



*Fitorremediación en suelos contaminados por cadmio para mitigar el metal pesado*

*Phytoremediation in cadmium-contaminated soils to mitigate the heavy metal*

*Fitorremediação em solos contaminados com cádmio para mitigar o metal pesado*

Jennifer Alejandra Obando-Reinoso <sup>I</sup>  
[a.obando@istvicenteleon.edu.ec](mailto:a.obando@istvicenteleon.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0003-4554-0676>

Alex Rafael Amón-De La Guerra <sup>II</sup>  
[a.amon@istvicenteleon.edu.ec](mailto:a.amon@istvicenteleon.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0003-9867-4205>

Milton Ricardo Sandoval-Barbosa <sup>III</sup>  
[r.sandoval@istvicenteleon.edu.ec](mailto:r.sandoval@istvicenteleon.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-1310-3186>

Víctor Rodrigo Herrera-Chancusi <sup>IV</sup>  
[v.herrera@istvicenteleon.edu.ec](mailto:v.herrera@istvicenteleon.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0009-7243-8494>

**Correspondencia:** [a.obando@istvicenteleon.edu.ec](mailto:a.obando@istvicenteleon.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 11 de enero de 2024 \* **Aceptado:** 20 de febrero de 2024 \* **Publicado:** 14 de marzo de 2024

- I. Instituto Superior Tecnológico Vicente León, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Vicente León, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico Vicente León, Ecuador.
- IV. Instituto Superior Tecnológico Vicente León, Ecuador.



## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la calidad del suelo de estudio que se encuentra en contacto con las aguas provenientes por sus derivaciones del río Cutuchi, a través del análisis de variables físico-químicas, se investigó la fitorremediación con girasoles como plantas remediadoras, su sembrío, cuánto tiempo dura en brotar y ver cuánta contaminación puede disminuir, tomando en cuenta que el ciclo de vida del girasol termina en unos 90 a 125 días después de ser sembrado. A lo largo del río se realizó dos estaciones de muestreo, una en un terreno ubicado en Pastocalle y la segunda ubicada en un terreno de Mulalo, donde se recolectaron las muestras de suelo y agua para analizar el cadmio como metal pesado e identificar qué tan contaminadas se encuentran estas zonas. El propósito de este proyecto es tratar de eliminar los contaminantes del suelo, y junto a la planta de girasol absorber algunos metales pesados en la fisiología de ésta; de esta manera podremos identificar cuánto nos ha ayudado la fitorremediación en la disminución de cadmio presente en los suelos de estudio, para disminuir la degradación de los suelos. Es un hecho que la sociedad puede hacer cambios en su estilo de vida con el fin de detener la contaminación del ecosistema para que en un futuro esa zona pueda ser suministrada a plantas, animales y humanos, para así poder disminuir enfermedades que afectan principalmente a los riñones, buscar concientizar a las personas para realizar este tipo de actividades para la reducción de los metales pesados ya que no es muy costosa la solución.

**Palabras clave:** fitorremediación; suelos; contaminación; derivaciones; enfermedades.

## Abstract

The main objective of this work was to determine the quality of the study soil that is in contact with the water coming from its derivations of the Cutuchi River, through the analysis of physical-chemical variables, phytoremediation was investigated with sunflowers as remedial plants. your seed, how long it takes to sprout and see how much contamination can be reduced, taking into account that the life cycle of the sunflower ends in about 90 to 125 days after being planted. Two sampling stations were carried out along the river, one in a field located in Pastocalle and the second located in a field in Mulalo, where soil and water samples were collected to analyze cadmium as a heavy metal and identify how contaminated they were. these areas are found. The purpose of this project is to try to eliminate contaminants from the soil, and together with the sunflower plant,

absorb some heavy metals in its physiology; In this way we will be able to identify how much phytoremediation has helped us in reducing cadmium present in the study soils, to reduce soil degradation. It is a fact that society can make changes in its lifestyle in order to stop the contamination of the ecosystem so that in the future that area can be supplied to plants, animals and humans, in order to reduce diseases that mainly affect animals. kidneys, seek to raise people's awareness to carry out this type of activities to reduce heavy metals since the solution is not very expensive.

**Keywords:** phytoremediation; floors; pollution; derivations; diseases.

## Resumo

O objetivo principal deste trabalho foi determinar a qualidade do solo de estudo que está em contato com a água proveniente de suas derivações do Rio Cutuchi, através da análise de variáveis físico-químicas, foi investigada a fitorremediação com girassóis como plantas corretivas. semente, quanto tempo leva para brotar e ver o quanto a contaminação pode ser reduzida, levando em consideração que o ciclo de vida do girassol termina em cerca de 90 a 125 dias após o plantio. Foram realizadas duas estações de amostragem ao longo do rio, uma num campo localizado em Pastocalle e a segunda localizada num campo em Mulalo, onde foram recolhidas amostras de solo e água para analisar o cádmio como metal pesado e identificar o grau de contaminação destas áreas. são encontrados. O objetivo deste projeto é tentar eliminar contaminantes do solo, e junto com a planta do girassol, absorver alguns metais pesados da sua fisiologia; Desta forma poderemos identificar o quanto a fitorremediação nos ajudou na redução do cádmio presente nos solos de estudo, para diminuir a degradação do solo. É fato que a sociedade pode realizar mudanças em seu estilo de vida a fim de estancar a contaminação do ecossistema para que no futuro aquela área possa ser abastecida para plantas, animais e humanos, a fim de reduzir doenças que afetam principalmente os rins, os animais. procurar sensibilizar as pessoas para a realização deste tipo de atividades de redução de metais pesados, uma vez que a solução não é muito cara.

**Palavras-chave:** fitorremediação; pisos; poluição; derivações; doenças.

## Introducción

A nivel mundial en cuanto a la contaminación de los suelos por cadmio su impacto negativo en los ecosistemas, especialmente en la salud humana y los materiales metálicos, el desarrollo urbano, el

cambio de la superficie terrestre y el cambio climático son fenómenos resultantes de la explosión demográfica. Una de las causas más predominantes es el uso de plaguicidas, ya que es utilizado por la mayoría de los agricultores para sus cultivos; el inadecuado manejo del mismo es la causa de la degradación del suelo, deterioro de microfauna, concentración de metales pesados y afectación a la salud de las personas. La actividad industrial y minera arroja metales venenosos como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (CD), arsénico (ACE) y cromo (CR), muy dañino para la salud humana y para la mayoría de las formas de vida. Además, los metales provienen de las fuentes de emisión generadas por humanos. (Herrera.T, 2022).

En la provincia de Cotopaxi el cadmio es uno de los metales pesados más tóxicos, generalmente los metales pesados están presentes en el suelo y en las plantas en medianas concentraciones, lo que origina la degradación en los suelos provocando problemas ambientales debido a la facilidad de la movilidad de este metal, se debe tomar en cuenta que el cadmio se encuentra por lo general asociado a otros elementos contaminantes como el arsénico, boro ,cobalto ,cromo, cobre ,molibdeno, manganeso, níquel, selenio, y zinc; que son metales que se encuentran presentes en el río Cutuchi, estos metales afectan negativamente el sistema endocrino y causan graves enfermedades en la salud. Ingerir en alimentos o agua potable con un nivel muy alto de cadmio produce una irritación severa del estómago, lo que conduce a vómitos y diarrea y en ciertos casos la muerte. Si la fuente de alimento tiene un nivel de cadmio más bajo durante un período largo puede causar la acumulación de cadmio en los riñones. Si se alcanza un nivel bastante alto causaría daño renal. El efecto de un nivel más bajo de cadmio durante un período largo puede aumentar la fragilidad de los huesos para que puedan romperse fácilmente. (Bricio.Y, 2021).

En los suelos de estudio ubicados en Pastocalle y Mulalo, los niveles de contaminación por metales pesados se han identificado en plantas reduce el crecimiento, la actividad de la fotosíntesis, el contenido de clorofila y causa clorosis, especialmente en hojas jóvenes. Además, perturban la entrada y el transporte nutricional y causa estrés oxidativo y efectos sobre la actividad enzimática, animales presentan afectaciones en los riñones y los huesos y los seres humanos, ya que el cadmio se considera un cancerígeno que ataca principalmente a los riñones, daña el sistema de filtración y provoca una importante excreción de proteínas y azúcares; además se debe tomar en cuenta que una vez que un suelo alcanza la madurez y el equilibrio adecuados, los metales pesados puede estar activo durante largos períodos de tiempo, este equilibrio puede verse alterado fácilmente por actividades humanas, la degradación se produce mucho más rápido y puede incluso conducir a la

destrucción y desgaste de los suelos más rápidos. El gran problema es que en el sector de estudio la mayoría de la población se dedica a la ganadería y agricultura, por lo tanto, el río Cutuchi está expuesto a altas concentraciones de metales pesados ya que los agricultores se deshacen de las altas cantidades de fertilizantes que afectan las aguas del río.

## **Metodología**

La presente investigación es de tipo mixta, ya que primero se realizará una investigación bibliográfica o teórica, para tener un conocimiento previo de los contaminantes presentes, métodos de muestreo de suelo y agua, las afecciones que puede provocar el cadmio en el medio ambiente y a los seres vivos, como plantar los *heliannthus annuus* (girasoles); para luego poner en práctica lo consultado mediante una investigación de campo en los terrenos ubicados en Pastocalle y Mulalo.

## **Tipos de investigación**

**Investigación teórica:** Se obtuvieron conocimientos acerca de cómo la fitorremediación con girasoles nos ayuda a mejorar los suelos agrícolas que están contaminados por el cadmio.

**Investigación de campo:** Se ha realizado el estudio de suelos agrícolas contaminados por el cadmio y así poder identificar los daños ocasionados por la contaminación; mediante la fitorremediación con girasoles, se disminuyó el exceso del cadmio y mejoró la calidad del suelo.

## **Tipos de técnicas**

**Técnica de retrospectiva:** En este caso realizamos esta investigación partiendo de la causa que es la contaminación de los suelos agrícolas por el cadmio, el efecto que tiene el cadmio en el medio ambiente y los seres vivos, las causas por las que afecta este metal pesado en los suelos, aire, animales y seres humanos, ya que con esta agua contaminada se nutren las tierras aledañas al río y en algunas zonas cercanas se distribuyen como agua de regadío, así como esto no es nada favorecedor.

**Técnica de observación de campo:** se aplicó esta técnica cuando se recolectó información mediante muestras de suelo para luego hacer pruebas en laboratorios y obtener el porcentaje de cadmio que se encuentra en el suelo que recolectamos.

## **Tipos de métodos**

**Fito volatilización:** Algunas plantas absorben contaminantes (metales pesados) y los liberan a la atmósfera en una forma menos tóxica a través de la transpiración. La planta transforma o descompone los contaminantes antes de que sean liberados.

**Fito estabilización:** A través de una variedad de mecanismos, las plantas pueden unir o inmovilizar los contaminantes en sus raíces y/o sus áreas afectadas. Este proceso limita la migración y la biodisponibilidad de los contaminantes, por lo tanto, reduce significativamente el potencial impacto negativo sobre el medio ambiente y su transferencia a la cadena alimentaria.

## **Resultados y discusión**

En el presente proyecto se planea tener como resultado una mejora continua en el desarrollo de la descontaminación de las tierras con el método de fitorremediación con girasoles, este proceso ayudará al mejoramiento de las áreas afectadas que dejó el exceso de cadmio en el suelo, el método que utilizaremos tendrá un gran beneficio para el medio ambiente y los seres humanos que habitan en estos alrededores, en el proceso se planifica tener avances positivos en la reducción del metal pesado presente en los suelos de estudios ubicados en Pastocalle y Mulalo, ya que este contaminante podría generar un efecto negativo en los cultivos y afectar a la salud de personas y animales.

Con la reducción del contaminante se planea tener una mejora en la calidad de vida del entorno y a la vez beneficios en las comunidades cercanas al sitio de estudio, ya que se podría prevenir enfermedades causadas por el cadmio.

Al presentar un método alternativo, económico y beneficioso, que se lo puede llevar a la práctica en cualquier terreno, además de ser aplicable por cualquier persona, para generar una mejor calidad de vida sin tanta contaminación en sus áreas de cultivos y puedan alimentarse sanamente con los productos de la tierra, además de la posibilidad de aumentar sus cultivos orgánicos y disminuir la presencia de plagas y la muerte de sus cultivos sembrados en estas zonas de estudio.

El muestreo se realizó en dos terrenos con sus respectivas aguas de regadío:

Los parámetros máximos permitidos para suelos se obtuvieron de la TABLA 3: CRITERIOS DE REMEDIACIÓN O RESTAURACIÓN, según el tipo de uso del suelo para agricultura.



<b>Muestra 1: Sector Mulalo</b>			
<b>Contaminante</b>	<b>Parámetro para suelo establecido</b>	<b>Resultado muestra 1 de suelo</b>	<b>Resultado muestra 2 de suelo</b>
Cadmio (Cd)	2 mg/kg	< 1,5 mg/kg	< 1 mg/kg
<b>Muestra 2: Sector Pastocalle</b>			
<b>Contaminante</b>	<b>Parámetro para suelo establecido</b>	<b>Resultado muestra 1 de suelo</b>	<b>Resultado muestra 2 de suelo</b>
Cadmio (Cd)	2 mg/kg	< 1,5 mg/kg	< 1 mg/kg

La investigación que se realizó fue en dos terrenos aledaños al río Cutuchi o las aguas de sus derivaciones que se utilizan para desarrollar actividades agrícolas y pecuarias; aunque en los resultados observados no se encuentra el cadmio fuera de los límites permisibles si está cerca del límite máximo es por ello que es recomendable realizar alguna actividad de fitorremediación o de mitigación de esta contaminante ya que es muy peligroso cuando ingresa directamente a cualquier factor biótico eco sistemático; en nuestro trabajo de campo realizamos la técnica de la fitorremediación la misma que se desarrolló al plantar los *Helianthus annuus* (girasoles) en una pequeña muestra, cabe recalcar que se utilizó la misma agua de riego sin embargo se logró disminuir el contaminante en cuestión como observamos en el resultado muestra 2 de suelo, por ello concluimos que aunque el resultado no dura mucho tiempo se probó que si se puede disminuir la contaminación, el tiempo que dura la mitigación es 4 meses ya que en ese tiempo la planta llega a su estado maduro.

Los parámetros máximos permitidos para aguas se obtuvieron de la TABLA 6: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA.

<b>Muestra 1: Sector Mulalo</b>		
<b>Contaminante</b>	<b>Parámetro para agua establecido</b>	<b>Resultado muestra 1 de agua</b>
Cadmio (Cd)	0,01 mg/lit	0,009 mg/lit
<b>Muestra 2: Sector Pastocalle</b>		
<b>Contaminante</b>	<b>Parámetro para agua establecido</b>	<b>Resultado muestra 1 de agua</b>
Cadmio (Cd)	0,01 mg/lit	0,009 mg/lit



## Discusión

Latacunga y Salcedo, poseen suelos agrícolas muy fértiles, pero también presentan algunos problemas para el desarrollo de esta actividad ya que a las a las riberas del río Cutuchi los terrenos son lugares contaminados por diferentes fuentes industriales por tal motivo se ha identificado que el cadmio cada vez va incrementando su concentración es por ello que requieren recuperación.

Por estas razones el presente estudio experimental, buscó solubilizar el elemento contaminante (cadmio) presentes en el suelo agrícolas (objetos de estudio) ubicados en las riberas del río Cutuchi con enmiendas orgánicas: cultivos de *Helianthus annuus* (girasol), a fin de que el metal pesado en estudio pueda ser extraído por el girasol.

Para tal efecto se evaluaron los efectos de la aplicación del cultivo mediante análisis de laboratorio como se puede observar en el apartado de resultados muestra 1 de suelo de los dos lugares de estudio, aunque no estaban fuera de los ámbitos máximos permitidos por la legislación correspondiente si están cerca de sobrepasarlos en agua como el suelo el metal está presente.

Después de realizar el cultivo del girasol se pueden observan en el apartado de resultados de la muestra 2, que proporciona una disminución representativa del contaminante presente en los factores abióticos del ecosistema tomando en consideración que es en un corto tiempo de cuatro meses tiempo en el cual la plata llega a su etapa madura por lo tanto ya no puede seguir absorbiendo más el contaminante.

## Conclusiones

- Tomar en cuenta los tiempos de crecimiento del girasol, ya que el mismo necesita mínimo 125 días después de haber replantado los girasoles en los suelos agrícolas de estudio
- La tapa de cultivo se dividirá en cinco etapas según lo indica (Zhao et al., 2019):
  - a) su establecimiento durante los primeros 20 días
  - b) una temporada de desarrollo vegetativo de 1 mes
  - c) floración a lo largo de 30 días
  - d) formación de rendimiento de 25 días
  - e) la madurez por 15 días

- Después de la madures del girasol se la debe dejar hasta que se marchite para que durante todo el tiempo de vida pueda seguir absorbiendo el contaminante y acumulándolo en todas las partes de la plata.
- Al realizar este tipo de solución natural se debe verificar que planta el fitorremediadora y que contaminante puede reducir o eliminar el ecosistema contaminado.

## Referencias

1. Barrionuevo, G., & Sanchez, B. (2020). Incidencia del cadmio en el medio ambiente. Obtenido de: <https://tecnosolucionescr.net/blog/205-incidencia-del-cadmio-en-el-medio-ambiente>
2. Bricio, Y. (2021). El cadmio como metal pesado:problemas y efectos en el suelo y plantas. Obtenido de: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9279/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Cerron, R., & et al. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. Obtenido de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2077-99172018000400011&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-99172018000400011&lng=pt&nrm=iso)
4. Debaeke, P., & Bedoussac, L. (2017). La historia del girasol. Obtenido de: <https://wikifarmer.com/es/la-historia-del-girasol/>
5. Diaz, G., & et al. (2023). Práctica docente en educación ambiental y habilidades proambientales en el estudiantado de quinto grado de primaria. Actualidades Investigativas en Educación, 6. Obtenido de: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-47032019000300368](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-47032019000300368)
6. Diaz, P., & Plaza, M. (2021). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (*Zea mays*) en la zona norte de la provincia de Los Ríos. Obtenido de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6164>
7. Garcia, M. (2009). Contaminacion del agua. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rodriguez-80/publication/263925744\\_La\\_hidrosfera\\_El\\_ciclo\\_del\\_agua\\_La\\_contaminacion\\_del\\_agua\\_Metodos\\_de\\_analisis\\_y\\_depuracion\\_El\\_problema\\_de\\_la\\_escasez\\_del\\_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-ci](https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rodriguez-80/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-ci)

8. Gil, S., & et al. (2018). Seguridad, Salud y Medio Ambiente de Trabajo y su vínculo con otros sistemas de gestión. Obtenido de: [https://www.seguroscaracas.com/portal/paginasv4/biblioteca\\_digital/PDF/1/Documentos/Riesgo%20Laboral/Cuba\\_Sistemas%20de%20seguridad,%20Salud,%20MA%20de%20Trabajo.pdf](https://www.seguroscaracas.com/portal/paginasv4/biblioteca_digital/PDF/1/Documentos/Riesgo%20Laboral/Cuba_Sistemas%20de%20seguridad,%20Salud,%20MA%20de%20Trabajo.pdf)
9. Grandez, M. (2017). Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus Annus*) y maíz (*Zea Mays*) usando enmiendas. Lima, Peru.
10. Hernandez, L. (1998). Estudios De Los Niveles De Plomo, Cadmio, Zinc y Acernico, En Aguas De La Provincia De Salamanca. Obtenido de: [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/resp/v72n1/plomo.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/resp/v72n1/plomo.pdf)
11. Hernandez, Y., & et al. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. Obtenido de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362019000300010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010)
12. Herrera, T. (2022). La contaminación con cadmio en los suelos agrícolas. Obtenido de: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33821698/cadmio-libre.pdf?1401360449=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIO\\_EN\\_SUELOS\\_AG.pdf&Expires=1686607642&Signature=ME~9Oa5YnPWGBbBHpHLGtoAjS2JpaGgU-Lb455xsyog0XxLk-iN4ETX](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33821698/cadmio-libre.pdf?1401360449=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AG.pdf&Expires=1686607642&Signature=ME~9Oa5YnPWGBbBHpHLGtoAjS2JpaGgU-Lb455xsyog0XxLk-iN4ETX)
13. Juste, I. (2021). Contaminación del suelo: causas, consecuencias y soluciones. Obtenido de: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>
14. Mejia, T. (2022). Ciclo del cultivo del girasol. Obtenido de: <https://www.lifeder.com/ciclo-de-vida-del-girasol/>
15. Munive, R., & Gamarra, G. (2018). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. Obtenido de: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172020000200177](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000200177)

16. Navarro, J. (2018). Definición de Girasol. Obtenido de:  
<https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/girasol.php>
17. Núñez, R., & Meas, Y. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Biotecnología y biología molecular. Obtenido de:  
[https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)
18. Ortega, J. (2019). Como alteraativa para la remocion de nitratos y otros . Obtenido de:  
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5522/6/PC-000615.pdf>
19. Ortiz, J. (2017). Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud. Contaminación del agua por metales. Obtenido de:  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/JAVIER%20ORTIZ%20SANCHEZ.pdf>
20. Ramirez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Obtenido de:  
<https://www.redalyc.org/pdf/379/37963107.pdf>
21. Trivedi, P., & Axe, L. (2000). Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides. Environ. Sci. Technol., vol. 34, no. 11, pp. 2215–2223.
22. Velásquez, J. (2022). Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica. Obtenido de:  
<http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2153488002/>