

Los nanomateriales de hierro optimizan la eliminación de cadmio en suelos contaminados

- El estudio del IGME-CSIC supone un avance hacia protocolos más eficaces de remediación de suelos agrícolas o industriales afectados por cadmio
- Los resultados demuestran la necesidad de diseñar estrategias adaptadas a cada tipo de suelo

Madrid, 9 de diciembre de 2025

Un equipo internacional de investigación en el que participa Diego Baragaño del IGME-CSIC ha demostrado que la aplicación combinada de nano hierro cero-valente (nZVI) y plantas hiperacumuladoras puede mejorar significativamente la descontaminación de suelos afectados por cadmio (Cd), uno de los metales pesados más tóxicos y persistentes en el medio ambiente. El trabajo analiza, por primera vez, cómo la edad del nanomaterial y el tipo de suelo modifican la disponibilidad del metal y su movimiento desde el suelo hacia las plantas.

El estudio se llevó a cabo en dos suelos industriales altamente contrastados: un arenosol procedente de Avilés (España) y un fluvisol de Pířbram (República Checa), ambos con presencia elevada de Cd. En ellos se cultivó la hiperacumuladora *Noccaea caerulescens*, una especie capaz de extraer grandes cantidades de metales desde el suelo. Los suelos se trataron con nano hierro cero-valente en dos condiciones: material “fresco” recién aplicado y material “envejecido”, tras un año de interacción con el suelo.

Los resultados abren la puerta al diseño de estrategias de descontaminación específicas para cada suelo, integrando la evolución de los nanomateriales, las propiedades físico-químicas del entorno y los mecanismos biológicos de transporte y almacenamiento del metal en las plantas.

La combinación de **estabilización química mediante nZVI y fitoextracción con hiperacumuladoras**, aplicada de forma estratégica, se perfila como una solución prometedora para suelos agrícolas o industriales afectados por cadmio.

Importancia del estudio

El cadmio es un contaminante prioritario para la salud humana y ambiental. Se acumula con facilidad en plantas y puede incorporarse a la cadena alimentaria incluso en concentraciones bajas. Los métodos actuales de remediación suelen centrarse en la estabilización química o en la extracción mediante plantas, pero apenas se conocían los mecanismos que gobiernan su posible sinergia.

Este trabajo aporta **nuevos conocimientos mecanísticos**, utilizando trazadores de isótopos estables de Cd para seguir su recorrido desde el suelo hasta las raíces y brotes. La investigación demuestra que:

- El envejecimiento del nZVI modifica de forma dinámica la interfaz suelo-planta.
- La materia orgánica del suelo y la acidez influyen decisivamente en el éxito de la estabilización.
- La fitoextracción puede complementar, pero también limitar, la acción del nanomaterial según el tipo de suelo.

Resultados clave

- **Efecto marcado del tipo de suelo.**
En el arenosol, de carácter alcalino y pobre en materia orgánica, el nZVI envejecido redujo la biodisponibilidad del cadmio hasta en un **68 %**, debido a la formación de óxidos de hierro que inmovilizan el metal.
- **Reducción de la absorción de Cd por las raíces.**
Tanto el nZVI fresco como el envejecido limitaron la entrada de cadmio en las raíces, especialmente en el arenosol, actuando como un agente eficaz de estabilización química.
- **Comportamiento diferente en suelos ácidos.**
En el fluvisol, más ácido y con mayor contenido en materia orgánica, la acción del nZVI fue más limitada: la biodisponibilidad del Cd apenas varió con el envejecimiento del material, aunque la planta por sí sola redujo el Cd del agua del suelo hasta en **25 veces**.
- **Cambios en la movilización del metal dentro de la planta.**
En ambos suelos, las raíces tendieron a acumular los isótopos de cadmio más ligeros, mientras que los brotes almacenaron los más pesados. Este patrón sugiere procesos biológicos como la **secuestro vacuolar** y la **selección en el transporte por el xilema**, esenciales para comprender la fitoextracción.
- **Sinergia entre nZVI y plantas hiperacumuladoras.**
En el arenosol, la combinación de nZVI envejecido y fitoremediación permitió reducir el cadmio del agua del suelo en un **88 %**, y la extracción por planta representó hasta un **68 %** del total movilizado. En el fluvisol, sin embargo, la fitoremediación resultó más eficaz que la estabilización química por nZVI, demostrando la necesidad de diseñar estrategias adaptadas a cada tipo de suelo.

Más información.

Para ampliar la información pueden contactar con Diego Baragaño, en el correo electrónico d.baragano@igme.es

Contacto

Unidad de Cultura Científica y de la Innovación
Alicia González Rodríguez
alicia.gonzalez@igme.es
CN IGME-CSIC.

Página web: www.igme.es

El CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC) tiene como misión principal proporcionar a la Administración General del Estado y de las Comunidades Autónomas que lo soliciten, y a la sociedad en general, el conocimiento y la información precisa en relación con las Ciencias y Tecnologías de la Tierra para cualquier actuación sobre el territorio. El IGME es, por tanto, el centro nacional de referencia para la creación de infraestructura del conocimiento, información e I+D+i en Ciencias de la Tierra. Para ello abarca diversos campos de actividad tales como la geología, el medio ambiente, la hidrología, los recursos minerales, los riesgos geológicos y la planificación del territorio. Las instalaciones del IGME comprenden el edificio que alberga su sede central, el Museo Geominero, y la biblioteca; doce oficinas de proyectos distribuidas por el territorio español; laboratorios, almacenes y una litoteca, y todas disponen de los equipos y medios técnicos más avanzados.