



Silicio: aliado de la remediación del suelo y la salud humana

Julio C. Anchondo-Paez¹
Esteban Sánchez-Chávez^{1*}
Carlos A. Ramírez-Estrada¹
Erick H. Ochoa-Chaparro¹
Ezequiel Muñoz-Márquez¹

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Av. 4 sur 3820, Fracc. Vencedores del desierto. 33089, Cd. Delicias, Chihuahua, México.

*Autor para correspondencia: esteban@ciad.mx, Tel: 639-4748400



La contaminación por metales pesados debido a la industrialización afecta la capacidad del suelo para producir alimentos sanos y seguros. La aplicación de nanopartículas de silicio es una propuesta innovadora para mejorar la salud del suelo, disminuyendo la absorción de metales pesados y aumentando la cantidad de nutrientes esenciales en los cultivos agrícolas, ayudando a las poblaciones vulnerables con deficiencias nutricionales.

Introducción

Actualmente, los residuos derivados de la industrialización son un problema de salud pública a nivel mundial. Algunos de estos residuos son los metales pesados como el cadmio, arsénico y plomo, que provocan la contaminación de los suelos y dificultan la toma de nutrientes esenciales para los cultivos agrícolas. Para resolver este problema, se han propuesto diferentes métodos físicos, químicos y biológicos para la remediación del suelo, encontrándose entre ellos la aplicación de silicio. Este elemento se encuentra en gran abundancia en la corteza terrestre y está presente en varios productos usados en la vida diaria (Figura 1). El silicio puede mejorar la salud del suelo gracias a su capacidad para hacer que los metales pesados se queden en el suelo de una manera efectiva y económica, ayudando que las plantas solamente obtengan los nutrientes necesarios.

Las plantas toman los metales pesados del suelo y los movilizan a los frutos y/o granos que después llegan a nuestra mesa en los alimentos que consumimos, lo que causa problemas de salud

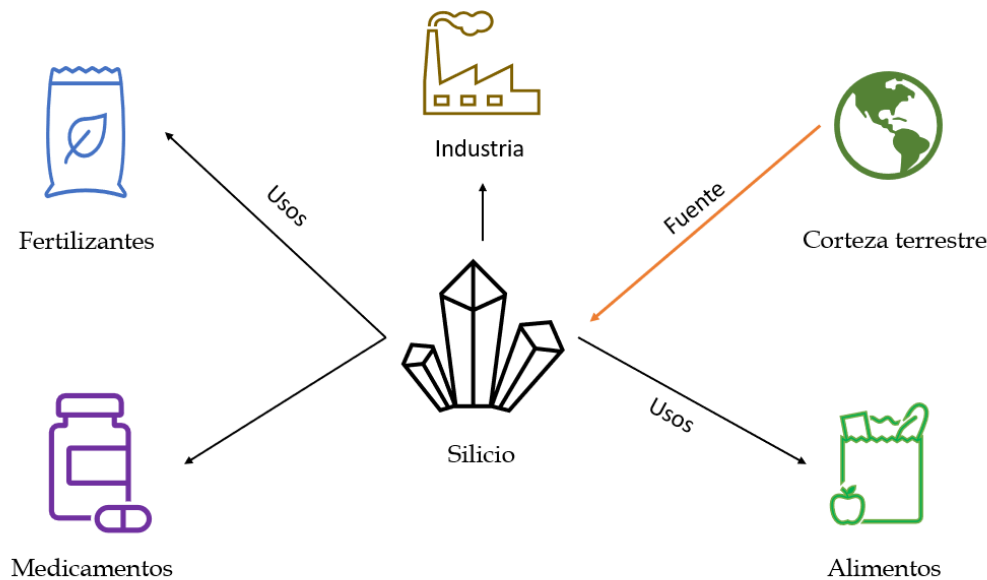
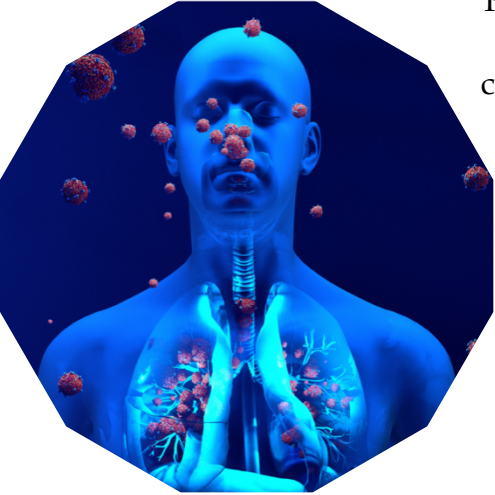


Figura 1. Fuentes y usos del silicio en la vida diaria.

Contaminación del suelo, un problema de salud pública

La contaminación del suelo se da por diferentes razones, siendo una de ellas por metales pesados como el cadmio, plomo y arsénico. Aunque estos se encuentran de manera natural en las rocas, suelo y arena normalmente no representan riesgos para los seres vivos debido a su baja concentración. Sin embargo, la industrialización, el rápido crecimiento de la población y la urbanización son una fuente considerable de metales pesados que son arrojados al suelo, ocasionando la pérdida de fertilidad y calidad de dichos suelos. Además, estos metales pesados pueden durar mucho tiempo antes de degradarse, como es el caso del plomo, que puede durar hasta 150 años en el suelo. Esto repercute en la salud porque cuando las plantas adquieren los nutrientes del suelo también toman los metales pesados y los movilizan a los frutos y/o granos que después llegan a nuestra mesa en los alimentos que consumimos, causando algunas enfermedades (Figura 2).





Por ejemplo, la presencia de cadmio en el cuerpo produce efectos tóxicos en los riñones y huesos además de ser cancerígeno. En casos extremos, el cadmio provoca la enfermedad de Itai-Itai, que es la deformación de la columna al presentarse múltiples fracturas y osteoporosis. Por su parte, la intoxicación por arsénico causa problemas en el sistema digestivo, cardiovascular y nervioso, lo que puede llevar a la muerte. Uno de sus síntomas más comunes es la sensación de sabor metálico en la boca y la dificultad para deglutir alimentos. En el caso del plomo, las cantidades elevadas dañan los riñones, causan infertilidad y se moviliza por la sangre, lo que afecta al bebé durante el embarazo.

El otro problema relacionado con la contaminación es la falta de nutrientes como el hierro y el zinc en el suelo. La falta de estos nutrientes en partes comestibles de las plantas genera problemas de salud, ya que se estima que alrededor de 2 billones de personas alrededor del mundo sufren deficiencia de estos elementos. Una enfermedad común de la deficiencia del hierro es la anemia, que es cuando la sangre no puede transportar oxígeno en cantidad suficiente a los órganos del cuerpo. Por otro lado, la disgeusia, causada por la deficiencia de zinc, se caracteriza por la sensación del gusto disminuida, mal sabor de boca y la incapacidad de disfrutar los alimentos adecuadamente. Como se puede observar, la salud del suelo tiene fuerte influencia en la cantidad y calidad de los alimentos. Por ello, es necesario reducir la cantidad de metales pesados en el suelo a la vez que se aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales, para que la planta pueda tomarlos y produzca alimentos seguros y sanos.

● Cadmio ● Hierro ● Zinc ● Aluminio



Figura 2. Transporte de metales pesados y elementos esenciales a través de la cadena alimenticia.



La aplicación del silicio para mejorar la salud del suelo

En los últimos años se ha propuesto el uso de silicio, especialmente en su presentación de nanopartículas, para mejorar la salud del suelo. Las llamadas nanopartículas son muy pequeñas, por lo que requieren de un microscopio para poder observarlas. Gracias a su pequeño tamaño son fácilmente absorbidas y distribuidas alrededor de la planta generando efectos benéficos, sobre todo en situaciones desfavorables o de estrés. Estos beneficios incluyen disminuir las deficiencias nutricionales donde se ha reportado que la aplicación de silicio incrementa el contenido de hierro y zinc en plantas de arroz, al mismo tiempo que redistribuye metales como cobre y zinc hacia las hojas jóvenes y el fruto.

Esto es posible gracias a la acción del silicio, que promueve la fabricación de proteínas de transporte, las moléculas encargadas de transportar los nutrientes desde la raíz hacia las hojas y el fruto. En casos de deficiencia, el silicio impulsa la creación de más proteínas de transporte, con el objetivo de movilizar la mayor cantidad posible del nutriente faltante, aumentando su contenido dentro de la planta. Otro beneficio del silicio es que impide la acumulación de metales pesados en grandes cantidades al incrementar el grosor, el número y tamaño de las hojas a la vez que los redistribuye por la planta, limitando su concentración. La aplicación de silicio también inmoviliza los metales pesados en el suelo al unirse a ellos, dificultando su transporte hacia la planta y provocando que se queden alojados en la raíz (Figura 3). Además, en caso de toxicidad por metales pesados, el silicio reduce la cantidad de proteínas transportadoras, lo que modera su cantidad dentro de la planta.

La salud del suelo tiene fuerte influencia en la cantidad y calidad de los alimentos

● Cadmio ● Hierro ● Zinc ● Aluminio ● Cobre ● Silicio

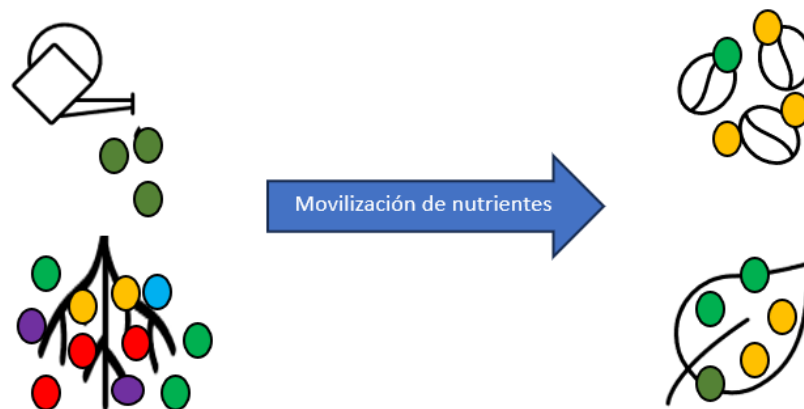


Figura 3. Efecto de la aplicación de silicio sobre la movilización de nutrientes. La aplicación de silicio inmoviliza a los elementos tóxicos en las raíces.



Retos de la aplicación de silicio

Para que un cultivo sea ideal para el consumo humano, este debería contener elementos esenciales en cantidades elevadas pero que también no contenga metales pesados en sus tejidos. Sin embargo, alcanzar este objetivo conlleva una serie de retos.

Uno de los retos es cómo incrementar el acaparamiento de silicio en la planta, ya que para que este realice su función, tiene que ser absorbido en grandes cantidades. La acumulación de silicio es dependiente de su disponibilidad en el suelo, así como, la capacidad de la planta para tomarlo. La fertilización a base silicio es una opción para mejorar la nutrición vegetal en cultivos que tienen dificultades para obtener silicio como el tomate, pepino, fresa y naranjo.

La aplicación de silicio tiene mucho potencial para aliviar la contaminación en los suelos por metales pesados e incrementar la cantidad de nutrientes

Otra área de oportunidad es identificar las plantas con mayor capacidad de producir proteínas transportadoras de silicio. Por ejemplo, el arroz de la variedad japónica acumula más silicio que la variedad índica debido a la cantidad de transportadores disponibles. La identificación de estas

plantas permitiría el desarrollo de nuevas variedades capaces de una mayor absorción de silicio, a través de procesos de selección y reproducción.

Otra dificultad que superar es que cuando las plantas absorben los nutrientes esenciales, estos pueden no ser suficientes para cubrir las necesidades humanas, aun con la aplicación de silicio (Figura 4).

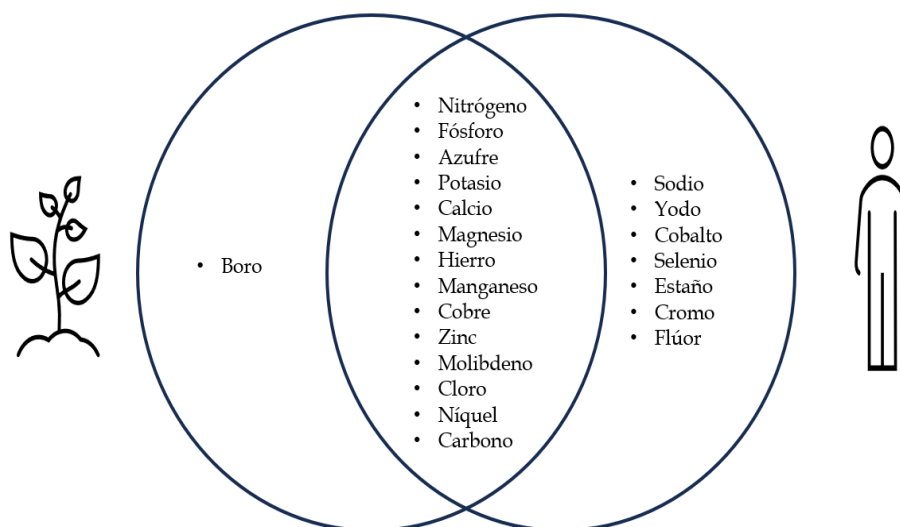


Figura 4. Lista de elementos esenciales para la planta, para los humanos y para ambos.



Las plantas han desarrollado sistemas de transporte de nutrientes esenciales para ellas, pero que no son requeridos para los humanos. A manera de ejemplo, las plantas no tienen un transportador específico para selenio y yodo, estos elementos son movidos por los transportadores del silicio y el cloro. Por ello, es difícil manipular a estos transportadores para elevar el contenido de elementos esenciales para el ser humano, ya que se afectaría a las propias necesidades de la planta.

Conclusiones

El suelo es parte esencial del medio ambiente y es necesario para el crecimiento de los cultivos agrícolas. Sin embargo, la contaminación por metales pesados está extendido por el mundo y representa serios riesgos para la agricultura y la salud humana. La aplicación de silicio es una solución prometedora que tiene mucho potencial para aliviar a los suelos de la contaminación por metales pesados. Esta opción ofrece remediar los suelos contaminados de una manera efectiva y económica, comparados con las otras tecnologías. El silicio inmoviliza dichos metales impidiendo que entren a la planta y provoca cambios dentro de esta, estimulándola para que produzca proteínas de transporte, incrementando la cantidad de nutrientes esenciales tanto para la planta como para el ser humano. Al mejorar la salud del suelo se puede promover una alimentación en cantidad y calidad suficientes para las poblaciones vulnerables alrededor del mundo.



Literatura recomendada



Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash, P. K., ... y Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants. *Plants*, 8(3), 71. <https://doi.org/10.3390/plants8030071>

Octavio-Aguilar, P., y Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), 43-47. <https://doi.org/10.29057/h.v4i1.8630>

Olvera, S. M. R., Merino, F. C. G., Téllez, L. I. T., Aragón, L. H., y Fuentes, L. T (2021) Silicio incrementa el contenido de hierro, cobre y zinc en plantas de arroz. *Agricultura protegida, clonación y germoplasma*, 24(2), 46-59.



Semblanzas de autores

M.C. Julio César Anchondo Páez. Estudiante de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), miembro del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal. Las líneas de investigación en las cuales se trabaja son: Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición de cultivos hortícolas y Fisiología del estrés en plantas.

Dr. Esteban Sánchez Chávez. Investigador Titular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3, líder del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal. Las líneas de investigación que cultiva son: Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas, Nanotecnología aplicada a la agricultura, Nutrición de cultivos hortofrutícolas y Fisiología del estrés en plantas.

M.C. Carlos Abel Ramírez Estrada. Maestría en ciencias, con terminación en Horticultura, estudiante de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y miembro del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal.

M.A. Erick Humberto Ochoa Chaparro. Maestro en Agronegocios y Estudiante de doctorado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), miembro del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal. Las líneas de investigación en las cuales se trabaja son: Nanotecnología aplicada a la agricultura, Agricultura de precisión, Nutrición de cultivos hortícolas y Fisiología del estrés en plantas.

Dr. Ezequiel Muñoz Márquez. Técnico Académico del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Coordinación Delicias, Chihuahua. Miembro del Grupo de Investigación en Fisiología y Nutrición Vegetal. Las líneas de investigación que cultiva son: Nutrición de cultivos hortofrutícolas, Fitopatología Nanotecnología aplicada a la agricultura.

Envía tus contribuciones científicas a la revista **Terra Latinoamericana**, órgano de difusión de la SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, A. C.

Terra Latinoamericana es de publicación continua y publica artículos científicos originales de interés para la comunidad de la ciencia del suelo y agua.

TERRA
Latinoamericana



ISSN Electrónico 2395 - 8030

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>