

Plantas que hiperacumulan elementos tóxicos de suelos contaminados

L. Gilary **Acosta-Lizárraga**
Magdalena E. **Bergés-Tiznado**

El desarrollo acelerado de la sociedad y su economía ha introducido al ambiente diversos elementos tóxicos como metales, entre los que se incluye al cadmio y al plomo; y metaloides (sustancias capaces de comportarse ya sea como metales o como no metales, dependiendo de las condiciones en las que se encuentren) como el arsénico. Se han identificado más de 5,000 sitios contaminados en al menos 50 países en el mundo, cifra que proporciona una perspectiva sobre la magnitud del problema. Las emisiones de estos contaminantes en los últimos 50 años han provocado la acumulación de los mismos en el suelo (FAO y UNEP, 2021).

Uno de los problemas más complicados que la humanidad deberá afrontar es la contaminación de suelos de uso agrícola, en los que la producción es ineficiente debido a los efectos negativos causados por los contaminantes presentes, y la inocuidad de los alimentos que se producen es incierta. El uso de plantas con la capacidad de acumular estos elementos en elevadas concentraciones, sin que esto represente un problema para el desarrollo de las mismas, es de suma importancia para restaurar los suelos de uso agrícola y, así, afrontar la inminente problemática de producción alimenticia para los próximos 20 años.

EFFECTOS TÓXICOS EN LAS PLANTAS

El contacto de metales y metaloides tóxicos con las plantas puede desatar una serie de señales internas que llevan a este organismo a un estado conocido como estrés oxidativo. Durante este cuadro de estrés existe una acumulación, dentro de la planta, de sustancias llamadas “especies reactivas del oxígeno”, o ROS, por sus siglas en inglés. Cuando esta acumulación sobrepasa la capacidad inherente de la planta para combatirlas, estas moléculas empiezan a causar daños a nivel celular, lo que afecta o incluso inhibe procesos importantes para la planta, como el crecimiento (Chaki *et al.*, 2020).

Llegar o no a este estado de estrés, dependerá de la sustancia tóxica con la que la planta esté en contacto y de la concentración a la que dicha sustancia se encuentre.

Debido a la cantidad de variables que afectan la interacción entre las sustancias tóxicas y las plantas ha sido imposible establecer una concentración fija en la que las plantas muestren un efecto tóxico. Sin embargo, muchos experimentos concluyen que, en general, en el caso de metales o metaloides, esta concentración suele ser muy pequeña. Por ejemplo, los efectos tóxicos del cadmio en plantas pueden observarse cuando la concentración disponible de este elemento en suelo es mayor a 8 mg/kg.

PLANTAS HIPERACUMULADORAS

Algunas plantas tienen la capacidad de absorber altas concentraciones de metales y acumularlos en sus tejidos, una característica conocida como hiperacumulación. Las especies de plantas conocidas como hiperacumuladoras son aquellas capaces de retener metales tóxicos dentro de su sistema en una proporción de al menos 1 % de su masa seca, excluyendo las raíces (Sytar *et al.*, 2020). Lo impresionante de estas especies es que la presencia de concentraciones tan altas de metales tóxicos no representa un peligro para ellas y,

aunque sí se ha observado que su crecimiento y desarrollo puede ser lento en comparación con los de plantas no hiperacumuladoras, esto se debe al gasto de energía que representa mantener estas sustancias tóxicas dentro de ellas.

En 2017, un grupo de investigadores de Australia reconoció la importancia de este tipo de plantas y propuso la recopilación de información sobre su taxonomía, distribución, ecología, trabajos realizados y datos obtenidos sobre plantas hiperacumuladoras para crear una base de datos estandarizada y accesible para el público en general, que hasta ese momento ya registraba alrededor de 750 especies distintas (Reeves *et al.*, 2017).

ALGUNOS EJEMPLOS

Una de las familias de plantas más importantes en el campo de la hiperacumulación, debido a la gran cantidad de especies dentro de ella que poseen esta característica, es la Brassicaceae, familia a la que también pertenecen plantas mayormente conocidas por su interés alimenticio como la coliflor, el brócoli o el repollo.

Especies como la col china (*Brassica pekinensis*) o la mostaza de la India (*Brassica juncea*) resaltan por su papel como acumuladoras de plomo (Collin *et al.*, 2022).

Por otro lado, el berro oreja de ratón (*Arabidopsis halleri*), el berro de la piedra de arena (*Arabidopsis arenosa*) o el berro alpino (*Noccaea caerulea*) destacan por su capacidad de acumular cadmio. Sin embargo, dentro de esta familia, se considera como uno de los mejores ejemplos del fenómeno de hiperacumulación a la planta *Arabidopsis halleri*.

Se trata de una planta perenne que produce flores, proveniente del hemisferio norte, específicamente de las regiones de Europa y Asia del Este, y cuya capacidad de acumular cadmio ha motivado el estudio de la misma (Honjo y Kudoh, 2019). Entre las investigaciones realizadas en *A. halleri*, se ha demostrado que puede acumular cadmio principalmente en hoja y raíz por encima de 5,700 mg/kg; es decir, puede acumular más de 50 veces la cantidad



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2014.

mínima del elemento de 100 mg/kg, necesaria para considerarla como hiperacumuladora.

Otra importante familia de plantas hiperacumuladoras es la Pteridaceae, formada por plantas que carecen de semilla y con hojas grandes y pinadas, también llamadas “helechos”, como el cuamaquitzle o cilandrillo (*Adiantum andicola*). De esta familia, resaltan el helecho de Creta (*Pteris cretica*), el helecho de hoja delgada (*Pteris biaurita*) y el helecho chino (*Pteris vittata*) como plantas capaces de acumular arsénico (Zhao *et al.*, 2002).

De las plantas anteriores, *P. vittata* es la mayormente estudiada y, al igual que *A. halleri*, se considera modelo de estudio del fenómeno de hiperacumulación, específicamente de arsénico. *P. vittata* fue la primera planta identificada con esta capacidad por científicos estadounidenses en el año 2001, y desde entonces, los estudios realizados en ella han arrojado capacidades de acumulación del elemento en hoja (o fronda, en el caso de los helechos) y en raíz mayores a 5,000 mg/kg; es decir, cinco veces la cantidad mínima de arsénico de 1,000 mg/kg para considerarla como una planta hiperacumuladora.

IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS

El estudio de los mecanismos que estas plantas llevan a cabo, que les permiten hiperacumular elementos sumamente tóxicos, es la clave actual para el desarrollo de tecnologías de fitorremediación, con las cuales, mediante el uso de plantas, se busca disminuir las concentraciones o los efectos tóxicos de contaminantes en el ambiente. De esta forma, la restauración del suelo sucede de una manera más orgánica, menos agresiva y económicamente más eficiente, en comparación con otras técnicas convencionales basadas en ingeniería que pueden llegar a ser destructivas para el sitio y sumamente costosas (Greipsson, 2011).

Plantas hiperacumuladoras como *B. juncea*, para el caso de plomo y cadmio, y *P. vittata*, para arsénico, ya han sido exitosamente probadas para la remediación de dichos elementos en suelos contaminados en lugares como China, India, Italia, Japón y México. Sin embargo, no es posible atender todas las áreas contaminadas existentes únicamente con estas especies.

En la fitorremediación, un paso crucial es la selección de la planta a utilizar. En general, no solo se busca que las plantas sean resistentes, con gran capacidad de absorción del elemento de interés y que este no cause efectos nocivos en ella, sino cuidar aspectos como el ambiental, en el que la distribución de la planta juega un papel muy importante (Kafle *et al.*, 2022). La introducción de especies externas puede representar un problema de invasión que conlleva a desequilibrios en el ecosistema. Por eso, es necesaria no solo la búsqueda de nuevas especies con potencial hiperacumulador, sino también el estudio de las plantas ya conocidas que permita identificar los mecanismos de acción para así buscarlos en otras especies, aprovecharlos al máximo con la ayuda de otras sustancias, o intentar alterar otras plantas para que adquieran la misma característica sin afectar el equilibrio ambiental del sitio.

CONCLUSIÓN

Las plantas hiperacumuladoras representan una gran oportunidad de conocimiento y aplicación para la restauración total o parcial de suelos contaminados con metales tóxicos, ya que permiten la movilización, estabilización o extracción de elementos tóxicos para el ambiente, como es el caso de algunos metales y metaloides como el plomo, el cadmio y el arsénico. La ventaja de las plantas hiperacumuladoras por sobre plantas tolerantes es su resistencia a los efectos tóxicos que dichas sustancias pueden causar. El uso de plantas hiperacumuladoras en la fitorremediación se ha probado con éxito en suelos de uso agrícola que han sido contaminados, lo que significa el rescate del área para su reintegración en el ciclo de producción de alimentos, y la disminución del riesgo de alteración de la inocuidad alimentaria.

A pesar de que existen especies de plantas comestibles pertenecientes a la misma familia de hiperacumuladoras, aquellas no necesariamente cuentan con esta característica, por lo que su consumo no

representa un riesgo para la salud. La producción de plantas hiperacumuladoras se realiza con el propósito de estudiar y aprovechar sus ventajas biológicas y no con fines de demanda alimentaria. El estudio de los mecanismos de hiperacumulación es de suma importancia no solo para la búsqueda de nuevas especies en diferentes áreas geográficas, sino también para poder entender los fenómenos de tolerancia en plantas de interés alimenticio o comercial y conseguir que sean capaces de crecer en suelos agrícolas contaminados.

REFERENCIAS

- Chaki M, Begara-Morales JC and Barroso JB (2020). Oxidative stress in plants. *Antioxidants* 9(6):481.
- Collin S, Baskar A, Geevarghese DM, Ali MN, Bahubali P, Choudhary R, Lvov V, Tovar AI, Senatov F, Koppala S and Swamiappan S (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: a review. *JHM Letters* 3:100064.
- FAO y UNEP (2021). Global assessment of soil pollution – Summary for policymakers. FAO, Roma.
- Greipsson S (2011). Phytoremediation. *Nature Education Knowledge* 3(10):7.
- Honjo MN and Kudoh H (2019). *Arabidopsis halleri*: a perennial model system for studying population differentiation and local adaptation. *AoB PLANTS* 11(6), PLZ076.
- Kafle A, Timilsina A, Gautam A, Adhikari K, Bhattarai A and Aryal N (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances* 8:100203.
- Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, Cai Y and Kennelley ED (2001). A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature* 409:576.
- Reeves RD, Baker AJM, Jaffré T, Erskine PD, Echevarria G and Van der Ent A (2017). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist* 218(2):407-411.
- Sytar O, Ghosh S, Malinska H, Zivcak M and Brestic M (2020). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia Plantarum* 173(1):148-166.
- Zhao FJ, Dunham SJ and McGrath SP (2002). Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New Phytologist* 156(1):27-31.

L. Gilary Acosta-Lizárraga
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Magdalena E. Bergés-Tiznado
Unidad Académica de Ingeniería en Tecnología
Ambiental, Universidad Politécnica de Sinaloa
mberges@upsin.edu.mx