



*Evaluación de la fitorremediación en suelos agropecuarios, con altas concentraciones de azufre, La Matriz, Guano, Provincia Chimborazo*

*Phytoremediation in agricultural soils, with high concentrations of sulfur, La Matriz, Guano, Chimborazo Province*

*Avaliação da fitorremediação em solos agrícolas, com altas concentrações de enxofre, La Matriz, Guano, Província de Chimborazo*

Juan Pablo Haro-Altamirano <sup>I</sup>  
[juanpablo.haro@epoch.edu.ec](mailto:juanpablo.haro@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8538-3191>

Goering Octavio Zambrano-Cárdenas <sup>III</sup>  
[goering.zambrano@epoch.edu.ec](mailto:goering.zambrano@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6975-8539>

Miguel Ángel Osorio-Rivera <sup>II</sup>  
[miguel.osorio@epoch.edu.ec](mailto:miguel.osorio@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Danny Javier Osorio-Pillajo <sup>IV</sup>  
[dannyjavier0102@hotmail.com](mailto:dannyjavier0102@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-7791-4412>

**Correspondencia:** [juanpablo.haro@epoch.edu.ec](mailto:juanpablo.haro@epoch.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de revisión

\***Recibido:** 30 de septiembre de 2020 \***Aceptado:** 29 de octubre de 2020 \* **Publicado:** 18 de noviembre de 2020

- I. Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de Proyectos Para el Desarrollo, Ingeniero Agrónomo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Master Universitario en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio, Ingeniero Ambiental, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en Agroindustria Mención en Calidad y Seguridad Alimentaria, Ingeniero Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero Ambiental, Profesor de Educación Musical - Nivel Técnico Superior, Tecnólogo en Medios Didácticos Musicales, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Chimborazo, Ecuador.



## Resumen

Antecedentes: Una de las características distintivas de la sociedad moderna es la creciente producción de contaminantes ambientales, que ha provocado daños considerables a la salud humana y al medio ambiente. Objetivo: cuantificar mediante la fitorremediación el nivel de extracción de elemento azufre del suelo, en la Matriz, cantón guano, provincia de Chimborazo, cuyos productores se dedican a la producción hortícola, col (26%), coliflor (17%), brócoli (14%), lechuga (13%) y cebolla (13%), expresando que un (72%) utilizan productos sintéticos, cuya formulación contiene azufre, generando alta salinidad a los suelos y bloqueo de los nutrientes, reflejados en la afectación de los cultivos y al medio ambiente. Metodología utilizada para evaluar la concentración del azufre en el suelo es la técnica de fitorremediación, seleccionando la col (*Brassica oleracea*) y cebolla (*Allium fistulosum*) para el proceso de fitoextracción, partiendo de una concentración inicial de 1832.06 mg/kg de azufre en los suelos, Resultados: se evaluó a los 120 días, distinguiendo como resultado que la col una disminución de azufre de 1327.62 mg/kg resulto ser un vegetal con mayor capacidad de fitoextracción en relación con la cebolla blanca que tuvo una disminución del elemento azufre de 857.02 mg/kg, y el órgano de los vegetales que más acumula este elemento es el tallo con 589 ppm en la col y 557 ppm en la cebolla, Implicaciones: es necesario continuar con el estudio con la finalidad de implementar un sistema de fitorremediación asociado con microorganismos, en asocio con las especies extractoras para valorar su intervención. Conclusiones: la col resulto ser la especie con mayor capacidad de bioextracción de este elemento a nivel del suelo.

**Palabras clave:** Fitorremediación; Fitoextracción; suelo; Brasicaceas; Liliáceas; azufre.

## Abstract

production of environmental pollutants, which has caused considerable damage to human health and the environment. Objective: to quantify by means of phytoremediation the level of extraction of sulfur element from the soil, in the Matrix, Guano canton, Chimborazo province, whose producers are dedicated to horticultural production, cabbage (26%), cauliflower (17%), broccoli (14%), lettuce (13%) and onion (13%), stating that (72%) use synthetic products, whose formulation contains sulfur, generating high salinity to the soils and blocking of nutrients, reflected in the affectation of the crops and the environment. Methodology used to evaluate the sulfur concentration in the soil is the phytoremediation technique, selecting cabbage (*Brassica oleracea*) and onion (*Allium fistulosum*) for the phytoextraction process, starting from an initial concentration of 1832.06 mg / kg of sulfur in soils, Results: it was

evaluated at 120 dds, distinguishing as a result that the cabbage a decrease in sulfur of 1327.62 mg / kg turned out to be a vegetable with a higher phytoextraction capacity in relation to the white onion that had a decrease of the element sulfur of 857.02 mg / kg, and the organ of vegetables that most accumulates this element is the stem with 589 ppm in cabbage and 557 ppm in onion, Implications: it is necessary to continue with the study in order to implement a system of Phytoremediation associated with microorganisms, in association with the extracting species to assess if intervention. Conclusions: cabbage turned out to be the species with the highest capacity for bioextraction of this element at ground level.

**Keywords:** Phytoremediation; Phytoextraction; soil; Brassicaceae; Liliaceae; sulfur.

## Resumo

Antecedentes: Uma das características distintivas da sociedade moderna é a crescente produção de poluentes ambientais, o que tem causado danos consideráveis à saúde humana e ao meio ambiente. Objetivo: quantificar por meio de fitorremediação o nível de extração do elemento enxofre do solo, na Matriz, cantão de Guano, província de Chimborazo, cujos produtores se dedicam à produção hortícola, repolho (26%), couve-flor (17%), brócolis (14%), alface (13%) e cebola (13%), expressando que (72%) utilizam produtos sintéticos, cuja formulação contém enxofre, gerando alta salinidade aos solos e bloqueamento de nutrientes, refletido na afetação do culturas e meio ambiente. A metodologia utilizada para avaliar a concentração de enxofre no solo é a técnica de fitorremediação, selecionando repolho (*Brassica oleracea*) e cebola (*Allium fistulosum*) para o processo de fitoextração, partindo de uma concentração inicial de 1832,06 mg / kg de enxofre nos solos, Resultados: avaliou-se a 120 dds, distinguindo-se como resultado que o repolho uma diminuição do enxofre de 1327,62 mg / kg passou a ser um vegetal com maior capacidade de fitoextração em relação à cebola branca que apresentou diminuição do elemento enxofre de 857,02 mg / kg, e o órgão das hortaliças que mais acumula este elemento é o caule com 589 ppm na couve e 557 ppm na cebola, Implicações: é necessário dar continuidade ao estudo para implementar um sistema de Fitorremediação associada a microrganismos, em associação com as espécies extratoras para avaliar se há intervenção. Conclusões: o repolho acabou sendo a espécie com maior capacidade de bioextração desse elemento ao nível do solo.

**Palavras-chave:** Fitorremediação; Fitoextração; terra; Brassicaceae; Liliaceae; enxofre

## Introducción

El desarrollo y aumento de las actividades agrícolas, generan problemas medioambientales cómo son el uso indiscriminado de los pesticidas y formulados sintéticos, determinando la presencia de metales en cantidades importantes en el medio ambiente por ende la contaminación de los suelos (Pilon, 2005), debido a que la mayor parte de abonos químicos se componen de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre entre otros, cuyas fuentes no son utilizadas de forma apropiada y oportuna generando acumulación y una baja recirculación del consorcio nutricional del suelo (Marrero, Amores, y Coto 2012).

Estos elementos son añadidos al suelo mediante el proceso de fertilización o enmiendas, los cuales constituyen una combinación natural o sintética, con el fin de enriquecer y aportar cantidades necesarias de nutrientes para el desarrollo de las plantas, con una respuesta y acción rápida para el desarrollo (Ribo, 2004).

Junto con el nitrógeno, fósforo y potasio, el azufre es uno de los principales nutrientes para las plantas. Su escasez podría generar en los cultivos menor calidad, productividad y mayor susceptibilidad a ciertas enfermedades. El suministro de azufre está directamente relacionado con la eficiencia del uso de nitrógeno. En promedio, cada kilogramo de deficiencia de azufre resulta en una pérdida potencial de 15 kilogramos de nitrógeno al medio ambiente (Zheng, Leustek 2017).

Las plantas necesitan azufre para producir metabolitos generales o metabolitos secundarios para el crecimiento, como son la cisteína y la metionina. Alternativamente, el azufre excesivo puede afectar negativamente el rendimiento y la estructura de las plantas. (Singh y Schwan, 2019). Sin embargo, Zheng , Leustek (2017) acotan que en cantidades apropiadas, los compuestos orgánicos que contienen azufre hacen una valiosa contribución a las verduras de las familias Allium y Cruciferae otorgándoles una variedad de propiedades gustativas, sino también numerosos beneficios medicinales importantes y deseables.

Pérez, García y Esparza (2002), manifiestan qué, en la rizosfera, constituida por la zona del suelo que rodea la raíz (1-2mm distancia), existen una gran cantidad de microorganismos, responsables de los procesos edáficos, ciclos biogeoquímicos de elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, hierro y otros metales, así como la fertilidad de las plantas, protección frente a patógenos, degradación de compuestos y producción de fitohormonas.

La Biorremediación Constituye la utilización del potencial metabólico de los microorganismos, para transformar los contaminantes orgánicos en compuestos más simples, teniendo un amplio

margen de aplicabilidad dentro de cada uno de los estados de la materia (Marrero, Amores, y Coto 2012).

La capacidad de degradación de la microbiota de la zona rizosférica, expresada por Umrانيا (2006), indica que puede ser utilizada como una tecnología atractiva en la biorremediación de suelos por su bajo costo. Estas técnicas de biorremediación que intervienen microorganismos, pueden combinarse e interactuar con especies vegetales (fitorremediación) (Agudelo, Macias, y Suárez 2005). Esta combinación resulta de gran interés para incrementar la eficiencia en la extracción de los contaminantes. Estas técnicas son denominadas rizorremediación (Amora, Guerrero, Rodríguez y Vásquez 2010)

Covarrubias, García, y Peña (2015), expresan que la tasa efectiva de degradación (biodisponibilidad) depende de la relación de la capacidad de movilidad y metabolismo microbiano, así como de la transferencia de masas del compuesto. En los suelos el factor limitante para la biodegradación es la transferencia de masas debido a que los microorganismos presentes en suelos contaminados suelen tener amplias capacidades biodegradativas debido, haz una exposición continua con diferentes compuestos orgánicos. (Rajkumar, Sandhya, Prasad y Freitas, 2012).

En el proceso de fitorremediación su principio se basa en el uso de plantas y microorganismos asociados a ellas, así como enmiendas del suelos y técnicas agronómicas dirigidas a transformar o liberar en compuestos inocuos a los contaminantes de la matriz del suelo, como también encargados de secuestrarlos en dicha matriz generando estabilidad (Covarrubias, García, y Peña, 2015).

Por lo tanto, el objetivo de la investigación es cuantificar y evaluar mediante el proceso de fitoremediación el nivel de extracción de elemento azufre del suelo, utilizando los cultivares de (*Brassica oleracea*) y cebolla (*Allium fistulosum*) en la Matriz, cantón Guano, provincia de Chimborazo

## **Metodología**

El tipo de investigación es exploratoria, investigativa, descriptiva mediante la cual se evaluará el proceso de fitorremediación de suelos contaminados, en relación al elemento azufre, establecida en la parroquia matriz, barrio Santa Teresita del cantón Guano, la cual cuenta con 1.758 habitantes, reflejado en un número muestral de 95 productores; dedicados a la agricultura

convencional, ya que su sistema de producción tiene alta dependencia en el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos.

Los suelos contaminados por abonos químicos constituyen la variable dependiente del estudio, la cual es afectada por el uso y aplicación de fertilizantes químicos, los cuales se determinaron mediante la aplicación de una encuesta a los agricultores para conocer los principales cultivos desarrollados en la localidad y los insumos mayormente utilizados en el sistema productivo, para establecer los parámetros iniciales a evaluar, mediante un análisis de suelos inicial para la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo y comparación con los parámetros del Libro VI de la Calidad Ambiental (2015) cuyas siglas son TULSMA.

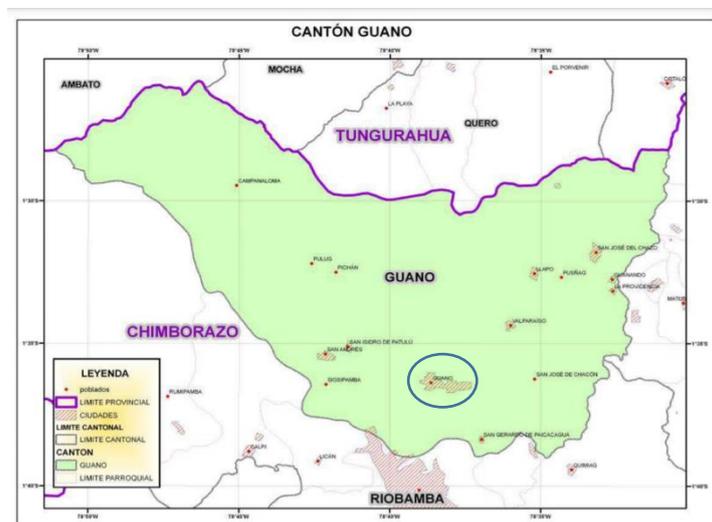
Una vez determinados estos parámetros se definió el sistema de biorremediación a ser aplicado, siendo este el proceso de evaluación, mediante el proceso de fitorremediación, el cual constituye la variable independiente, para esto se estableció la siembra de las especies Brassicacea (col) y Liliacea (Cebolla), tolerantes a condiciones edáficas y climáticas requirentes de alto contenido de azufre para su desarrollo, las cuales absorben los elementos del suelo a través del sistema radicular, para posteriormente evaluar el nivel de fitoextracción en el suelo a los 4 medes, mediante análisis de suelos y el análisis de composición de Azufre en los órganos principales de los dos vegetales como son : raíz, tallo y hojas, comparadas con los parámetros de remediación ambiental expuestos en el Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), para generar los resultados de la investigación.

## **Resultados y discusión**

La zona de La Matriz, cantón Guano, perteneciente a la provincia de Chimborazo, como podemos observar en la figura 1., cuenta con suelos agrícolas de alto rendimiento, los cuales se han venido deterioraron debido a diferentes factores, entre el que se destaca el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas sintéticos, dentro de las encuestas sobre los cultivos establecidos y los insumos utilizados a los 95 productores encuestados, expresan que manejan: la col (26%), coliflor (17%), brócoli (14 %), lechuga (13%), cebolla (13%), papas (9%), maíz (8%), en concordancia con el estudio detallado en el PDy OT Guano (2014), indicando además que el (72%) aplican formulados sintéticos, como son: azufre (60%), sulfato de potasio (20%), azoxystrobin (15%), Mancoceb, Triforfina y linuron (5%), con la finalidad de controlar plagas y enfermedades y mejorar su producción, mostrando además que la mayoría de estos insumos sintéticos contienen azufre entre sus moléculas, los cuales son aplicados a la etapa del establecimiento del cultivo y desarrollo, mientras que el (28%) no utilizan debido a que realizan

netamente una fertilización orgánica utilizando los desechos tanto animales como vegetales como enmiendas al suelo.

**Figura 1:** Localización Cantón Guano, La Matriz



Fuente: PDy OT Guano (2014).

Los análisis físicos y químicos del suelo de la Matriz, cantón Guano, en primera instancia determinan los siguientes parámetros, expresados en la Tabla N. 1.

**Tabla 1:** Parámetros físicos y químicos de la muestra de Suelo

Parámetro	Valoración	Comparación TULSMA
Textura	Franco arenoso	Análisis granulométrico estacional
Temperatura	18.5 °C	Temperatura promedio suelo
Conductividad eléctrica	0.239 dS/m	bajo límites permisibles TULSMA
pH	4.6	Suelo fuertemente ácido
Materia Orgánica	1.75 %	Nivel Bajo
Nitrógeno Total	0.07% - (7mg/kg)	Nivel Bajo
Fósforo	27.5kg/ha -(11ppm)	Nivel Alto
Potasio	88.5kg/ha(35 mg/kg)	Nivel Pobre
Zinc	70 mg/kg	Nivel Alto
Azufre	1832.06 mg/kg	Nivel Excesivo Azufre (TULSMA 50 mg/kg )
Carbamatos Organofosforados	y <0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo

<b>Acefato</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Clorpirifos</b>	0.00028 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Diazinon</b>	0.00028 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Dimetoato</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Etl-Paration</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Malation</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Metamidofos</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Profenofos</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Triclorfon</b>	<0.0002 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Aldicarb</b>	<0.0003 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Carbaril</b>	<0.0003 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Carbofuran</b>	<0.00036 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>3-Hidroxi Carbofuran</b>	<0.0003 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>Metiocarb</b>	<0.0003 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo
<b>OXAMIL</b>	<0.0003 mg/kg	Límites permisibles agrotóxicos suelo

Fuente: LabCESTTA (2016)

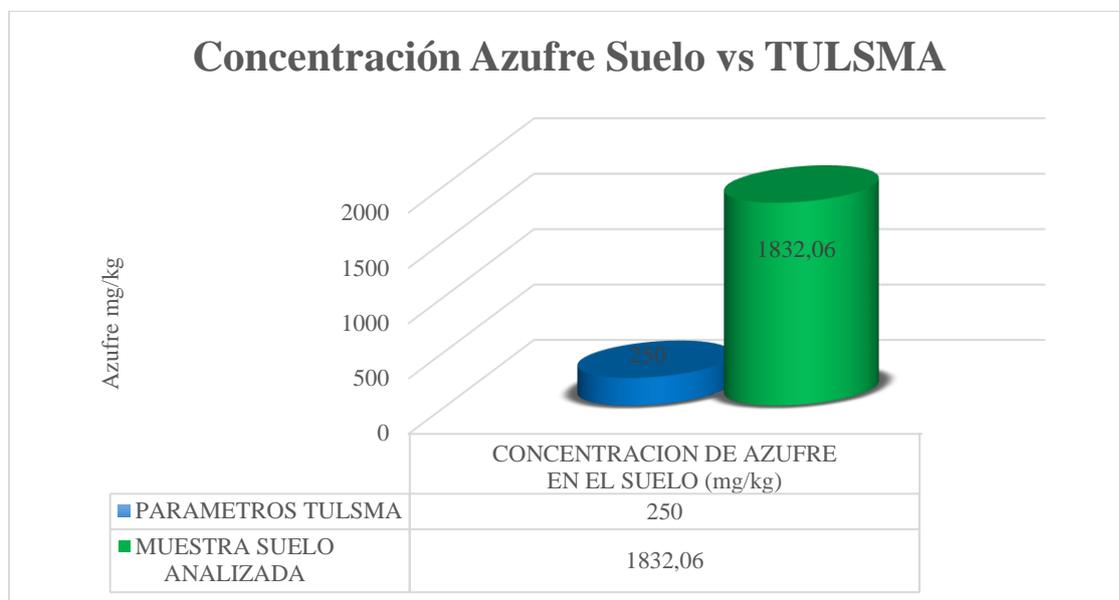
En el análisis de suelos expresados y valorados en la Tabla N. 1, con los parámetros establecidos en el Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), el suelo presenta una salinidad baja encontrándose dentro de los límites permisibles, su textura franco arenosa; la alcalinidad del suelo de este sector podemos decir que es fuertemente ácido, con un pH de 4.6, existiendo un déficit en el contenido de la materia orgánica 1.75%, indicando que es suelo mineralizado; la concentración de nitrógeno en el suelo es de 7 mg/Kg, que representa un porcentaje menor de 0,08% del nitrógeno total, el representa una concentración baja de este elemento, debido al alto contenido de azufre, impidiendo la absorción normal del nitrógeno, lo que provoca deficiencias en el desarrollo del vegetal y un notorio amarillento a nivel foliar.

Algunos de los macro-elementos esenciales para la planta en el suelo, tenemos el fósforo, con una concentración de 11 ppm, por ende es un suelo rico en este elemento, el cual ayuda en el proceso de la fotosíntesis de la planta; el zinc está en concentración alta 70 mg/kg, el cual ayuda al proceso de fotosíntesis y el normal crecimiento vegetativo; con respecto al potasio con una concentración de 35 mg/kg, es un valor bajo, debido al cual los vegetales son más susceptibles a las heladas y a enfermedades.

De acuerdo a los agro-tóxicos (Carbomatos y Organofosforados); están dentro de los parámetros permisibles, su concentración es  $<0,0002$  mg/kg., por lo tanto no existe una contaminación por estos formulados sintéticos, de acuerdo a los parámetros TULSMA.

El elemento azufre se encuentra en una concentración es de 1832,06 mg/kg, cuyo parámetro es alto, constituyéndose como el principal contaminante de estos suelos ubicados en el sector de Santa Teresita, comparada con los límites permisibles del Libro VI de la Calidad ambiental (2015) que es 200 mg/kg., debido a la aplicación de: sulfato de potasio antes de la siembra y azufre al 60% para fertilización y control de enfermedades, mostrándose en la Gráfica N. 1, la especificación de la diferente del exceso de azufre en el suelo sobre los parámetros expuestos en el TULSMA, los cuales son valores representativos para un contaminante en el suelo.

**Gráfico 1:** Comparación del azufre en el suelo analizado con el TULSMA



Para el proceso de fitorremediación, Thangavel, Subhram (2004) expresan que el objetivo principal es eliminar los metales tóxicos y contaminantes orgánicos en el suelos, para esto se trató con la col (*Brassica oleracea*) y la cebolla (*Allium fistulosum*) seleccionadas debido a su alto nivel de requerimiento de azufre en su estadio productivo, analizadas en un tiempo de 120 dds, para determinar la concentración final o absorción de azufre (ppm) por parte de los órganos de los vegetales, raíz, tallo y hojas, expuestos en la Tabla N 2., y el nivel de fitoextracción a nivel del recurso suelo Tabla N. 3

**Tabla 2:** Concentración del azufre, col (*Brassica oleracea*) y cebolla (*Allium fistulosum*) utilizada en la fitorremediación (120 dds)

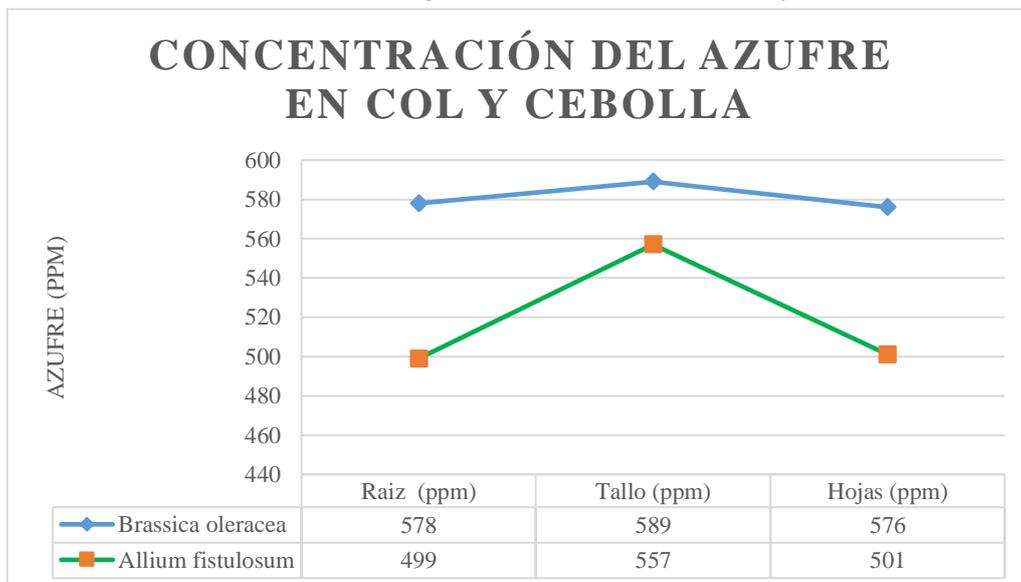
Fitorremediación	<i>COL (Brassica oleracea)</i> Azufre (S) (ppm)	<i>CEBOLLA (Allium fistulosum)</i> Azufre (S) (ppm)
<b>Raíz</b>	578	499
<b>Tallo</b>	589	557
<b>Hojas</b>	576	501

Fuente: CESTTA (2016)

El tallo de la col (*Brassica oleracea*) tiene 589 ppm de azufre, mientras que la raíz 578 ppm y las hojas 576 ppm, por ende el tallo de col, contiene mayor cantidad de azufre que las raíces y las hojas; igual caso de la cebolla blanca (*Allium fistulosum*), el tallo tiene la mayor concentración de azufre de 557 ppm, mientras que la raíz y las hojas presentan valores similares de 499 ppm y 501 ppm; de acuerdo con lo expresado por Delgadillo et al., (2011), que mencionan que los fitoextractores desarrollan sus estructuras eficientes para la bioconcentración, representando al tallo de los dos vegetales, donde se encuentra la mayor concentración de azufre extraído durante el proceso de fitorremediación.

En la Gráfica 2. Se muestra la diferencia de concentración de Azufre, entre la col (*Brassica oleracea*), y la cebolla blanca (*Allium fistulosum*), y la curva de acumulación de este elemento, situado mayormente en el tallo de las dos especies.

**Gráfico 2:** Concentración de azufre en los órganos de Col (*Brassica oleracea*) y Cebolla (*Allium fistulosum*)



Para la determinación del proceso de fitoextracción a nivel del suelo, se comparó con los criterios de remediación de suelos de los valores máximos permisibles, expuestos en el Libro VI de la Calidad Ambiental (2015), definiendo que en el área donde se sembró la col (*Brassica oleracea*), tiene una concentración final de azufre en el suelo es 504.44 mg/kg, la cual es tolerable y está dentro de los parámetros de los suelos remediados del TULSMA, existiendo una disminución de concentración de 1327,62 mg/kg, y en el área zona donde se cultivó la cebolla blanca (*Allium fistulosum*), tiene una concentración final de azufre de 975.04 mg/kg, encontrándose fuera de los límites permisibles de los suelos remediados del TULSMA, con una disminución de 857, 75 mg/kg., del contenido inicial de azufre en el suelo.

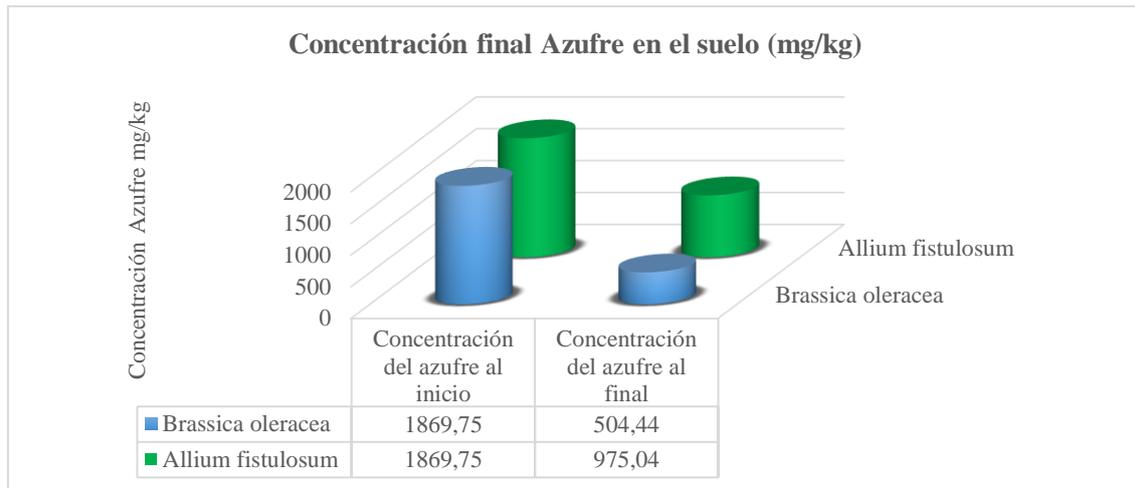
**Tabla 3:** Diferencias de concentración de azufre entre la Col (*Brassica oleracea*) y Cebolla (*Allium fistulosum*) en el suelo analizado 120 dds

Parámetros	Col ( <i>Brassica oleracea</i> )	Cebolla ( <i>Allium fistulosum</i> )
Concentración Inicial del azufre	1832,06 mg/kg	1832,06 mg/kg
Concentración final azufre (Proceso Fitorremediación)	504.44 mg/kg	975,04 mg/kg
Limite permisible de Concentración azufre, suelos TULSMA	500 mg/kg	500 mg/kg
Disminución del azufre	1327,62 mg/kg	857,02 mg/kg

Fuente: CESTTA (2016)

En la gráfica N.3 se puede apreciar, la disminución de concentración de azufre en el suelo con el proceso de fitorremediación, denotando que la col (*brassica oleracea*), constituye un fitoextractor con mayor nivel de eficiencia de extracción de azufre con 1327.62 mg/kg, de acuerdo con lo expresado por Delgadillo et al. (2011) ya que las especies con mayor cantidad de biomasa y eficiencia de bioconcentración, extraen mayor proporción de contaminantes, en relación con la cebolla, que tiene menor cantidad de biomasa, con un nivel de extracción de 857.02 mg/kg a nivel del suelo.

**Gráfico 3:** Concentración final Azufre tratamiento Col y Cebolla



En los parámetros del suelo, Burken, Ma (2006) y Delgadillo et al (2011), expresan que los procesos de biorremediación, técnica fitoextracción actúan positivamente, mejorando las propiedades del suelo, debido a la formación de una cubierta vegetal extractora, observando mejores resultados con las réplicas in situ de los procesos de remediación, por lo cual en los resultados del análisis de suelo final encontramos que la salinidad permanece estable, no ha variado durante la fitorremediación, con un valor de 0,239 dS/mm, catalogándose como un suelo no salino, en cuanto al valor de la alcalinidad, hay una variante de lo que era un suelo fuertemente ácido, ahora es un suelo neutro con un de pH de 6, encontrándose entre los límites permisibles del Libro VI de la Calidad ambiental (2015), dejando de ser un suelo ácido para convertirse en suelo normal con un ph neutro.

## Conclusiones

La Matriz, cantón Guano, posee suelos agrícolas, con cultivos hortícolas establecidos mayormente, con un 72% de productores, cuyo sistema convencional refleja alta contaminación medioambiental debido al uso de fertilizantes y pesticidas químicos, encontrándose al elemento Azufre como el mayor contaminante de estos suelos de acuerdo a los parámetros del TULSMA, con una concentración inicial de 1832.06 mg/kg.

La metodología de fitorremediación opera con especies que tienen el poder genético de remover degradar metabolizar e inmovilizar una amplia cantidad de contaminantes ofreciendo beneficios provechosos sustentables para el ser humano y el medio ambiente, como son la familia Crucíferas y liliáceas, utilizadas para el proceso de remediación de suelos, son tolerantes a condiciones edáficas y climáticas, las mismas que requieren alto contenido de azufre para su

desarrollo, las cuales absorben los elementos del suelo a través del sistema radicular, analizadas en un tiempo de 120 dds, el nivel de concentración en los órganos de la col, tallo 589 ppm, raíz 578 ppm y hojas 576 ppm, cebolla, tallo 557 ppm, raíz 499 ppm y hojas 501 ppm, concentrándose más el elemento azufre en el tallo de las dos especies.

En cuanto a la determinación del proceso de fitoextracción a nivel del suelo, el área donde se sembró la col (*Brassica oleracea*), presentó una concentración final de azufre en el suelo de 504.44 mg/kg, la cual es tolerable y está dentro de los parámetros de los suelos remediados del TULSMA, y en el área zona donde se cultivó la cebolla blanca (*Allium fistulosum*), posee una concentración final de azufre de 975.04 mg/kg, encontrándose fuera de los límites permisibles de los suelos remediados del TULSMA, por lo cual se concluye que la col en este proceso es la especie con mayor capacidad de fitoextracción.

A más de la extracción de Azufre del suelo, el proceso de fitoextracción mostró resultados favorables en cuanto al valor de la alcalinidad, ya que inicialmente, de acuerdo a los análisis de suelo presentó valores de pH 4.6 como un suelo fuertemente ácido, luego del proceso antes mencionado, se cambió su parámetro y finalmente, reflejó un valor de pH 6, encontrándose entre los límites permisibles del TULSMA, dejando de ser un suelo ácido para convertirse en suelo con pH neutro.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Chimborazo, y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como entes facilitadores y participación directa en la logística de la investigación.

### **Financiamiento**

No hubo financiamiento externo alguno, la investigación realizada es autofinanciada por los investigadores participantes de este estudio.

### **Conflicto de intereses**

Se declara que ninguno de los autores de esta investigación tiene conflictos de interés, en la presentación y publicación de esta investigación.

### **Cumplimiento normas éticas**

Debido a la naturaleza del estudio, no aplican normas éticas o bioéticas nacionales o internacionales

## Referencias

1. Agudelo Lina., Macias K., Suárez A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57-60. ISSN: 1794-4449.
2. Amora E., Guerrero L., Rodríguez A., y Vásquez S. (2010) Rhizospheric plant-microbe interactions that enhance the remediation of contaminated soils. In: Méndez, A. (Ed) *Current Research, 60 Technology and Education topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*.
3. Barea J., Pozo M., Azcón R. Azcón C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere *Experimental Botany*. 56: (417). 1761-1778
4. Burken G., Ma X. (2006). Phytoremediation of volatile organic compounds. En: *Phytoremediation Rhizoremediation*. Springer Netherlands (ed). ISBN 978-1-4020-4952-1. 199-216.
5. Covarrubias S., García J., y Peña J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40-45. doi: 10.15174/au.2015.907
6. Delgadillo A., González C., Prieto F., Villagómez J., y Acevedo O. (2011). Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:(1) 597- 612
7. Libro VI de la Calidad ambiental (2015). ACUERDO MINISTERIAL No. 028. Ministerio del Ambiente. Quito. Edición Especial 270.
8. Marrero J., Amores I., y Coto O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(3), 52-61.
9. PDy OT Guano (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Guano. Fecha consulta: 12 abril del 2018. Disponible en: <http://www.municipiodeguano.gob.ec/jdownloads/transparencia/anexos/PDYOT.pdf>
10. Pérez J., García G. Esparza. (2002) Papel ecológico de la flora rizosférica en Fitorremediación. *Avance y Perspectiva*. 21: pp. 297-300
11. Pilon E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39.
12. Rajkumar M., Sandhya S., Prasad M., y Freitas H. (2012). Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 30(6), 1562-1574.

13. Ribó, M. (2004). Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico. Universitat de València
14. Singh S., Schwan A., (2019). Sulfur Metabolism in Plants and Related Biotechnologies. Comprehensive Biotechnology. Third Edition (4), 221-236
15. Thangavel, P., Subhram, C. V. 2004. Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B. 70(1):109-130.
16. Umrana V.(2006) Bioremediation of toxic heavy metals using acidothermophilic autotrophes. Bioresour Technol. 97:(1). 1237-42
17. Zheng Z., Leustek T. (2017). Advances in understanding sulfur utilization efficiency in plants. Plant macronutrient efficiency of use , Academic Press , Londres. 215 – 232. doi.org/10.1016/B978-0-12-811308-0.00012-0

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).