se debe a un mecanismo de exclusión, mediante la solubilidad y disponibilidad del metal en el suelo, por la cual la producción en planta se reduce, las hojas y raíces quedan reducidas en su longitud (28, 29) o la captación de otros nutrientes esenciales se ve afectada en las raíces (30) con reducción de la biomasa y la producción del grano según Adress et al., (31). También estimula la formación de raíces laterales (32,33) con participación de las auxinas (14,34), dañando la integridad de la zona de transición de la raíz (35,36) formando ROS (37,38) con un incremento en la actividad de las peroxidasas, lo cual puede disminuir la elongación celular a través de la síntesis de la lignina y reducción de la plasticidad de la pared celular (39). Estas alteraciones fisiológicas en la raíz van alterar el crecimiento del tallo, como inhibición del metabolismo de los brotes y producción de

materia seca, según confirma el comentario de Singh et al., (52).

La acumulación del cobre en la raíz con translocación al tallo (Tabla 2 y 3) es confirmada por Jie y Zhiting (40) y Thounaojam et al., (41). Un lento incremento en la concentración del cobre que sale del óptimo requerido, causa toxicidad en la mayoría de las plantas (43,44). Aún a 4 mM de cobre inhibe drásticamente la longitud de la raíz en *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon* (42). La acumulación en las raíces es debido a que los iones metálicos pueden ser absorbidos por las pectinas de la pared celular (45,46) y que el apoplasto, el cual es un compartimiento dinámico, puede ayudar a ajustar el número y tipo de metal que se une a las pectinas como respuesta al estrés por el metal (47). Entre el 10 y 20% del Cu apoplástico fue reportado por estar reducido en forma de Cu (I) según Cui et al. (46).

Debido a que las condiciones hidropónicas no imitan perfectamente el sistema natural porque diluye los exudados de las raíces y modifica el balance de nutrientes y los mecanismos complementarios de absorción /adsorción del Cu en solución (48,49) es que se hace necesario complementar este estudio en condiciones de campo para afirmar sus condiciones de fitoextracción y poder proponerla como una planta remediadora.

## CONCLUSIONES

El exceso de cobre inhibe el crecimiento de *B. pilosa* en sus variables longitud del tallo y raíz y sus respectivos pesos frescos y secos.

La mayor acumulación del metal es en la raíz y el índice de transferencia es elevado a 100  $\mu\text{M}$ .

Por las variables evaluadas se considera a esta planta una hiperacumuladora, entonces se deben realizar experiencias de campo para confirmar su actividad remediadora.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arunakumara, K, Walpola B, y Yoon M. Alleviation of phytotoxicity of copper on Agricultural plants. *J Korean Soc Appl Biol Chem*. 2013; 56, 505–517.
2. Sadon F, Ibrahim A y Ismail K. An overview of rice husk applications and modification techniques in wastewater treatment. *J Purity Utility Reaction Environ*. 2012; 1, 308–34.
3. Gastañuidui H. Evaluación de la contaminación ambiental por metales pesados en las playas del Distrito de Salaverry. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 195p. 2003.
4. Thomas E, Omueti J y Ogundayomi O. The effect of phosphate fertilizer on heavy metal in soils and *Amaranthus caudatu*. *Agr Biol J N Am*. 2012; 3, 145–9.
5. Pineda R. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y translocación de Cinc y Cobre en *Helianthus annuus* L. "Girasol" crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima- Tecoman, México. 157p. 2004.
6. Tiwari S, y Lata C. Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Front. Plant Sci*. 2018; 9:452.
7. Yeh T, y Pan C. Effect of chelating agents on copper, zinc, and lead uptake by sunflower, Chinese cabbage, cattail, and reed for different organic contents of soils. *J Environ Anal Toxicol*. 2012; 2, 145–8.
8. Singh S, Parihar P, Singh R, Singh P, y Prasad S. Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. *Front. Plant Sci*. 2016; 6:1143.
9. Zhu Y, Chen Y, Zhang X, Xie G, y Qin M. Copper stress-induced changes in biomass accumulation, antioxidant activity and flavonoid contents in *Belamcanda chinensis* calli. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2020; 142:299–311.
10. Printz B, Lutts S, Hausman J, y Sergeant K. Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics. *Front. Plant Sci*. 2016; 7:601.
11. Yruela I. Copper in plants. *Brazilian J Plant Physiol*. 2005; 17: 145–156.
12. Rather B, Masood A, Sehar Z, Majid A, Anjum N, y Khan N. Mechanisms and Role of Nitric Oxide in Phytotoxicity-Mitigation of Copper. *Front. Plant Sci*. 2020; 11:675.
13. Connan S, y Stengel D. Impacts of ambient salinity and copper on brown alga: 1. Interactive effects on photosynthesis, growth, and copper accumulation. *Aquatic Toxicology*. 2011; 104 (1–2):94–107.
14. Lequeux H, Hermans C, Lutts S, y Verbruggen N. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation, and mineral profile. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2010; 48 (8):673–82.
15. Kamali M, Pour M, y Moud A. Copper effects on growth parameters of hollyhock (*Althaea rosea* L.). *J Ornamental Hortic Plants*. 2012; 2, 95–101.
16. Olteanu Z, Elena T, Lacramioara O, Maria M, Craita M & Gabriela V. Copper-induced changes in antioxidative response and soluble protein level in *Triticum aestivum* cv. *beti* seedlings. *Rom Agric Res*. 2013; 30: 163-170.
17. Feigl G, Kumar D, Lehotai N, Peto A, Molnar A, Rácz E, Ordog A, Erdei L, Kolbert Z, y Laskay

- G. Comparing the effects of excess copper in the leaves of *Brassica juncea* (L. Czern) and *Brassica napus* (L.) seedlings: Growth inhibition, oxidative stress, and photosynthetic damage. *Acta Biológica Hungarica*. 2015; 66 (2):205–21.
- 18.** Chen B, Ho P, y Juang K. Alleviation effects of magnesium on copper toxicity and accumulation in grapevine roots evaluated with biotic ligand models. *Ecotoxicol*. 2013; 22, 174–83.
- 19.** Mostofa M, Hossain M, Masayuki M, y Tran L. Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice. *Scientific Reports*, 2015; 5:11433.
- 20.** Bernal M, Roncel M, Ortega J, Picorel R & Yruela I. Copper effect on cytochrome b(559) of photosystem II under photoinhibitory conditions. *Physiol Plant*. 2004; 120:686–694.
- 21.** Bartolome A, Villaseñor I y Yang W. *Bidens pilosa* L. (Asteraceae): Botanical Properties, Traditional, Uses, Phytochemistry, and Pharmacology. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2013; ID 340215, 51 p.
- 22.** Tamashiro J, y Seitao F. Observacoes sobre o ciclo de vida de *Bidens pilosa* L. *Hoehnea*. 1980; 7: 27-40.
- 23.** Salazar M. Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de especies nativas en la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Argentina. 301 p. 2014.
- 24.** Avelino C. Eficacia de la fitoextracción para la remediación de suelos contaminados en Villa de Pasco. Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Callao-Perú. 150 p. 2013.
- 25.** Lasat M. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science. Environmental Science and Engineering Fellow. 33p. 2000. <https://clu-in.org/download/remed/lasat.pdf>
- 26.** Reigosa M, Pedro N, y Sanchez A. La ecofisiología vegetal una ciencia de síntesis. Edit. Thomson. España. 1175 p. 2004.
- 27.** Feng S, Jiyan S, Chaofeng S, Guangcun C, Shaoping H, y Yingxu C. Proteomic characterization of copper stress response in *Elsholtzia splendens* roots and leaves, *Plant Mol. Biol*. 2009; 71: 251e263.
- 28.** Song-Hua W, Zhi-Min Y, Hong Y, Lu B, Shao-Qong L, y Ya-Ping L. Copper induced stress and antioxidative responses in roots of *Brassica juncea* L. *Bot. Bull. Acad. Sinica*. 2004; 45: 203e212.
- 29.** Azooz M, Abou-Elhamd M, y Al-Fredan M. Biphasic effect of copper on growth, proline, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* cv. Hasaawi) at early growing stage. *Aust J Crop Sci*. 2012; 6:688–694.
- 30.** Kopittke P, Menzies N, de Jonge M, McKenna B, Donner E, Webb R, Paterson D, Howard D, Ryan C, Glover C, et al. In-situ distribution and speciation of toxic copper, nickel, and zinc in hydrated roots of cowpea. *Plant Physiol*. 2011; 156:663–673.
- 31.** Adrees M, Ali S, Rizwan M, Ibrahim M, Abbas F, Farid M, Zia-ur-Rehman M, Irshad M, y Bharwana S. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environ Sci Pollut Res*. 2015; 11:8148-62.
- 32.** Potters P, Pasternak T, Guisez Y, y Jansen M. Different stresses, similar morphogenic responses: integrated a plethora of pathways. *Plant Cell Environ*. 2009; 32: 158e169.
- 33.** López-Bucio J, Cruz-Ramírez A, y Herrera-Estrella L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr. Opin. Plant Biol*. 2003; 6:280e287.
- 34.** Nibau C, Gibbs D, y Coates J. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. *New Phytol*. 2008; 179: 595e614.
- 35.** Liu D, Jiang W, Meng A, Zou J, Gu J, y Zeng M. Cytogenetical and ultrastructural effects of copper on root meristem cells of *Allium sativum* L. *Biocell*. 2009; 33, 25e32.
- 36.** Madejón C, Ramírez-Benítez J, Corrales I, Barceló J, y Poschenrieder C. Copper-induced

oxidative damage and enhanced antioxidant defenses in the root apex of maize cultivars differing in Cu tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 2009; 67: 415e420.

**37.** Yeh C, Hung W, y Huang H. Copper treatment activates mitogen-activated protein kinase signaling in rice. *Physiol. Plant.* 2003; 119: 392e399.

**38.** Pasternak T, Rudas V, Potters G, y Jansen M. Morphogenic effects of abiotic stress: reorientation of growth in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 2005; 53: 299e314.

**39.** Zhang H, Xia Y, Wang G, y Shen Z. Excess copper induces accumulation of hydrogen peroxide and increases lipid peroxidation and total copper-zinc superoxide dismutase in the roots of *Elsholtzia haichowensis*. *Planta*, 2008; 227: 465e475.

**40.** Jie L, y Zhiting X. Differences in accumulation and physiological response to copper stress in three populations of *Elsholtzia haichowensis*. *Water Air Soil Pollut.* 2005; 168, 5e16.

**41.** Thounaojam T, Panda P, Mazumdar P, Kumar D, Sharma G, Sahoo L, y Panda S. Excess copper-induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. *Plant Physiology and Biochemistry.* 2012; 53 :33-39.

**42.** Shu W, Ye Z, Lan C, Zhang Z, y Wong M. Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*. *Environ. Pollut.* 2002; 120: 445e453.

**43.** Bouazizi H, Jouili H, Geitmann A, y El Ferjani E. Cell wall accumulation of Cu ions and modulation of lignifying enzymes in primary leaves of bean seedlings exposed to excess copper. *Biol. Trace Elem. Res.* 2011; 139, 97–107.

**44.** Brackhage C, Huang J, Schaller J, Elzinga E, y Dudel E. Readily available phosphorous and nitrogen counteract for arsenic uptake and distribution in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sci. Rep.* 2014; 4, 4944.

**45.** Wan H, Du J, He J, Lyu D, y Li H. Copper accumulation, subcellular partitioning and physiological and molecular responses in relation to different copper tolerance in apple rootstocks. *Tree Physiol.* 2019; 39, 1215–1234.

**46.** Cui J, Zhao Y, Chan T, Zhang L, Tsang D, y Li X. Spatial distribution and molecular speciation of copper in indigenous plants from contaminated mine sites: implication for phytostabilization. *J. Hazard. Mater.* 2020; 381:121-208.

**47.** Meychik N, Nikolaeva Y, Kushunina M, y Yermakov I. Contribution of apoplast to short-term copper uptake by wheat and mung bean roots. *Funct. Plant Biol.* 2016; 43:403.

**48.** Blotevogel S, Oliva P, Sobanska S, Viers J, Vezin H, Audry S, et al. The fate of Cu pesticides in vineyard soils: a case study using d 65 Cu isotope ratios and EPR analysis. *Chem. Geol.* 2018; 477, 35–46.

**49.** Blotevogel S, Schreck E, Audry S, Saldi G, Viers J, Courjault-Radé P, et al. Contribution of soil elemental contents and Cu and Sr isotope ratios to the understanding of pedogenetic processes and mechanisms involved in the soil-to-grape transfer (Soave vineyard, Italy). *Geoderma.* 2019; 343, 72–85.

**50.** Antoniadis V, Golia E, Liu Y, Wang S, Shaheen S, y Rinklebe J. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos. Greece *Environ Int.* 2019; 124:79–88.

**51.** Memon A, y Schroder P. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environ Sci Pollut R.* 2009; 16:162–175.

**52.** Singh H, Mahajan P, Kaur S, Batish D, y Kohli R. Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environ Chem Lett.* 2013; 11:229–254.