

Investigación básica para Fitoremediación con Zeolita en suelo contaminado con Cd en Ecuador

Basic research for Phytoremediation with Zeolite on the soil contaminated with Cd in Ecuador

Pesquisa básica para Fitoremediação com Zeólita um solo contaminado com Cd no Equador

DOI: 10.34188/bjaerv8n4-056

Submetido: 30-08-2025

Aprovado: 15-09-2025

Kentaro Tomita

Ph.D.

Universidad de Shinshu

Campus de Ingeniería de Nagano - Japón

Facultad de Ciencias de la Vida, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Guayaquil, Ecuador

E-mail: ktomita@espol.edu.ec

RESUMO

Ecuador enfrenta un problema localizado de contaminación por Cadmio (Cd), relacionado con la minería, el petróleo y algunos suelos agrícolas, afectando especialmente la exportación de cacao. Actualmente, tiene problemas de contaminación de Cd en sus suelos, por ello se debe encontrar métodos adecuados para eliminar el Cd.

En el presente trabajo, estudiamos la recuperación del suelo contaminado con diferentes niveles Cd por Fitoremediación con diferentes niveles de zeolita. Para esto, se realizó los tres cultivos consecutivos de Komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis* or var. *komatsuna*), con diferentes niveles del Cd aplicado artificial (0, 2,5, 5,0 y 10 ppm) para evaluar la aplicación de la zeolita (0, 1250, 2500 y 3750 kg/ha) con tres repeticiones bajo condición de maceta para sembrar 10 semillas y 500g del suelo seco ácido proveniente de la región de Oriente.

De los resultados obtenidos del análisis de varianza en el promedio de los tres cultivos, se observó diferencia significativa del 1% para Cd, Zeolita e Interacción del Cd x Zeolita en la absorción del elemento en la planta, y se observó la más alta absorción en el tratamiento con 10ppm del Cd y 3750kg/ha de la zeolita y fue de 0,0890mgCd /10 plantas secas /maceta, comparando con el tratamiento con 10ppm del Cd y 0kg/ha de la zeolita (0,0347mg/Cd)

Por la aplicación adecuada de la zeolita, se pudo encoger a alrededor de la mitad del número de cultivos consecutivos en comparación con el número en el testigo. Para el 2,5 y 5,0ppmCd aplicado en el suelo, se recomendó la aplicación de 1250kg/ha de la zeolita en cada cultivo, mientras que para el 10ppm, fue mejor que aplique 3750kg/ha en el primer cultivo (Se pudo encoger al 0,39 en comparación con el testigo cuyo es de 1,0 como la proporción del número consecutivo).

Palavras-chave: Fitoremediación, zeolita, Cadmio, Komatsuna, suelo contaminado

ABSTRACT

Ecuador faces a localized problem of Cadmium (Cd) contamination, related to mining, oil production, and certain agricultural soils, which especially affects cocoa exports.

Actually, it has problems of Cd contamination in its soil, and therefore it must be found suitable methods to eliminate Cd. In this work, it studied the recovery of contaminated soil with different Cd levels by Phytoremediation with different levels of zeolite. For this, it was carried out, the three consecutive

cultures of Komatsuna (*Brassica rapa* var. *Perviridis* or var. *Komatsuna*), with different levels of artificially applied Cd (0, 2.5, 5.0 and 10 ppm) to evaluate the application of zeolite (0, 1250, 2500 and 3750 kg/ha) with three repetitions under pot condition to sow 10 seeds and 500g of acidic dry soil from the East (Amazon) region.

From the obtained results of the analysis of variance in the average of the three crops, it was observed a significant difference at 1% for Cd, Zeolite and Interaction of Cd x Zeolite in the absorption of the element in the plant, and it was observed the highest absorption in treatment with 10ppm of Cd and 3750kg/ha of zeolite and it was 0.0890mgCd/10 dry plants/pot, in comparison with treatment with 10ppm of Cd and 0kg/ha of zeolite (0.0347mg / Cd)

In fact, it was possible to shrink about half the number of consecutive cultures, in comparison with the control. When it applied 2.5 and 5.0ppmCd to the soil, it was recommended 1250kg/ha of the zeolite application in each crop, while when it was applied 10ppm, it was better to apply 3750kg/ha in the first crop (It was possible to shrink to 0.39 in comparison with the control which is 1.0 as the proportion of the consecutive number).

Keywords: Phytoremediation, zeolite, Cadmium, Komatsuna, contaminated soil

RESUMEN

Ecuador se enfrenta a un problema localizado de contaminación por cadmio (Cd), relacionado con la minería, la producción de petróleo y determinados suelos agrícolas, que afecta especialmente a las exportaciones de cacao.

En realidad, tiene problemas de contaminación por Cd en su suelo, por lo que debe encontrar métodos adecuados para eliminar el Cd. En este trabajo, se estudió la recuperación de suelos contaminados con diferentes niveles de Cd mediante fitorremediación con diferentes niveles de zeolita. Para ello, se llevaron a cabo tres cultivos consecutivos de komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis* o var. *Komatsuna*), con diferentes niveles de Cd aplicado artificialmente (0, 2,5, 5,0 y 10 ppm) para evaluar la aplicación de zeolita (0, 1250, 2500 y 3750 kg/ha) con tres repeticiones en condiciones de maceta para sembrar 10 semillas y 500 g de suelo seco ácido de la región oriental (Amazonas).

A partir de los resultados obtenidos del análisis de varianza en el promedio de los tres cultivos, se observó una diferencia significativa al 1 % para el Cd, la zeolita y la interacción del Cd x zeolita en la absorción del elemento en la planta, y se observó la mayor absorción en el tratamiento con 10 ppm de Cd y 3750 kg/ha de zeolita, que fue de 0,0890 mg Cd/10 plantas secas/maceta, en comparación con el tratamiento con 10 ppm de Cd y 0 kg/ha de zeolita (0,0347 mg/Cd).

De hecho, fue posible reducir aproximadamente a la mitad el número de cultivos consecutivos, en comparación con el control. Cuando se aplicaron 2,5 y 5,0 ppm de Cd al suelo, se recomendó la aplicación de 1250 kg/ha de zeolita en cada cultivo, mientras que cuando se aplicaron 10 ppm, fue mejor aplicar 3750 kg/ha en el primer cultivo (fue posible reducir a 0,39 en comparación con el control, que es 1,0 como proporción del número consecutivo). .

Palabras clave: Fitorremediación, zeolita, cadmio, komatsuna, suelo contaminado

1 INTRODUÇÃO

Recientemente, la minería artesanal de oro y la industria petrolera (especialmente en la Amazonía) son las principales fuentes de contaminación. Las fugas de agua producida y residuos industriales han afectado suelos y ríos.

En Ecuador tiene problema de la contaminación del Cd y no se puede ignorar la producción agrícola, teniendo en cuenta alta absorción en la parte comercial en los productos agrícolas en

algunas regiones. Especialmente, tiene el problema donde cultiva el Cacao (*Theobroma cacao*) y no se puede vender el grano con más de 1,0ppm del elemento.

En varias zonas cacaoteras en Ecuador, los suelos contienen altos niveles de Cd, y los granos superan el límite de la Unión Europea (0,6 mg/kg). Sin embargo, existe gran variabilidad regional: no todo el país presenta altos valores.

Algunos ríos y manglares muestran concentraciones de Cd por encima de los límites permitidos. En zonas petroleras, se han encontrado niveles elevados de Cd en la orina de los habitantes. Persisten problemas de gestión ambiental en minería y petróleo.

Actualmente, es conocido mucho para la producción de Cacao (*Theobroma cacao*) en el Ecuador. Pero tiene problema de la contaminación de este elemento en el grano de Cacao y no se puede exportar el grano con más de 1,0 ppm de Cd. Es necesario que resuelva la contaminación en el área cultivada.

Para resolver el problema en el suelo contaminado con Cd, es muy importante que establezca el sistema de Fitoremediación para absorber este elemento pesado por plantas adecuadas, pero es necesario muchos años para recuperar el suelo por el cultivo consecutivo como desventaja.

Es muy importante que planifique encoger el número consecutivo para el sistema desarrollado y se utilizó la zeolita que puede mejorar la característica química del suelo ácido e infértil, teniendo en cuenta alto valor de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y alta adsorción de Cd por la isoterma de fijación del mismo elemento.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

1). Diferentes niveles de agregar el Cd en el suelo cultivado

Se agregó 500g del suelo seco molido amazónico (Provincia de Napo) en la maceta (Plástico negro con 12cm de diámetro y 10cm de profundidad).

Para evaluar el poder adsorbido del Cd por la zeolita, artificialmente, se agregó el Cd, usando el reactivo $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ para controlar 0, 2,5, 5,0 y 10ppm en el suelo amazónico (propiedad química, ver Tabla N°2) como parcela principal.

2). Diferentes niveles de la aplicación de la zeolita en cada tratamiento del Cd en el suelo cultivado.

En cada tratamiento del Cd como la parcela principal, se preparó cuatro niveles de la aplicación de la zeolita vendida (ver la Figura N°1) tal como 0, 1250, 2500 y 3750kg/ha, respectivamente, como sub parcela.

Figura N°1. Zeolita vendida en Ecuador



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019)

Total, 4 niveles del Cd como la parcela principal por 4 niveles de la aplicación como sub parcela con tres repeticiones (fue necesario 48 macetas).

3). Planta cultivada y aplicación del abono completo en todos los tratamientos.

Se utilizó la Komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis* or var. *komatsuna*) que es una verdura conocida como espinaca japonesa.

Para todos los tratamientos, para ayudar la germinación y crecimiento inicial para la Komatsuna, se aplicó abono químico para controlar 10kgN/ha, 20kgP₂O₅/ha y 10kgK₂O/ha, usando el abono completo (12-24-12) (Teniendo en cuenta alto contenido del N (2.35gN/500g por el análisis de C/N en el suelo al inicio del experimento), al mismo tiempo de la aplicación de la zeolita antes de sembrar la semilla en el suelo seco en el invernadero.

4). Irrigación y siembra.

Se agregó el agua para que mantenga la cantidad de la capacidad del campo (60% de la capacidad el agua máxima en el suelo) en todas las macetas durante el cultivo de Komatsuna en el invernadero.

Se realizó la siembra de 10 semillas por maceta y se la cultivó durante las 4 semanas bajo condición de maceta en el Invernadero.

5). Análisis de tejido vegetal.

Después de la cosecha, para la Komatsuna, se secó en la estufa a 65°C durante 2 días. Luego se pesó como materia seca y se analizó el Cd absorbido en cada maceta con el ICP en el Laboratorio en el Laboratorio de suelo y nutrición vegetal en la Facultad de Ciencias de la Vida, ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral), Guayaquil, Guayas.

6). Preparación del segundo y tercer cultivo.

Para el suelo cultivado, se secó durante una semana en el invernadero. A continuación, se cultivó la planta como segundo y tercer cultivo después de agregar la misma cantidad de los abonos químicos y agua para controlar al 60% de la cantidad del agua máxima.

Finalmente, se realizó tres cultivos consecutivos de la Komatsuna para evaluar el poder adsorbido de la zeolita y comparar la cantidad del Cd absorbida en la misma planta.

7). Época de los tres cultivos consecutivos de la Komatusna.

Primer cultivo: Fertilización, 20 de agosto, 2019.

Siembra, 21 de agosto, 2019.

Cosecha: 17 de septiembre, 2019. (para la duración, 4 semanas).

Segundo cultivo: Fertilización, 15 de octubre, 2019.

Siembra, 16 de octubre, 2019.

Cosecha: 12 de noviembre, 2019. (para la duración, 4 semanas).

Tercer cultivo: Fertilización, 6 de enero, 2020.

Siembra, 7 de enero, 2020.

Cosecha: 03 de febrero, 2020. (para la duración, 4 semanas).

8). Época de la aplicación de la zeolita en cada tratamiento con la misma materia.

Como manera de la aplicación de la zeolita, se mostró en la Tabla N°1., con excepción del testigo (0kg/ha), totalmente, se aplicó 3750kg/ha de la zeolita por tres cultivos consecutivos. Por fin, se evaluó la aplicación continua y residual en los tres cultivos consecutivos.

Tabla N°1. Cantidad aplicada de zeolita en cada cultivo y tratamiento (kg/ha).

Tratamientos:	Primer cultivo	Segundo cultivo	Tercer cultivo	Aplicación total
0kg/ha	0	0	0	0
1250kg/ha	1250	1250	1250	3750
2500kg/ha	2500		1250	3750
3750kg/ha	3750	0	0	3750

(Fuente: Elaborado por el autor,2019)

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1). Propiedad química del suelo cultivado con la Komatsuna.

Tabla N°2 muestra la propiedad fisico-química del suelo amazónico para cultivo de la Komatsuna.

De los resultados analizados, se consideró suelo ácido, teniendo en cuenta 5,29 para el valor de pH y 49% para la saturación de bases...etc. Para la CIC, fue de menos de 20 meq/100g.

Para P y K muy bajo contenido, por lo que fue necesario la aplicación no sólo fosfatada sino también potásica además de la aplicación nitrogenada en cada cultivo.

Por el contrario, se observó muy alto contenido de MO en el suelo.

Además, se observó 0,28ppm como Cd y se incluye 0,14mg por 500kg del suelo por maceta.

Para el suelo se consideró ningún problema para el Cd, por lo que se agregó 2,5, 5,0 y 10 ppm del Cd, usando el reactivo mencionado, artificialmente para evaluar el poder adsorbido por la zeolita.

Tabla N°2. Propiedad fisico-química del suelo amazónico.

Textura	pH	CE	Ca	K	Mg	CIC	P	MO
		uS/cm	meq/100g				ppm	%
Arcillo Limoso	5.29	3.217	0.119	0.026	0.023	17.31	1.736	7
Al	Fe	Mn	Zn	Cd	Sat. K	Sat. Ca	Sat. Mg	Sat. Bases
ppm					%			
3.04	1.29	14.12	0.67	0.28	3.84	34.30	10.94	49.08

(Fuente: Elaborado por Hidego, M y el autor, 2018)

2). Rendimiento seco para la Komatsuna.

La Figura N°2 muestra la condición vegetal en el primer cultivo. Visualmente, se observó buen crecimiento en cada maceta.

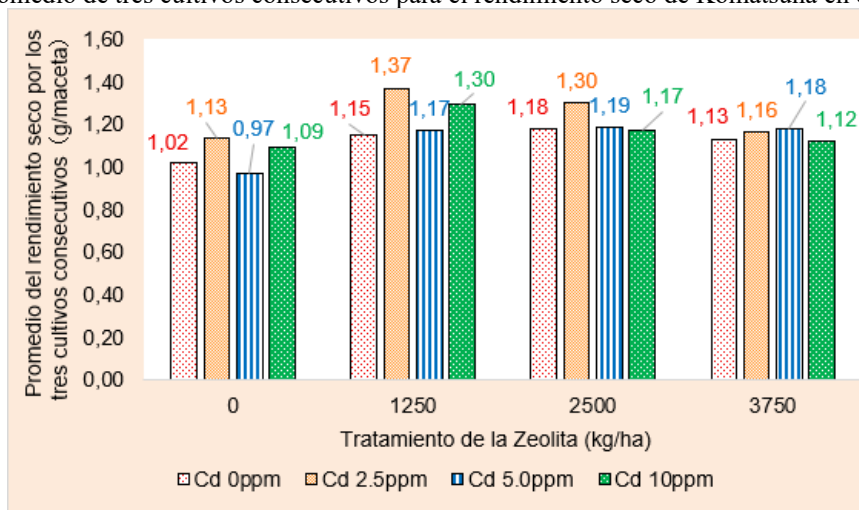
Figura N°2. Condición vegetal en el primer cultivo en el invernadero.



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019)

Figura N°3 muestra el promedio del rendimiento seco por los tres cultivos consecutivos para la Komatsuna en cada tratamiento.

Figura N°3. Promedio de tres cultivos consecutivos para el rendimiento seco de Komatsuna en cada tratamiento.



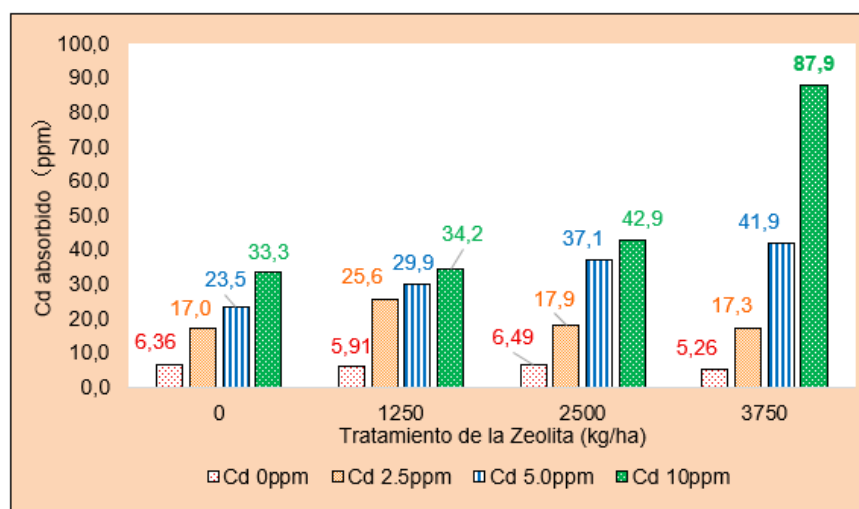
(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

De los resultados obtenidos por el análisis de varianza, no se observó la diferencia significativa para el tratamiento de la zeolita, y básicamente no se influyo el rendimiento por la aplicación.

3). Análisis del Cd para la Komatsuna.

Figura N°4 muestra el promedio del Cd (ppm) en la hoja seca para la Komatsuna en cada tratamiento.

Figura No4. Promedio de tres cultivos consecutivos para Cd absorbido por la hoja seca de Komatsuna en cada tratamiento.



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

De los resultados obtenidos por el análisis de varianza, se observó la diferencia significativa al 1% no sólo para el tratamiento con Cd (marcadamente) sino también el con zeolita y la interacción de Ca por zeolita, respectivamente.

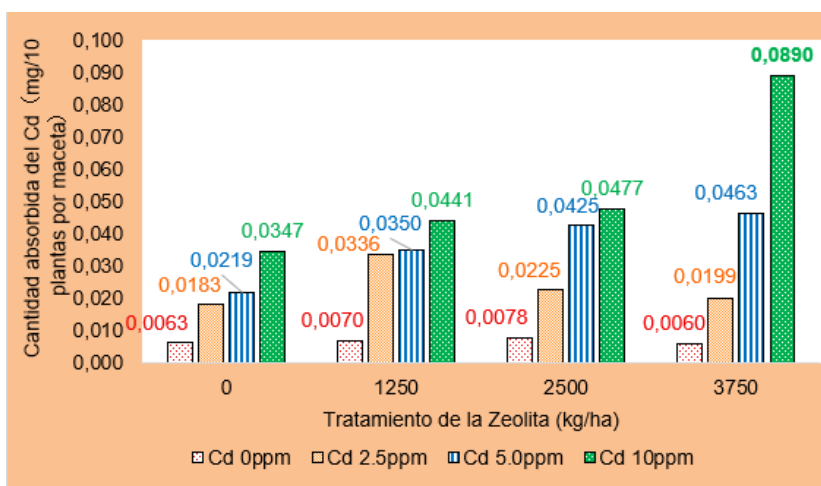
Aunque no se observó ninguna gran diferencia para el rendimiento seco en cada tratamiento con Cd, se observó alta absorción para el Cd en la hoja seca de acuerdo con la alta aplicación de este elemento, artificialmente. Especialmente, se observó muy alta absorción marcada de este elemento en el tratamiento con 10ppm de Cd por la aplicación de 3750kg/ha de la zeolita, fue de 88 ppm para el Cd.

Para la zeolita, normalmente se observó alto valor de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es conocido mucho como tener el poder adsorbido de cationes con Cd, teniendo en cuenta los resultados por la isoterma de fijación del Cd en esta zeolita utilizada en otro experimento. Pero, por la realización del cultivo de la Komatsuna bajo condición de maceta, diferentes niveles del Cd y zeolita, de acuerdo con la aplicación de estos materiales, se observó aumentar la cantidad del Cd en la hoja de la planta. Por fin se considera avanzar la absorción por reacción intercambiable iónica por la zeolita con diferentes niveles del Cd aplicado artificial.

4). Cantidad absorbida del Cd en las 10 plantas cosechadas.

La Figura N°5 muestra el promedio de la cantidad absorbida del Cd (ppm) en las 10 plantas por maceta en cada tratamiento.

Figura No5. Promedio de tres cultivos consecutivos para cantidad absorbida del Cd en las 10 plantas cosechadas en cada tratamiento.



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

Para determinación del promedio de la cantidad absorbida por 10 plantas cosechadas por maceta, se puede calcular el valor de materia seca (g) (ver Figura N°2) por el valor del Cd (ppm=mg/kg) dividido por 1000 (para el gramo de la materia seca, se convierta al kilogramo).

Al igual que el caso anterior, para el contenido del Cd (ppm) en la hoja seca, se observó la tendencia muy parecida para la cantidad absorbida por las 10 plantas cosechadas.

Además, se observó misma tendencia para los resultados de análisis de varianza con la diferencia significativa al 1% para no sólo el tratamiento con Cd, marcadamente sino también para el de zeolita y la interacción, respectivamente.

De todos los modos, de acuerdo con alta aplicación del Cd, artificialmente, se observó aumentar la cantidad absorbida de este elemento en la planta, relativamente, con la aplicación de la zeolita.

5). Porcentaje de la cantidad absorbida del Cd como Fitoremediación.

Usando los resultados para la primera cantidad absorbida del Cd por las 10 plantas por maceta, se realizó el cálculo de la primera proporción de absorción del Cd en cada tratamiento con diferentes niveles del Cd aplicado artificial.

Como la primera ecuación:

$$\frac{\text{Cantidad absorbida del Cd (mg/las 10 plantas/maceta)}}{\text{Cantidad aplicada del Cd (mg/maceta) + 0.14 mg Cd (left)}} \times 100 (\%)$$

Sobre el tratamiento con 2,5, 5,0 y 10ppm del Cd, en realidad, se aplicó el Cd, usando reactivo del nitrato de cadmio para que controlara 1,25mg, 2,5mg y 5,0mg como el Cd por maceta (500g del suelo amazónico seco), respectivamente.

Como ejemplo de la primera ecuación, se observó el valor 0,0383mgCd/10 plantas/maceta en el tratamiento con 2,5ppm del Cd, para la aplicación del Cd/maceta, 1,25mg como el Cd aplicado artificial.

$$\frac{0,0383 \text{ (mg/10 plantas/maceta)}}{1,25 \text{ (mg del Cd aggregated/pot) + 0,14}} \times 100 = 2,76 (\%)$$

Como la segunda ecuación:

$$\frac{\text{Cantidad absorbida del Cd (mg/las 10 plantas/maceta)}}{(\text{Cantidad aplicada del Cd + 0,14 mgCd}) - (\text{Cd absorbido en el primer cultivo})} \times 100 (\%)$$

Como ejemplo de la segunda ecuación,

$$\frac{0,0160 \text{ (mg/las 10 plantas/maceta)}}{(1,25 + 0,14) - 0,0383} \times 100 = 1,18 \text{ (\%)}$$

Como la tercera ecuación:

$$\frac{\text{Cantidad absorbida del Cd (mg/las 10 plantas/maceta)}}{(\text{Cantidad aplicada del Cd} + 0.14 \text{ mgCd}) - (\text{Cd absorbido en el primer más el segundo cultivo})} \times 100 \text{ (\%)}$$

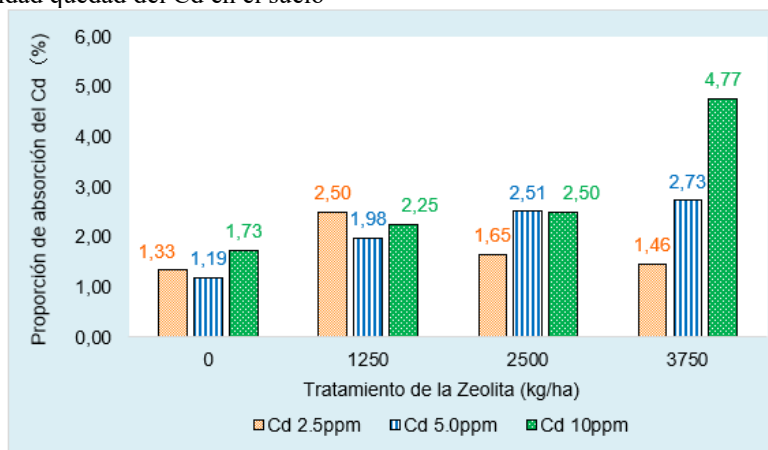
Como ejemplo de la tercera ecuación,

$$\frac{0,0147 \text{ (mg/las 10 plantas/maceta)}}{(1,25 + 0,14) - (0,0383 + 0,0160)} \times 100 = 1,10 \text{ (\%)}$$

Por eso, es diferente para la ecuación en cada número del cultivo consecutivo. La Figura N°6 muestra el promedio del porcentaje de la absorción del Cd (ppm) en las 10 plantas por maceta en cada tratamiento con el fin de agotar la cantidad quedada del Cd en el suelo. De los resultados de análisis de varianza, se observó la diferencia significativa al 1% para el Cd y la aplicación de zeolita en el número del cultivo.

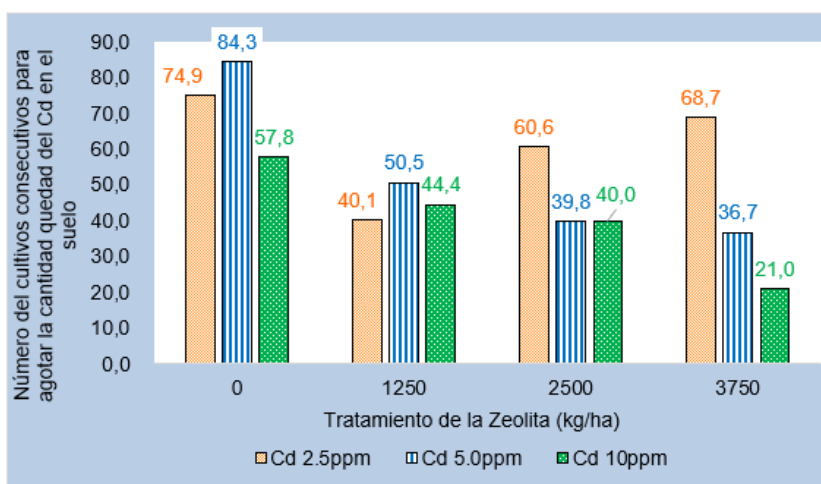
De la Figura, se observó el más alto valor en el tratamiento con 3750kg/ha de la zeolita y con 10ppm del Cd.

Figura N°6. Promedio del porcentaje de la absorción del Cd (ppm) en las 10 plantas por maceta en cada tratamiento con el fin de agotar la cantidad quedada del Cd en el suelo



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

Figura No7. Promedio Número de los cultivos consecutivos en cada tratamiento con el fin de agotar la cantidad quedada del Cd en el suelo



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

6). Número de los cultivos consecutivos con el fin de agotar el Cd en el suelo.

La Figura N°7 muestra el promedio Número de los cultivos consecutivos en cada tratamiento con el fin de agotar la cantidad quedada del Cd en el suelo.

Para el cálculo, 100 dividido por el valor de porcentaje mostrado en la Figura N°4 en cada tratamiento. Matemáticamente, es necesario el número de los cultivos consecutivos para agotar la cantidad quedada del Cd en el suelo como teoría de la Fitoremediación.

Por el contrario del caso de la Figura N°6, fue el más bajo valor en el tratamiento con 3750kg/ha de la zeolita y con 10ppm del Cd. Por fin, se podrá esperar la recuperación del suelo contaminado con este elemento pesado por menos número de los cultivos consecutivos.

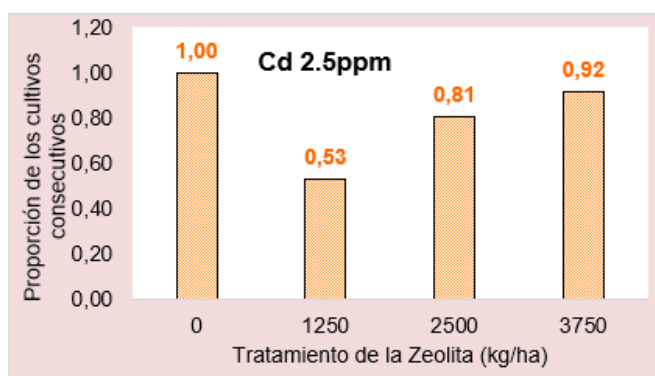
7). Comparación de la proporción de los cultivos consecutivos

Además, se calculó la proporción de los cultivos consecutivos, sustituyendo el valor del número de los cultivos consecutivos del testigo (0kg/ha de la zeolita) en cada tratamiento del Cd (2,5, 5,0 y 10ppm) en la Figura N°8 por 1,0. Totalmente, las Figuras N°8 a N°10 muestran la proporción en cada tratamiento del Cd (2,5, 5,0 y 10ppm), respectivamente.

7)-1. La comparación en el tratamiento con Cd 2,5ppm

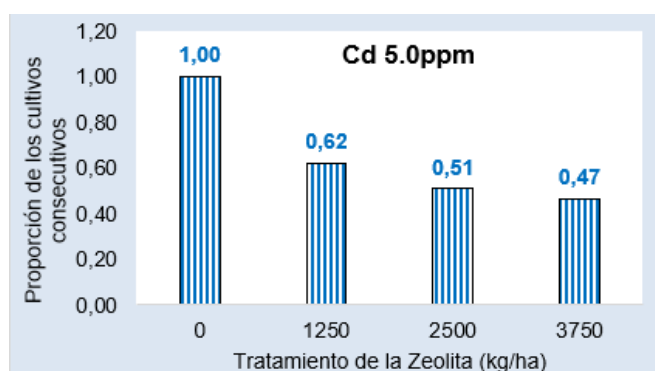
En el tratamiento con 2,5ppm del Cd, se pudo encoger a la mitad en comparación con el testigo por la aplicación de 1250kg/ha de la zeolita. Actualmente, es mejor que aplique 1250kg/ha en cada cultivo, teniendo en cuenta la aplicación económica.

Figura No8. Comparación de la proporción de los cultivos consecutivos en cada tratamiento de la zeolita en el tratamiento con 2,5ppm del Cd en el suelo



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

Figura N°9. Comparación de la proporción de los cultivos consecutivos en cada tratamiento de la zeolita en el tratamiento con 5,0ppm del Cd en el suelo



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

7)-2. La comparación en el tratamiento con Cd 5,0ppm

En el 5,0ppm del Cd, se observó bajar el valor para la proporción desde la aplicación de 1250kg/ha de la zeolita, marcadamente. Se considera adsorber Cd añadido, efectivamente desde la aplicación de 1250kg/ha de la zeolita, y se lo absorbió a la planta, positivamente.

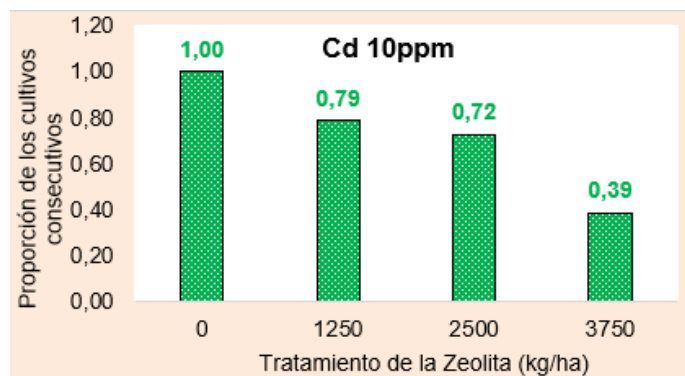
Al igual que el caso del 2,5ppm, será mejor que aplique 1250kg/ha en cada cultivo o 2500kg/ha dentro de dos cultivos como ejemplo, teniendo en cuenta la aplicación económica.

7)-3. La comparación en el tratamiento con Cd 10,0ppm

En el 10ppm del Cd se puede considerar el suelo muy contaminado con elemento pesado bajo condición natural, por lo que se pudo esperar la recuperación al aplicar 3750kg/ha de la zeolita en el primer cultivo.

De todos los modos, al aplicar gran cantidad de la zeolita en el suelo muy contaminado, se pudo encoger al 0,39 en comparación con el testigo como 1,0.

Figura No10. Comparación de la proporción de los cultivos consecutivos en cada tratamiento de la zeolita en el tratamiento con 10,0ppm del Cd en el suelo



(Fuente: Elaborado por el autor, 2019/2020)

4 CONCLUSIÓN

1. Por el cálculo de porcentaje de la recuperación, número de los cultivos consecutivos y proporción de los cultivos consecutivos, se puede esperar la adsorción del Cd, efectivamente y absorberlo a la planta, positivamente en comparación con el testigo (0kg/ha de la aplicación de la zeolita).
2. Relativamente al comparar con la proporción del testigo, se pudo encoger el número de los cultivos consecutivos por la aplicación adecuada de la zeolita como mejoramiento químico del suelo.
3. En el 2,5ppm del Cd, es mejor que aplique 1250kg/ha de la zeolita en cada cultivo porque se pudo encoger a la mitad para el número en comparación con el testigo.
4. Al igual que el caso del 2.5ppm, en el 5.0ppm del Cd, será mejor que aplique 1250kg/ha de la zeolita en cada cultivo, teniendo en cuenta la aplicación económica.
5. En el 10ppm del Cd como suelo muy contaminado, es mejor que aplique 3750kg/ha de la zeolita en el primer cultivo, teniendo en cuenta encogiéndose al 0,39 en comparación con 1,0 para la proporción en el testigo.
6. Actualmente, tiene límite para el experimento bajo condición de maceta en el invernadero para el sistema de Fitoremediación, por lo que es necesario que realice cultivos continuos de pastos gramíneos con tipo C4 para fotosíntesis con el fin de absorber el Cd adsorbido a la zeolita aplicada antes de realizar la producción agrícola, posiblemente.
5. Contribución académica y social

Se observa mala influencia para sanitario humano en la región con alta cantidad quedada en el suelo por movimiento de Cd y otros elementos pesados en el petróleo a través de flujo de agua en ríos. Es necesario que se resuelva el problema. Por buena suerte, se produce zeolita como material de mejoramiento químico de suelos en el Ecuador.

Pero todavía no es conocido mucho para la característica de adsorción de los cationes en la zeolita. Por eso, posiblemente es muy importante que aproveche con el fin de recuperar suelos contaminados con elementos metales pesados tales como Cd y Cr.

AGRADECIMIENTO

El experimento pudo llevarse a cabo gracias al apoyo del Prof. Dr. Mauricio Cornejo, Prof. Dr. Eduardo Chávez, Ing. Armando Macas y la Tec. Martha Hidego. El autor les agradece sinceramente su valiosa colaboración.

REFERENCIAS

- 1) Argüello, D., E. Chavez, F. Lauryssen., R. Vanderschueren., E. Smolders. and D. Montalvo. 2019. Soil Properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of Total Environmental* 649. 120-127. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv
- 2) Barraza, F., E. Schreck., T. Lévêque., G. Uzu., F. López., J. Ruales., J. Prunier., A. Marquet., L. Maurice. 2017. Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*. Vol 229. October. 950-963. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28781181/>
- 3) Chavez, E., Z.L.He, P.J.Stoffella, R.S. Mylavarapu, Y.C.Li, B.Moyano, V.C.Baligar. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of Total Environmental* 533. 205-214. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv
- 4) Houda, B. and N. Asma. 2024. Evaluation of the effects of heavy metal (cadmium nitrates and mercuric chloride) on growth, survival and morphology of the earthworm *Aporrectodea trapezoides* (Dugés, 1828). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research (BJAER)*. 1-15. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/download/76484/53190/189460?utm_source=chatgpt.com
- 5) Jiménez-Moleón. M. C., A. Jacobo-López and M. Lucero-Chávez. 2022. Bioconcentration and translocation of Cd in water lily (*Eichhornia crassipes*) at different initial concentrations and pH values. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research (BJAER)*. 1731-1746. https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/download/46941/35269/117315?utm_source=chatgpt.com
- 6) Mite, F., M. Carrillo y W. Durango. 2010. Avances del monitorio de presencia de cadmio en almendras de Cacao, suelo y agua en Ecuador. XII Congres Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de Noviembre del 2010.
- 7) Mirna Habuda-Stanic, M. 2023. The Role of Oxygenated Functional Groups on Cadmium Removal using Pyrochar and Hydrochar Derived from *Guadua angustifolia* Residues. In: Navas-Cárdenas, C., M. Caetano., D.Endara., R. Jiménez., A. B. Lozada., L. E. Manangón., A. Navarrete., C. Reinoso., A. E. Sommer-Márquez and Y. Villasana. *Water*. 22 p. https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/bitstream/RD_IKIAM/654/1/A-IKIAM-000446.pdf?utm_source=chatgpt.com
- 8) O'Callaghan Gordo, C. 2023. Indigenous people living near oil fields in the Peruvian Amazon have high levels of metals in their urine. Impact of oil extraction on the health of the indigenous population in the Amazon. https://www.uoc.edu/en/news/2023/104-pollution-oil-amazon?utm_source=chatgpt.com
- 9) Rivera-Parra, J. L., B. Beate., X. Diaz., M. B. Ochoa. 2021. Artisanal and Small Gold Mining and Petroleum Production as Potential Sources of Heavy Metal Contamination in Ecuador: A Call to Action. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, Article No. 2794. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7998136/?utm_source=chatgpt.com

- 10) Romero-Estévez, D., G. S. Yáñez-Jácome, K. Simbaña-Farinango., H. Navarrete. 2019. Distribution, Contents, and Health Risk Assessment of Cadmium, Lead, and Nickel in Bananas Produced in Ecuador. *Foods* **2019**, 8(8), 330. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31398852/>
- 11) Romero-Estévez, D., G. S. Yáñez-Jácome., M. D. Langdon., K. Simbaña-Farinango., E. R. Monsalve., G. D. Cobo. y H. Navarrete. 2020. An Overview of Cadmium, Chromium, and Lead Content in Bivalves Consumed by the Community of Santa Rosa Island (Ecuador) and Its Health Risk Assessment. *Sec. Toxicology, Pollution and the Environment*. Vol 8 – 2020. https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.00134/full?utm_source=chatgpt.com