

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICORRIZAS ARBUSCULARES Y PLANTAS DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO AGENTES FITORREMEDIADORES PARA LA REDUCCIÓN DE CADMIO EN CULTIVOS DE CACAO DE LA GRANJA DEL CENTRO DE ATENCIÓN AL SECTOR AGROPECUARIO - SENA

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ARBUSCULAR MICORRIZES AND VETIVER PLANTS (*Chrysopogon zizanioides*) AS PHYTORREMEDIARY AGENTS FOR THE REDUCTION OF CADMIUM IN CACAO CROPS OF THE FARM "CENTRO DE ATENCIÓN AL SECTOR AGROPECUARIO" - SENA

Samir Reyes Gómez ⁽¹⁾ *Luisa Johanna Gómez Acevedo* ⁽²⁾, *Juan José Guio Guio* ⁽³⁾

1. Administrador de Empresas Agropecuarias, SENA - Centro de Atención al Sector Agropecuario - Regional Santander. Instructor Investigador, Líder Semillero GUATA. El Playón, Santander, Colombia
samirey@misena.edu.co
2. Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias, SENA - Centro de Atención al Sector Agropecuario - Regional Santander. Aprendiz SENA. Integrante del Semillero de Investigación GUATA, El Playón, Santander, Colombia
luisajohannagomez11@gmail.com
3. Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias, SENA - Centro de Atención al Sector Agropecuario - Regional Santander. Aprendiz SENA. Integrante del Semillero de Investigación GUATA, El Playón, Santander, Colombia
juanguio1919@gmail.com

RESUMEN

El cacao colombiano está bien posicionado en el mercado internacional por su sabor y aroma; sin embargo, en materia de contaminantes, existe una preocupación a escala nacional debido a la presencia de cadmio en los granos. Este metal, cuando se acumula en el organismo, es el responsable de serias enfermedades que lo deterioran lentamente. Con esta investigación se pretende evaluar los efectos de dos tratamientos a base de micorrizas arbusculares y plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la reducción de cadmio en cultivos de cacao, contribuyendo a generar posibles soluciones a los cacaoteros del Departamento de Santander, principal productor nacional de cacao.

Se espera determinar si las aplicaciones de los dos tratamientos tienen alguna incidencia significativa en la reducción de cadmio en la planta de cacao. Este proyecto se encuentra en la fase inicial por lo tanto no se tienen conclusiones.

Palabras Claves: Biorremediación, cacao, cadmio, fitoremediación, metales pesados, micorrizas arbusculares, vetiver

ABSTRACT

Colombian cocoa is well positioned in the international market for its flavor and aroma; However, in terms of pollutants, there is a national concern due to the presence of cadmium in the grains. This metal, when it accumulates in the body, is responsible for serious diseases that slowly deteriorate it. This research aims to evaluate the effects of two treatments based on Arbuscular Mycorrhizae and vetiver plants (*Chrysopogon zizanioides*) for the reduction of cadmium in cocoa crops, contributing to generate possible solutions to cocoa trees of the Department of Santander, the main national producer of cocoa.

It is expected to determine if the applications of the two treatments have any significant impact on the reduction of cadmium in the cocoa plant. This project is in the initial phase therefore there are no conclusions.

Keywords: Bioremediation, cocoa, cadmium, phytoremediation, heavy metals, Arbuscular Mycorrhizae, vetiver.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos tropicales de mayor importancia, tanto en el ámbito nacional como internacional. En Colombia, intervienen de forma directa en su explotación más de 25 mil familias, de las cuales el 90% desarrolla su proceso productivo en condiciones de economía campesina. En el 2008, Santander participó en la producción nacional con el 50%, equivalente a 19 mil toneladas de grano. La mayor parte de la producción actual del país la consume la industria de chocolate como materia prima y en sus procesos se generan gran cantidad de empleos, al igual que para la comercialización de los productos elaborados. El chocolate de mesa producido por la industria nacional, se destaca como un componente importante de la canasta familiar colombiana; también otros productos de confitería que originan divisas para el país a través de la exportación [1] (DEL CACAO, M. D. L. E, 2010)

El consumo del cacao a través de sus productos derivados como el chocolate, específicamente, el chocolate amargo presenta beneficios para la salud del que lo consume, además que se considera que aporta minerales, vitaminas y antioxidantes para proteger el organismo y prevenir enfermedades. [2] (Invima, 2017)

Teniendo en cuenta lo anterior, de los beneficios que tiene el consumo de cacao, a través de los productos derivados, es importante el contenido de metales pesados. El cacao es un alimento de alto consumo que puede contener cantidades considerables de metales pesados, que podrían afectar la salud del consumidor y que la calidad del cacao colombiano se considera a nivel mundial por encima del promedio, por ser un grano catalogado como fino de sabor y aroma, ligado a que la industria del chocolate es una de las agroindustrias con más tradición en el país, nace la necesidad de establecer los niveles de este contaminante en los productos de origen nacional debido a las nuevas decisiones internacionales específicamente de los países de la Unión Europea de reglamentar los niveles máximos de cadmio en productos derivados del cacao. [2]

Esta denominación tiene connotaciones de contaminación o toxicidad, la presencia de metales como el cadmio, puede llegar a limitar el crecimiento vegetal y ser tóxico para las plantas, animales y seres humanos, ya que es bioacumulable y posible agente carcinogénico humano (Grupo I), según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC por sus siglas en inglés). [2]

2. METODOLOGÍA

La prueba de campo se realizó en la granja del Centro de Atención al Sector Agropecuario ubicada en el municipio de El Playón (469 m s. n. m.) en la vereda Aguas (Latitud 7°29'37.02"N, longitud 73°12'48.54"O). El clima es tropical, presenta una cantidad significativa de lluvia durante el año. Esto es cierto incluso para el mes más seco. Esta ubicación está clasificada como Af por Köppen y Geiger. La temperatura promedio es de 26.1 °C. La precipitación es de 2112 mm al año.

Tratamiento 1 – reducción de cadmio a través de la inoculación de micorrizas arbusculares.

Fase 1 – Experimentación en Vivero

El presente experimento se realizará en condiciones de invernadero en la casa de cultivo del Centro de Atención al Sector Agropecuario. Las semillas del portainjerto IMC 67 (Selección del jardín clonal SENA – CASA) se desinfectaron con solución de captan y benomil a 1%. La aplicación de los fungicidas a la semilla se hizo para evitar la presencia de otros organismos fitopatógenos y, con ello, asegurar la sanidad de las plántulas, previo a la inoculación del consorcio micorrízico. La germinación de las semillas se llevó a cabo en cámara de incubación a 28 °C, utilizando aserrín esterilizado con yodo agrícola. Después de 3 días de la emergencia, las plántulas se trasplantaron a bolsas de polietileno negro (15 x 30) que contenían 4 kg de sustrato, el cual consistió de una mezcla de suelo agrícola de la Granja Aguas Calientes del centro CASA, (seleccionado por presentar alto contenido de materia orgánica), y arena de río, en proporción 2:1 v/v. La mezcla se esterilizó con yodo agrícola. El consorcio micorrízico *Glomus integratum* por *Gl. manihotis*, *Gl. intraradices*, *Gl. etunicatum* se

inoculará en cada plántula, en los tratamientos correspondientes. La inoculación se realizará en el momento en que la planta emite un par de hojas verdaderas, aplicando mediante drench una solución de 37,5 gramos de micorrizas arbusculares hidrosolubles en 7,5 litros, aplicando por planta 100 mililitros. Las plántulas serán injertadas a 45 días con el clon TCS 01 utilizando los protocolos para injertación temprana. En este tratamiento se comparará con un lote testigo, con las mismas condiciones agroecológicas, pero sin el tratamiento, se realizarán tres repeticiones. Las muestras serán tomadas completamente al azar. Las variables consideradas, a 180 días después del trasplante, serán: Acumulación de cadmio en raíz, tallo y hojas, mediante análisis de metales pesados. Las muestras serán tomadas al azar.

Fase 2 – Experimentación en Campo

Las plántulas obtenidas en la primera fase se distribuirán en dos lotes de 120 plantas cada uno, para un total de 240 árboles, a una distancia de siembra de 3 x 4 metros, con un sistema agroforestal, a condiciones climáticas externas, el lugar del cultivo será en la Granja del Aguas Calientes del Centro CASA, en donde se realizará seguimiento semestral para la absorción de cadmio en hojas y fruto para los dos tratamientos. Este seguimiento tendrá una duración de 3 años a partir del trasplante a campo.

La enmienda y fertilización se realizará en el trasplante a sitio definitivo y posteriormente cada 6 meses, las cantidades dependerán de los resultados por análisis de suelos. El calcio se aplicará a través de yeso agrícola y cal dolomita.

Fase 3 – Evaluación del tratamiento

Los datos recolectados en el libro de campo serán tabulados y analizados en un software estadístico R con el fin de evaluar los tratamientos.

Tratamiento 2 – reducción de cadmio por fitorremediación a través de vetiver (Chrysopogon zizanioides)

Fase 1 – Sistema de siembra

Se tomarán dos lotes de cacao con 250 árboles cada uno con iguales condiciones agroecológicas (tipo de suelo, edad de siembra, sistema agroforestal, fertilización, riego, distancia de siembra) ubicados en la

granja Aguas Calientes del centro CASA.

Se realizará siembra de plántulas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) entre las calles de cacao a una distancia de siembra de 20 centímetros entre tallos. Los análisis de cadmio en hojas y fruto se realizarán de forma semestral y serán registrados en el libro de campo. Las muestras serán obtenidas totalmente al azar.

Fase 2 – Evaluación del tratamiento

Los datos recolectados en el libro de campo serán tabulados y analizados en un software estadístico R con el fin de evaluar los tratamientos.

Tratamiento 3 – Reducción de cadmio utilizando micorrizas arbusculares y fitorremediación a través de vetiver (Chrysopogon zizanioides)

Fase 1- Tratamiento simultaneo

Una vez se realice el análisis de los dos tratamientos anteriores se determinará la necesidad de realizar el tercer tratamiento en donde se implementarán el uso de las micorrizas arbusculares y el vetiver de forma simultánea, tomando análisis de metales pesados para cadmio, cada seis meses, durante 3 años para su posterior evaluación.

Las plántulas que se tomaran para este tratamiento son las resultantes del primero, en donde se realizará siembra de plántulas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) entre las calles de cacao a una distancia de siembra de 20 centímetros entre tallos.

Fase 2 – Evaluación del tratamiento

Los datos recolectados en el libro de campo serán tabulados y analizados en un software estadístico R con el fin de evaluar el tratamiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El cacao colombiano está bien posicionado en el mercado internacional por su sabor y aroma; sin embargo, en materia de contaminantes, existe a una preocupación a escala nacional debido a la presencia de cadmio en los granos. Este metal, cuando se acumula en el organismo, es el responsable de serias enfermedades que lo deterioran lentamente, debido a esto a

partir del 2019, la Comunidad Europea comenzará a exigir al cacao y sus derivados unos niveles máximos de cadmio [3]. Con esta investigación se pretende evaluar los efectos de dos tratamientos a base de micorrizas arbusculares y plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la reducción de cadmio en cultivos de cacao, contribuyendo a generar posibles soluciones a los cacaoteros del Departamento de Santander, principal productor nacional de cacao.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de dos tratamientos a base de micorrizas arbusculares y plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la reducción de cadmio en cultivos de cacao de la granja del Centro de Atención al Sector Agropecuario – SENA

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las formas químicas del cadmio en suelos de la granja de Aguas Calientes mediante análisis de metales pesados.
- Determinar la eficiencia de la fitorremediación utilizando vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la reducción de Cadmio en el cultivo del cacao.
- Determinar la eficiencia de las micorrizas arbusculares para la reducción de Cadmio en el cultivo del cacao

5. REFERENTE TEÓRICO

Los metales pesados presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm³, siendo por lo tanto de mayor peso que los minerales formadores de roca en su forma elemental. [4], Los metales pesados, al meteorizarse, se concentran en los suelos, y estas concentraciones naturales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden provocar que las plantas los acumulen, ocasionando efectos tóxicos para los animales que la consumen. Así, en los suelos, generalmente los más abundantes son manganeso, cromo, zinc, níquel y plomo [5]. Esta concentración ocurre principalmente al desarrollarse diversas actividades humanas, entre

las que destacan la minería, la fundición, la producción energética, la actividad industrial, la producción y uso de plaguicidas, el tratamiento y depósito de vertido o residuos [6]. De igual modo, las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes; sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos requeridos, siendo, por ejemplo, el valor máximo de cadmio total de 0,5 ppm [7]. También los metales pesados pueden ser transferidos a las partes comestibles de los cultivos siendo la capacidad de absorción variable [8]. Los fertilizantes fosforados son la principal fuente de contaminación de cadmio en suelos agrícolas, siendo los producidos a partir de la roca fosfórica, los que constituyen la mayor entrada agrícola de cadmio a los mismos [9]. En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz, secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta, concentrándose en orden decreciente. Se ha demostrado que el cadmio ingresa en la vacuola unido a fitoquelatinas (PCs) a través de un transportador de tipo ABC (Ortiz et al., 1995). [10] La absorción de cadmio a nivel de las raíces tiene una competencia directa con nutrientes tales como el calcio, potasio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc, por lo que pueden ser absorbidos por las mismas proteínas transportadoras. Es posible considerar todos estos efectos debido al carácter de la bioacumulación y biomagnificación del cadmio en el suelo y en los tejidos de los órganos vivos [11].

6. RESULTADOS PARCIALES Y DISCUSIÓN

La investigación inicia con el tratamiento 1 en donde se realiza análisis del sustrato utilizado y de la roca fosfórica, fertilizante normalmente utilizado para fomentar y fortalecer el sistema radicular de la planta. De acuerdo a la literatura consultada, los fertilizantes fosforados presentan un aporte significativo de Cadmio en la planta.

El contenido de cadmio en las muestras enviadas a laboratorio fueron las siguientes:

Tabla 1. Contenido de cadmio en las muestras

Muestra	Cadmio (mg Cd/Kg)
1. Sustrato: Suelo / Cascarilla	0,72
2. Sustrato: Suelo/Cascarilla/Roca Fosfórica	7,33
3. Roca Fosfórica	35,25
Método: Absorción atómica /EPA 3050 B y SM 3111 B	

La composición del sustrato utilizado fue la siguiente:

Tabla 2. Composición del sustrato utilizado

Composición Sustrato	
Suelo Cultivo	78,26%
Roca Fosforica	8,70%
Humus de lombris	8,70%
Cascarilla de arroz	4,35%

Esta formulación fue utilizada para 75 macetas donde se realizó el tratamiento 1 y 75 macetas para usarlas de testigo.

Luego de la inoculación, utilizando un plan de fertilización adecuado durante 30 días, se enviará al laboratorio partes vegetativas de la planta, como hojas y tallos, con el fin de determinar el contenido de cadmio para las muestras con tratamiento y los testigos.

7. CONCLUSIONES

Se espera determinar si las aplicaciones de los dos tratamientos tienen alguna incidencia significativa en la reducción de cadmio en la planta de cacao. Este proyecto se encuentra en la fase inicial por lo tanto no se tienen conclusiones.

REFERENCIAS

[3] Jiménez Tobón, Claudia Stella. “Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. Producción+ Limpia,” vol. 10, no 1, p. 89-104, 2015.

[4] García, Inés, and Carlos Dorronsoro. “Contaminación por metales pesados.” Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola, 2005.

[5] Sánchez Rodríguez, Miguel. “Evaluación del contenido de metales pesados (cd y pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga.” 2017.

[6] Weber, Jerzy, and Anna Karczewska. “Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment.” *Geoderma* 2.122: 105-107, 2004.

[7] Kabata-Pendias, A. “Trace elements in soils and plants.” Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 365, 413, 2000.

[8] Iretskaya, S. N., and S. H. Chien. “Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH.” *Communications in soil science and plant analysis* 30.3-4: 441-448, 1999.

[9] De Meeus, C., G. H. Eduljee, and M. Hutton. “Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilisers. I.” *Science of the total Environment* 291.1-3: 167-187, 2002.

[10] Rodríguez-Serrano, M., et al. “Toxicidad del cadmio en plantas.” *Revista Ecosistemas* 17.3, 2008.

[11] Benavides, Maria P., Susana M. Gallego, and Maria L. Tomaro. “Cadmium toxicity in plants.” *Brazilian journal of plant physiology* 17.1: 21-34, 2005.

