



## Influencia de Quitomax® en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas en suelo con altos niveles de iones metálicos

### Influence of chitosan on sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants grown with high levels of metal ions

<sup>1</sup>Omar E. Cartaya-Rubio<sup>1\*</sup>, <sup>1</sup>Ana María Moreno-Zamora<sup>1</sup>,  
<sup>2</sup>Fernando Guridi-Izquierdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

<sup>2</sup>Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", (UNAH), carretera a Tapaste y Autopista Nacional, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700

**RESUMEN:** La presente investigación tuvo como propósito evaluar la influencia de la quitosana en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.), crecidas en suelos contaminados con altos niveles de iones metálicos y proponer una alternativa económica, simple y natural. Se evaluó la bioacumulación de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en las plantas cultivadas en un periodo de 60 días, para ello, se realizaron tratamientos que incluían el suelo contaminado y la aplicación foliar de Quitomax®, a diferentes concentraciones. Al finalizar las evaluaciones se evidenció que la planta de girasol absorbe los metales pesados, confirmando que la aplicación de Quitomax® contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo, además de contribuir en un mayor desarrollo del cultivo.

**Palabras clave:** contaminación, bioestimulantes, cationes.

**ABSTRACT:** The purpose of this research was to evaluate the influence of chitosan on sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) in soils contaminated with high levels of metal ions and to propose an economic, simple and natural alternative. The bioaccumulation of Lead (Pb) and Cadmium (Cd) was evaluated in the cultivated plants in a period of 60 days, for this, treatments were carried out that included the contaminated medium and the foliar application of Quitomax® at different concentrations. At the end of the evaluations, it was evidenced that the sunflower plant absorbs heavy metals, confirming that the application of Quitomax® contributes to solubilizing the Pb and Cd of the soil, in addition to contributing to a greater development of the crop.

**Key words:** pollution, biostimulants, cations.

\*Autor para correspondencia: [ocartaya@inca.edu.cu](mailto:ocartaya@inca.edu.cu)

Recibido: 07/06/2021

Aceptado: 07/10/2021

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses

**Contribución de los autores:** **Conceptualización:** Omar E. Cartaya Rubio **Investigación:** Omar E. Cartaya-Rubio, Ana María Moreno-Zamora, y Fernando Guridi-Izquierdo **Metodología:** Omar E. Cartaya-Rubio y Ana María Moreno-Zamora **Supervisión:** Omar E. Cartaya-Rubio **Escritura del borrador inicial:** Omar E. Cartaya-Rubio y Ana María Moreno-Zamora **Escritura y edición final:** Omar E. Cartaya-Rubio y Ana María Moreno-Zamora **Curación de datos:** Ana María Moreno-Zamora y Fernando Guridi-Izquierdo

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable y su regeneración es muy lenta, estando sometido constantemente a procesos de destrucción y degradación, siendo vulnerable a perturbaciones, tanto naturales como antrópicas; entre ellas, la erosión, la degradación y la contaminación (1).

La comunidad científica mundial presta atención a los problemas relacionados con la influencia antropogénica en el cambio de las propiedades de los suelos, ocurrida por el uso agrícola no eficiente y bajo condiciones poco sustentables (2).

El interés ambiental por la presencia de los metales pesados en suelos agrícolas está relacionado con su carácter acumulativo, su poca biodegradabilidad, su capacidad de acumulación inadvertida en el suelo hasta concentraciones tóxicas y su interacción con diferentes propiedades del suelo que determinan su movilidad y biodisponibilidad (3).

Diferentes autores han demostrado que las plantas son efectivas en la limpieza de suelos contaminados y tienen la capacidad de acumular metales pesados de manera natural en pequeñas y altas cantidades (4), ya que actúan por requerimientos funcionales o mecanismos de defensa, lo que se conoce como fitorremediación.

Recientemente, se ha establecido la existencia de sustancias naturales, denominadas bioestimulantes, que al aplicarse a las semillas y las plantas pueden actuar como aceleradores del metabolismo celular e influir positivamente en el crecimiento, desarrollo y protección contra enfermedades de las plantas, lo cual conduce al incremento significativo del rendimiento y al saneamiento de los frutos (5).

Dentro de los bioestimulantes más conocidos se encuentra el quitosano, derivado de la quitina, polímero natural muy abundante que se extrae del exoesqueleto de los crustáceos. En el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba, se obtiene la formulación conocida como Quitomax® (RFC No. 010/17) (6), cuyo principio activo es el quitosano. El mismo se ha empleado con éxito en la estimulación del rendimiento y sus componentes en el frijol y la papa (7,8), siendo un compuesto de origen natural, biodegradable y que no causa daños al medio ambiente.

Teniendo en cuenta las potencialidades del Quitomax® en el crecimiento y el desarrollo de las plantas, se realizó el siguiente trabajo, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de Quitomax®, en la respuesta de plántulas de girasol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas en un medio con altos niveles de iones metálicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo, clasificado como Ferralítico Rojo (9), se recolectó en áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y se contaminó con plomo y cadmio a la concentración de 300 mg kg<sup>-1</sup> y 15 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Este experimento se desarrolló en condiciones semi-controladas, en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad y se utilizaron, como modelo de planta hiperacumuladora, semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.). Inicialmente, se realizó la evaluación del porcentaje de poder germinativo del girasol, mediante el tratamiento con agua.

El Quitomax® se obtuvo en el INCA, según la metodología propuesta (6) y se aplicó de forma foliar a los 10 días de emergidas las plantas. Los tratamientos realizados se muestran en la Tabla 1.

En todas las experiencias se utilizaron diez recipientes plásticos por cada tratamiento, se sembraron tres semillas de girasol por bolsa, para asegurar su crecimiento y reducir la probabilidad de perder un individuo por muerte, durante la prueba experimental. Se empleó un diseño completamente aleatorizado y el riego se realizó aplicando 500 mL de agua, cada dos días.

Al suelo contaminado y sin contaminar se le determinó el contenido de cationes intercambiables, a partir de una extracción con NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7 y determinación por valoración con EDTA (Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>), fotometría de llama (K<sup>+</sup>), el contenido de materia orgánica se determinó según el método colorimétrico de Walkley y Black y el pH por el método potenciométrico, con una relación suelo:agua de 1:2,5 (10).

Para la determinación de los contenidos pseudototales de metales pesados, se empleó 0,5 g de las muestras tamizadas; las cuales fueron digeridas con 4 mL de HCl/HNO<sub>3</sub> (3:1) (v:v); para el contenido de metales biodisponibles se agitaron 0,25 g de muestra con EDTA (0,02 mol L<sup>-1</sup>) durante 24 horas (11) y las concentraciones,

**Tabla 1.** Tratamientos de Quitomax® a plantas de girasol, con diferentes concentraciones, en suelo contaminado con plomo y cadmio

Tratamientos	Descripción de los tratamientos	
	Suelo	Quitomax®
1	Control	-
2	Pb 300 mg kg <sup>-1</sup>	-
3	Pb 300 mg kg <sup>-1</sup>	Aspersión foliar (1 g L <sup>-1</sup> ) (dosis 10 mL planta <sup>-1</sup> )
4	Pb 300 mg kg <sup>-1</sup>	Aspersión foliar (1,5 g L <sup>-1</sup> ) (dosis 10 mL planta <sup>-1</sup> )
5	Cd 15 mg kg <sup>-1</sup>	-
6	Cd 15 mg kg <sup>-1</sup>	Aspersión foliar (1 g L <sup>-1</sup> ) (dosis 10 mL planta <sup>-1</sup> )
7	Cd 15 mg kg <sup>-1</sup>	Aspersión foliar (1,5 g L <sup>-1</sup> ) (dosis 10 mL planta <sup>-1</sup> )

en todos los casos, se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica.

A los 60 días de emergidas las plantas se les evaluaron la longitud de la raíz, la altura de las plantas (a partir del borde del suelo, desde el tallo, hasta el ápice del tallo principal), la masa seca de la parte aérea y raíz (secados a 70 °C, hasta lograr un peso constante), el contenido de metales pesados en la raíz y la parte aérea de la planta, de acuerdo a lo descrito (12), bajo la técnica de espectroscopia de absorción atómica.

Los resultados se procesaron utilizando el paquete estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS), versión 25,0. Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA), para mostrar las diferencias de significación para  $p \leq 0,05$  y Duncan prueba estadística *post hoc* para comparar las medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la evaluación de parámetros físico-químicos que influyen en la disponibilidad y la distribución de los metales pesados en los suelos empleados se presentan en la [Tabla 2](#).

Se evidenció que la principal modificación provocada por la contaminación artificial del suelo fue un descenso considerable en el pH, aunque todas las magnitudes evaluadas (sin considerar los contenidos de los cationes de los metales pesados en estudio), tuvieron valores ligeramente superiores a los encontrados en el suelo sin contaminar, excepto para la materia orgánica.

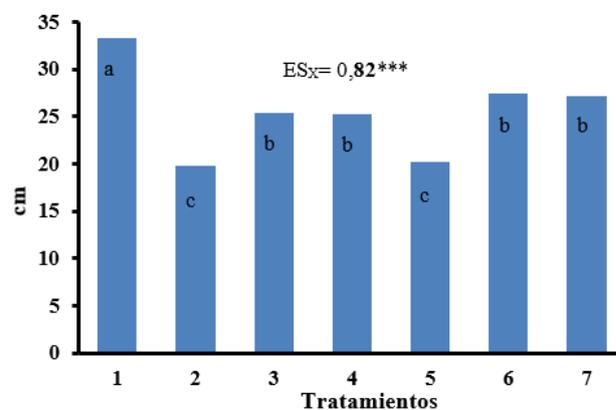
Los bajos contenidos de materia orgánica, como los encontrados en los suelos en estudio, pueden conllevar a una alta disponibilidad de los cationes metálicos, dada la función reguladora que ella tiene en la biodisponibilidad de los metales pesados, por enlazarse a los mismos (13).

El cambio presentado en el pH puede influir, notablemente, en la fertilidad del suelo. Se conoce que a valores de pH cercanos a 7, los macronutrientes tienen una elevada movilidad en el suelo y su mayor tasa de asimilación por las plantas, mientras la absorción de los cationes metálicos se ve limitada, en especial, los metales pesados (14).

Otros autores plantean que, los valores de pH bajo en suelos contaminados favorecen la absorción de niveles extremadamente excesivos o tóxicos de metales, fenómeno que se ha comprobado en plantas desarrolladas en sustratos con pH ácido (15).

Los valores encontrados de los cationes metálicos Pb y Cd (208,24 y 8,26 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), en el suelo que se contaminó artificialmente en este experimento, se consideran un nivel considerable de contaminación, ya que son muy superiores a los informados anteriormente (16), al determinar el contenido disponible de metales pesados en suelos ferralíticos con baja actividad antrópica.

Al evaluar el efecto de la aspersión foliar de diferentes concentraciones de Quitomax® sobre la altura de las plantas de girasol cultivadas en un suelo contaminado ([Figura 1](#)), se registraron diferencias entre todas ellas y el control (T1). Dentro de las plantas crecidas en suelo contaminado, se destacó el hecho de que las plantas contaminadas con diferentes metales, donde se aplicó el producto a diferentes concentraciones, no mostraron diferencias entre ellas y superaron, significativamente, a las plantas que no se les aplicó el producto.



T1-suelo no contaminado (Control), T2-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>), T3-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T4-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>), T5-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>), T6-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T7- suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>).

\*Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tuckey para  $p \leq 0,05$

**Figura 1.** Altura de plantas de girasol cultivadas en suelo contaminado con Pb y Cd y tratadas con Quitomax®

**Tabla 2.** Características químicas y físico-químicas de los suelos estudiados

Indicadores	Suelo no Contaminado	Suelo Contaminado Pb	Suelo Contaminado Cd
Materia orgánica (%)	3,07± 0,02	2,03± 0,03	2,03± 0,03
P (ppm)	158,4±2,2	265,6±0,2	243,8±0,2
K (cmol kg <sup>-1</sup> )	5,78±0,01	6,44±0,01	5,78±0,01
Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	35,63±0,12	38,43±0,12	35,63±0,12
Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	9,8±0,3	13,73±0,3	9,8±0,3
pH (H <sub>2</sub> O)	7,2	6,3	5,3
Metal (mg kg <sup>-1</sup> )	85,6/4,3	208,24	8,26

Los resultados de la evaluación de la longitud de la raíz, se presentan en la **Figura 2**. Se observó que las plantas crecidas en el medio contaminado, donde se aplicó el Quitomax® a diferentes concentraciones, mostraron valores inferiores a las del tratamiento control (T1), pero superiores a las plantas crecidas en medio contaminado sin la aplicación del Quitomax®.

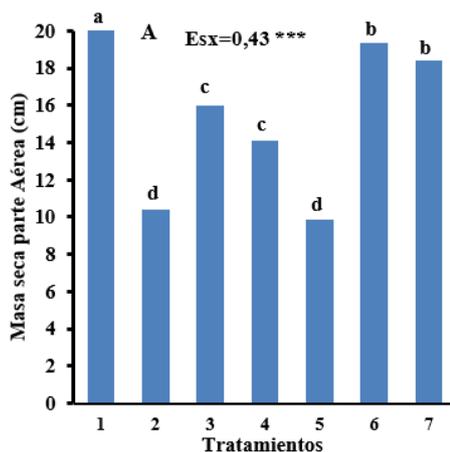
Es de destacar que, con el tratamiento T4 (suelo contaminado con Pb y aspersión foliar de Quitomax® a 1,5 g L<sup>-1</sup>), las plantas lograron una longitud de la raíz que superan la longitud de la raíz de las plantas contaminadas, a las cuales no se le aplicó Quitomax® (T2, T5), aunque no logran igualar la longitud de las raíces de los otros tratamientos con aplicaciones de Quitomax®.

Las plantas cultivadas en un medio con altos niveles de metales pesados reducen su crecimiento, lo que se ha atribuido a la disminución de la biosíntesis de giberelinas y de triptófano, metabolitos que influyen en la división celular.

Este comportamiento puede ser debido al efecto regulador del crecimiento que presentan el Quitomax®, lo que sugiere que su aplicación puede atenuar la toxicidad o, al menos, estimular el crecimiento de las plantas de girasol, sometidas a un medio con altos niveles de metales pesados.

Al analizar el efecto de los diferentes cationes metálicos en la masa seca de la raíz y la parte aérea de las plantas de girasol tratadas con Quitomax® (**Figura 3**), se hizo evidente la afectación que produce la contaminación del medio en este indicador.

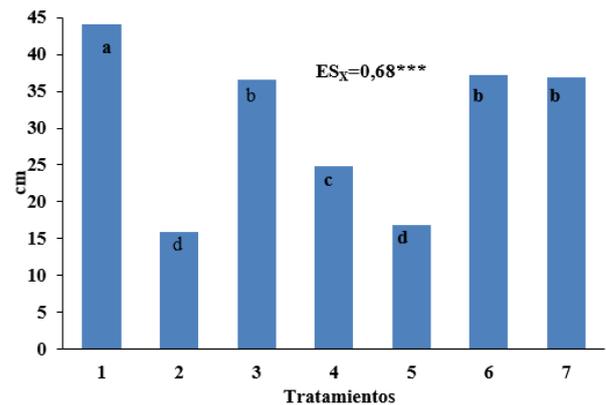
Se comprobó que ninguna de las diferentes concentraciones de Quitomax® aplicadas atenuó completamente el efecto de la contaminación en la masa seca de la parte aérea (**Figura 3 A**), aún cuando favorecieron este indicador, en comparación con las plantas en medio contaminado, en que no se aplicó el Quitomax®.



T1-suelo no contaminado (Control), T2-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>), T3-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T4-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>), T5-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>), T6-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T7- suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>).

\*Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tuckey para p<0,05

**Figura 3.** Masa seca de la parte aérea (A) y de la raíz (B) de plantas de girasol cultivadas en suelo contaminado con Pb y Cd y tratadas con Quitomax®

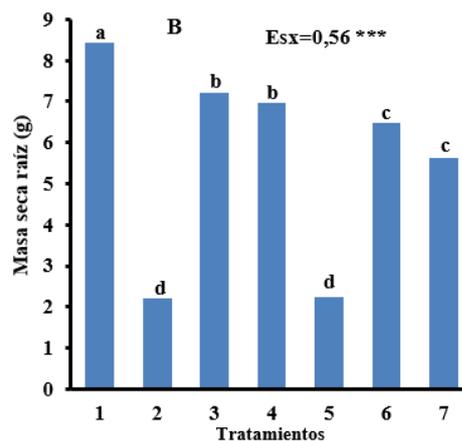


T1-suelo no contaminado (Control), T2-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>), T3-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T4-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>), T5-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>), T6-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T7- suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>).

\*Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tuckey para p<0,05

**Figura 2.** Longitud de la raíz de plantas de girasol cultivadas en suelo contaminado con Pb y Cd y tratadas con Quitomax®

Además, se detectó que las diferentes concentraciones estudiadas no mostraron diferencias significativas entre ellas. Así mismo, se lograron los mejores resultados cuando se asperja a una concentración de 1 g L<sup>-1</sup> de Quitomax®. En cuanto a la masa seca de la raíz (**Figura 3B**), se registró una tendencia semejante a la masa seca de la parte aérea.



Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa, debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (17). Esto se debió a la toxicidad de los metales, no solo de su concentración, sino de la movilidad y reactividad de los compuestos para la solubilidad de los metales.

En resumen, se comprobó el efecto positivo que provoca la aplicación de Quitomax® en estos indicadores del crecimiento de plantas de girasol, cultivadas en medio con altos niveles de los cationes Cd(II) y Pb(II), siendo la concentración de 1 g L<sup>-1</sup>, en dosis de 10 mL x planta, con la que se obtienen los resultados más importantes. Además, hay que tener en cuenta que los registros sobre el desarrollo del girasol describen un periodo de 100 y de 120 días para alcanzar su máxima altura y biomasa, respectivamente; en este experimento, el cultivo del girasol solo duró 60 días, para evaluar su tolerancia a la acumulación de plomo y cadmio en suelos contaminados.

Las concentraciones de metales pesados empleadas no resultan ser letales para las plantas de girasol, ya que no se manifestaron efectos fitotóxicos visibles, lo que propició que las plantas desarrollaran mecanismos de adaptación ante las altas concentraciones metálicas que le permiten subsistir en estas condiciones (18). Estos mecanismos incluyen: inmovilización de los iones tóxicos en la pared celular, impedimento de la absorción a través de las capas del protoplasma; inducción al estrés proteico como protección a la toxicidad metálica; compartimentación y formación de compuestos con ácidos orgánicos e inorgánicos (19,20).

En la **Tabla 3**, se muestran los niveles de los cationes metálicos Cd(II) y Pb(II) en las raíces, hoja y tallo de las plantas de girasol. Se evidenció, en todos los tratamientos, que la raíz es el órgano donde se produce la mayor acumulación para los dos cationes metálicos.

En general, se verificó que con la aplicación de Quitomax®, prácticamente en todas las concentraciones utilizadas, se registró un incremento en la concentración de los cationes en todas las partes de las plantas, por lo que

se manifestó el efecto estimulador de la aplicación del producto.

La acumulación de metales tóxicos en los diferentes órganos de las plantas de girasol se presentó en el siguiente orden: raíz>hojas>tallo. Esto ha sido también observado en otros trabajos (21), comportamiento que se atribuye a que algunas especies basan su resistencia a los metales en la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte hacia la parte aérea (22).

Los metales, para acumularse en los diferentes órganos de las plantas, deben movilizarse y ser absorbidos del suelo, secuestrado en la raíz, para luego en el xilema ser transportados a las partes aéreas de la planta. Cada paso requiere una interacción compleja de compuestos quelatantes y transportadores específicos para cada catión metálico, lo que afecta su tasa de acumulación en las plantas (23,24), de ahí, el diferente contenido de los cationes metálicos encontrados en los diferentes órganos de las plantas de girasol.

En el caso del plomo, este metal fijó mayores contenidos en las raíces, especialmente, en aquellas correspondientes a los tratamientos donde se aplicó Quitomax®. En el caso de hojas y tallos, se observó que las hojas concentraron más plomo que los tallos.

Respecto al cadmio, mostró un comportamiento similar, aunque éste tiene una mayor movilidad a través de la planta.

Aunque se ha señalado que los altos contenidos de plomo en las raíces se deben a la formación de enlaces plomo-fosfato (25), que incrementan la masa de los tejidos, o a la retención de plomo incrustado en la estructura lignina-celulosa, ya que la raíz de la planta secreta enzimas, aminoácidos y azúcares, que estimulan el crecimiento de microorganismos y propician una red radicular muy pronunciada y ramificada; sin embargo, los resultados de este estudio señalaron menores masas cuanto más cantidad de plomo acumuló el girasol, de manera similar a lo reportado por otros autores (26). Por otra parte, se ha planteado que la absorción de cadmio se debe a la transpiración de mucílagos que engrosan la capa

**Tabla 3.** Concentración de metales pesados (mg kg<sup>-1</sup> masa seca) en raíz, hoja y tallo de las plantas de girasol tratadas con Quitomax® a los 60 días de desarrollo

Tratamientos	Raíz	Hoja	Tallo
1	6,62	33,3	33,32
2	34,32	14,39	3,79
3	127,76	25,36	5,36
4	125,25	25,25	9,29
5	1,88	1,43	0,8
6	3,8	7,2	4,22
7	3,5	6,47	3,71

T1-suelo no contaminado (Control), T2-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>), T3-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T4-suelo contaminado (Pb 300 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>), T5-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>), T6-suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1 g L<sup>-1</sup>), T7- suelo contaminado (Cd 15 mg kg<sup>-1</sup>) y aspersión foliar Quitomax® (1,5 g L<sup>-1</sup>)

Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de Tuckey para p≤0,05

externa de la raíz y a la formación de complejos metálicos (27), lo cual pareció ocurrir en este experimento, facilitado por las cantidades discretas de este contaminante presentes en el suelo.

## CONCLUSIONES

- El girasol posee capacidad fitorremediadora, debido a que logra bioacumular Cd y Pb en la masa foliar para todos los tratamientos, reduciendo de esta manera la concentración de metal pesado en el suelo.
- El Quitomax® muestra potencialidades para ser utilizado en la fitorremediación de suelos contaminados, con el empleo de plantas hiperacumuladoras, pues atenúa la toxicidad del metal, estimula su crecimiento y desarrollo y la extracción de metales pesados

## BIBLIOGRAFÍA

1. Burbano-Orjuela H. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2016;33(2):117-24. doi:[10.22267/rcia.163302.58](https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58)
2. Reyes-Rodríguez R, Guridi-Izquierdo F, Valdés-Carmenate R. El manejo del suelo modifica a sus ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados. *Cultivos Tropicales*. 2018;39(2):15-20.
3. Li X, Wang X, Chen Y, Yang X, Cui Z. Optimization of combined phytoremediation for heavy metal contaminated mine tailings by a field-scale orthogonal experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;168:1-8. doi:[10.1016/j.ecoenv.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.012)
4. Yazdanbakhsh A, Alavi SN, Valadabadi SA, Karimi F, Karimi Z. Heavy metals uptake of salty soils by ornamental sunflower, using cow manure and biosolids: A case study in Alborz city, Iran. *Air, Soil and Water Research*. 2020;13:1-13.
5. Rostami S, Azhdarpoor A. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. *Chemosphere*. 2019;220:818-27. doi:[10.1016/j.chemosphere.2018.12.203](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.203)
6. Ramírez MÁ, González P, Fagundo JR, Suarez M, Melian C, Rodríguez T, et al. Chitin preparation by demineralizing deproteinized lobster shells with CO<sub>2</sub> and a cationite. *Journal of Renewable Materials*. 2017;5(1):30.
7. Morales-Guevara D, Torres-Hernández L, Jerez-Mompíe E, Falcón-Rodríguez A, Amico-Rodríguez JD. Efecto del Quitomax en el crecimiento y rendimiento del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*. 2015;36(3):133-43.
8. Morales Guevara D, Dell-Amico Rodríguez J, Jerez-Mompíe E, Díaz-Hernández Y, Martín-Martín R. Efecto del QuitoMax® en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*. 2016;37(1):142-7.
9. Jiménez A, Cabrera A, Benítez Y, Vargas D, Fundora A, Díaz M, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. Ediciones INCA: Mayabeque, Cuba. 2014. 156 p.
10. Paneque V, Calderon M, Calaña JM, Borges Y, Caruncho M. Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas: Habana, Cuba. 2005.
11. Cordeiro F, Guridi F. Use of ethyldiamine acetic acid to evaluate the bioavailability of heavy metals in lettuce. *Rev. Avances en Investigación Agropecuaria*. 2009;13(3):35-46.
12. Alaboudi KA, Ahmed B, Brodie G. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*. 2018;63(1):123-7. doi:[10.1016/j.aoads.2018.05.007](https://doi.org/10.1016/j.aoads.2018.05.007)
13. Reyes-Rodríguez R, Guridi-Izquierdo F, Valdés-Carmenate R, Cartaya-Rubio O, Reyes-Rodríguez R, Guridi-Izquierdo F, et al. Propiedades biológicas, ácidos húmicos y metales pesados biodisponibles en suelo Ferralítico bajo diferentes usos agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(3).
14. Nascimento RS de MP do, Ramos MLG, Figueiredo CC de, Silva AMM, Silva SB, Batistella G. Soil organic matter pools under management systems in Quilombola Territory in Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2017;21(4):254-60. doi:[10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p254-260](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p254-260)
15. Portuondo-Farías L, Martínez-Balmori D, Guridi-Izquierdo F, Calderín-García A, Machado-Torres JP. Structural and functional evaluation of humic acids in interaction with toxic metals in a cultivar of agricultural interest. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2017;26(3):39-46.
16. Reyes-Rodríguez R, Pierre G, Guridi-Izquierdo F, Valdés-Carmenate R. Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2014;23(3):37-40.
17. Barzola Y, Rocio K. Técnicas de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos aplicables en el cantón Salinas. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena; 2020.
18. Gutiérrez-Espinoza LR, Melgoza-Castillo A, Alarcón-Herrera MT, Ortega-Gutiérrez JA, Prado-Tarango DE, Cedillo-Alcantar ME. Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 2011;2(1):49-56.
19. Ye Y, Dong W, Luo Y, Fan T, Xiong X, Sun L, et al. Cultivar diversity and organ differences of cadmium accumulation in potato (*Solanum tuberosum* L.) allow the potential for Cd-safe staple food production on contaminated soils. *Science of The Total Environment*. 2020;711:134534. doi:[10.1016/j.scitotenv.2019.134534](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134534)
20. Madera-Parra CA, Peña-Salamanca EJ, Solarte-Soto JA. Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y competitividad*. 2014;16(2):179-88.

21. Rivelli AR, Maria SD, Puschenreiter M, Gherbin P. Accumulation of Cadmium, Zinc, and Copper by *Helianthus Annuus* L.: Impact on Plant Growth and Uptake of Nutritional Elements. *International Journal of Phytoremediation*. 2012;14(4):320-34. doi:10.1080/15226514.2011.620649
22. Zhao X, Joo JC, Lee J-K, Kim JY. Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model. *Chemosphere*. 2019;220:965-73. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.12.210
23. Alonso-Bravo JN, Montaña-Arias NM, Santoyo-Pizano G, Márquez-Benavides L, Saucedo-Martinez BC, Sánchez-Yáñez JM. Biorecuperación y fitorremediación de suelo impactado por aceite residual automotriz. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 2018;9(1):45-51.
24. Mirzaei-Aminiyani M, Baalousha M, Mousavi R, Mirzaei-Aminiyani F, Hosseini H, Heydariyan A. The ecological risk, source identification, and pollution assessment of heavy metals in road dust: a case study in Rafsanjan, SE Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(14):13382-95. doi:10.1007/s11356-017-8539-y
25. Yang W, Wang S, Ni W, Rensing C, Xing S. Enhanced Cd-Zn-Pb-contaminated soil phytoextraction by *Sedum alfredii* and the rhizosphere bacterial community structure and function by applying organic amendments. *Plant and Soil*. 2019;444(1):101-18. doi:10.1007/s11104-019-04256-x
26. Zhang Y, Tian Y, Hu D, Fan J, Shen M, Zeng G. Is vermicompost the possible in situ sorbent? Immobilization of Pb, Cd and Cr in sediment with sludge derived vermicompost, a column study. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;367:83-90. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.12.085
27. Navarro-Aviñó JP, Alonso IA, López-Moya JR. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas: Ecosistemas. 2007;16(2):1-7