



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS

NATURALES

CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON MACRONUTRIENTES
SOBRE LA ABSORCIÓN DE CADMIO DE DOS MATERIALES
GENÉTICOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) UTILIZADOS COMO
PATRONES, BAJO CONDICIONES CONTROLADAS”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Roger Alexander Pincay Ganchozo

TUTOR:

Ing. Wellington Pincay Ronquillo, MSc.

LA MANÁ – ECUADOR

MARZO-2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TEMA: “EFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN CON MACRONUTRIENTES SOBRE LA ABSORCIÓN DE CADMIO DE DOS MATERIALES GENÉTICOS DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) UTILIZADOS COMO PATRONES, BAJO CONDICIONES CONTROLADAS”

Autor: *Pincay Ganchozo Roger Alexander*

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los efectos de la fertilización con macronutrientes sobre la absorción de cadmio de dos materiales genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizados como patrones. Se realizó un experimento en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Bajo un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo de parcelas divididas. Empleando 14 tratamientos por tres replicas, los tratamientos estuvieron constituidos por dos factores. Factor A genotipos (CCN-51 y EET-103), factor B (fertilización). Las variables que se evaluaron a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra, fueron: índice de vigor e índice de clorofila. Al final del estudio se realizó un muestreo destructivo y se cuantificó: la longitud de raíz, peso seco aéreo, peso seco de raíz, concentración de cadmio en los tejidos, eficiencias de absorción, traslocación y fito-extracción de cadmio. Además, en el suelo y rizósfera se evaluó el pH y conductividad eléctrica. Se encontró que el genotipo CCN-51 obtuvo el mejor índice de clorofila, (42,23; 44,71; 48,76 y 41,91 unidades de Spad) mayor longitud de raíz (15,72 cm), concentración de cadmio en la parte aérea (6,94 mg kg⁻¹), eficiencias de absorción (61,59 µg g⁻¹), traslocación (13,85 µg g⁻¹) y fito-extracción de cadmio (57,46 µg g⁻¹), mientras EET-103 obtuvo la mejor concentración de cadmio en raíz (4,91 mg kg⁻¹), el mayor pH (5,74) y conductividad eléctrica del suelo (3,45 dS m⁻¹). Respecto al efecto de los genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes se evidenció que la aplicación NPKSMgCa aumenta significativamente la concentración de Cd en la parte aérea de CCN-51 (9,5 mg Kg⁻¹) y EET-103 (7,67 mg Kg⁻¹). Además, eleva la eficiencia de fito-extracción de cadmio (81,29 y 67,77 µg g⁻¹) en (CNN-51 y EET-103). La fertilización con macronutrientes incrementa la acidez y salinidad del suelo, esto ocasiona incremento en la biodisponibilidad y absorción de Cd en las plantas, elevando significativamente la concentración de Cd en los tejidos aéreos de las plantas de cacao. Además, esto reduce la concentración de clorofila y producción de masa seca en los componentes morfológicos.

Palabras clave: metales pesados, suelo, fertilizantes, Ecuador.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effects of macronutrient fertilization on cadmium uptake of two cocoa genetic materials (*Theobroma cacao* L.) used as rootstocks. An experiment was conducted by the greenhouse of the Department of Soil and Water Management of the Pichilingue Tropical Experimental Station of the National Institute of Agricultural Research. Under a randomized complete block design with a split-plot arrangement. Using 14 treatments by three replicates, the treatments consisted of two factors. Factor A genotypes (CCN-51 and EET-103), factor B (fertilization). The variables evaluated 45, 60, 75, and 90 days after planting were: the vigor index and chlorophyll index. At the end of the study, destructive sampling was carried out and the following were quantified: root length, aerial dry weight, root dry weight, cadmium concentration in the tissues, cadmium absorption, translocation, and phytoextraction efficiencies. In addition, soil and rhizosphere pH and electrical conductivity were evaluated. It was found that the CCN-51 genotype obtained the best chlorophyll index (42.23; 44.71; 48.76 and 41.91 Spad units), greater root length (15.72 cm), cadmium concentration in the aerial part (6.94 mg kg⁻¹), absorption efficiencies (61.59 µg g⁻¹), translocation (13, 85 µg g⁻¹) and phytoextraction of cadmium (57.46 µg g⁻¹), while EET-103 obtained the best cadmium concentration in the root (4.91 mg kg⁻¹), the highest pH (5.74) and soil electrical conductivity (3.45 dS m⁻¹). Regarding the effect of cocoa genotypes with macronutrient fertilization, it was found that the application of NPKSMgCa significantly increased the concentration of Cd in the aerial part of CCN-51 (9.5 mg kg⁻¹) and EET-103 (7.67 mg kg⁻¹). In addition, it raises the phytoextraction efficiency of cadmium (81.29 and 67.77 µg g⁻¹) in (CNN-51 and EET-103). Macronutrient fertilization increases soil acidity and salinity, which causes an increase in the bioavailability and absorption of Cd in plants, significantly raising the concentration of Cd in the aerial tissues of cocoa plants. In addition, this reduces chlorophyll concentration and dry mass production in morphological components.

Keywords: heavy metals, soil, fertilizers, Ecuador.

ÍNDICE

Pag.		
	DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
	AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ii
	APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
	AGRADECIMIENTOS.....	iv
	DEDICATORIA.....	v
	RESUMEN	vi
	ABSTRACT	vii
	ÍNDICE.....	viii
	ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
	ÍNDICE DE FIGURAS	xi
	ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
	1. INFORMACIÓN GENERAL	1
	2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
	3. JUSTIFICACIÓN.....	3
	4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
	5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
	6. OBJETIVOS.....	5
	6.1. Objetivo General.....	5
	6.2. Objetivos Específicos	5
	7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
	8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
	8.1. Origen y distribución del cacao	7

8.2. Importancia del cultivo de cacao	7
8.3. Clones de cacao usados en el estudio	8
8.3.1. CCN-51	8
8.3.2. EET-103	8
8.4. Efectos del cadmio en la salud y el medio ambiente	8
8.5. Fuentes de contaminación por cadmio.....	9
8.6. Situación de los suelos con cadmio en Ecuador	9
8.7. Efecto del cadmio sobre la fisiología de las plantas	10
8.8. Efecto de la fertilización con macronutrientes en la fito-extracción y acumulación de Cd	10
8.9. Antecedentes de estudios de cadmio en cacao.....	11
9. HIPÓTESIS CIENTÍFICAS.....	12
10. METODOLOGÍAS	12
10.1. Ubicación y duración del ensayo	12
10.2. Materiales y equipos	13
10.3. Tipos de investigación	13
10.3.1. Cuantitativo.....	13
10.3.2. Cualitativo.....	13
10.4. Factores en estudio.....	13
10.5. Análisis de varianza	14
10.6. Variables a evaluar.....	14
10.6.1. Índice de vigor (cm ³).....	14
10.6.2. Índice de clorofila.....	15
10.7. Muestreo destructivo a los 90 DDS	16
10.7.2. pH y conductividad eléctrica en el suelo y rizósfera.....	16
10.7.3. Biomasa seca de parte aérea y radicular.....	16

10.7.4. Determinación de cadmio.....	16
10.7.5. Contenido de Cd en la parte aérea y raíz	17
10.7.5. Desarrollo experimental	17
10.7.6. Aplicación de los tratamientos	18
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	20
11.1. Efecto genotípico de cacao en las variables de crecimiento, índice de clorofila y sobre la capacidad extractora de cadmio	20
11.2. Efectos de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en las variables de crecimiento, índice de clorofila y en la capacidad extractora de cadmio.....	26
11.3. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en las variables de crecimiento, índice de clorofila y sobre la capacidad extractora de cadmio	33
12. IMPACTOS	43
13. PRESUPUESTO.....	43
14. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	44
14.1. Conclusiones.....	44
14.2. Recomendaciones	44
15. BIBLIOGRAFÍA	45
16. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos planeados	6
Tabla 2. Materiales y equipos.....	13
Tabla 3. Tratamientos a ser evaluados y que resulta de la combinación de los factores genotipos y fertilización.....	14
Tabla 4. Esquema de análisis de varianza	14
Tabla 5. Requerimiento nutricional de plántulas de cacao, fracciones de cada nutriente y momento de aplicación.....	18
Tabla 6. Requerimiento nutricional relacionado a cada tratamiento y dosis que se empleó de cada fertilizante para suplir los nutrimentos en la primera aplicación, llevada a cabo a los 21 DDS.....	19
Tabla 7. Requerimiento nutricional relacionado a cada tratamiento y dosis que se empleó de cada fertilizante para suplir los nutrimentos en segunda aplicación, que se realizó a los 42 DDS.....	19
Tabla 8. Requerimiento nutricional relacionado a cada tratamiento y dosis que se empleó de cada fertilizante para suplir los nutrimentos en la tercera aplicación, que se efectuó a los 63 DDS.....	20
Tabla 9. Efecto de genotipos de cacao en el peso seco raíz, peso seco parte aérea, relación parte aérea/raíz y longitud de raíz	22
Tabla 10. Efecto de genotipos de cacao en las eficiencias de absorción, traslocación y fito-extracción de cadmio.....	25
Tabla 11. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra.....	27
Tabla 12. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el contenido de cadmio en la parte aérea, raíz y planta.....	30
Tabla 13. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 DDS	33
Tabla 14. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 DDS	34

Tabla 15. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en la masa seca de las estructuras morfológicas y el crecimiento de raíz.....	35
Tabla 16. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes sobre el contenido de cadmio en la parte aérea, raíz y planta, eficiencias de absorción, traslocación y fito-extracción de cadmio.....	38
Tabla 17. Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la masa seca de raíz y parte aérea	39
Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con la concentración de Cd en los tejidos	39
Tabla 19. Coeficientes de correlación de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con la las variables de eficiencia de absorción, traslocación y fito-extracción de Cd.....	40
Tabla 20. Coeficientes de Correlación de Pearson entres las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la concentración de Cd en los tejidos	41
Tabla 21. Coeficientes de Correlación de Pearson entres las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la concentración de Cd en los tejidos	41
Tabla 22. Coeficientes de correlación de Pearson en las propiedades químicas del suelo y rizósfera con las variables de absorción, traslocación y fito-extracción de Cd.....	42
Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson en las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera con las variables de absorción, traslocación y fito-extracción de cadmio.....	42
Tabla 24. Coeficientes de correlación de Pearson entres las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera	43
Tabla 25. Presupuesto para la investigación efectos de la fertilización con macronutrientes sobre la absorción de cadmio de dos materiales genéticos de cacao utilizados como patrones, bajo condiciones controladas.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de genotipos de cacao en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra.....	20
Figura 2. Efecto de genotipos de cacao en el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra.....	21
Figura 3. Efecto de genotipos de cacao en el pH y conductividad eléctrica del suelo (a) y de la rizósfera (b).....	22
Figura 4. Efecto de genotipos de cacao en la concentración de Cd en la parte aérea y raíz	23
Figura 5. Efecto de genotipos de cacao en el contenido de Cd en la parte aérea (a), raíz (b) y parte aérea más raíz (c).....	25
Figura 6. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra.....	26
Figura 7. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el peso seco de la parte aérea (a), peso seco de raíz (b), relación parte aérea/raíz (c) y longitud de raíz (d)	28
Figura 8. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el pH y CE del suelo (a) y de la rizósfera (b)	29
Figura 9. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la concentración de cadmio en la parte aérea y raíz	30
Figura 10. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de absorción de cadmio.....	31
Figura 11. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de traslocación de cadmio	31
Figura 12. Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de fito-extracción de cadmio.....	32
Figura 13. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en los factores de pH y CE del suelo (a-b) y de la rizósfera (c-d).....	36
Figura 14. Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en la concentración de Cd en la parte aérea (a) y radicular (b)	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del tutor.....	60
Anexo 2. Hoja de vida del egresado	61
Anexo 3. Contrato de sesión.....	61
Anexo 4. Certificado Urkund	62
Anexo 5. Aval de traducción	63
Anexo 6. Fotografías del desarrollo de la investigación	64
Anexo 7. Distribución de los tratamientos	69