



**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.

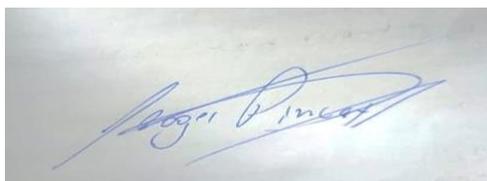
**LA MANÁ – ECUADOR**

**MARZO-2022**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Por medio del presente quien suscribe, Roger Alexander Pincay Ganchozo declara ser autor del presente 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. siendo el Ing. Wellington Pincay Ronquillo, MSc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Pincay Ganchozo Roger Alexander  
C.I: 0941185332

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**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**” de la Carrera de Ingeniería Agronómica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, 18 de enero del 2022



Ing. Wellington Pincay Ronquillo, MSc.  
C.I: 1206384586  
**TUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, por cuanto el postulante: Pincay Ganchozo Roger Alexander con el título de 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**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, 28 de marzo del 2022

Para constancia firman:



Ing. Kleber Espinosa Cunuhay  
C.I: 0502612740  
**LECTOR (PRESIDENTE)**



Ing. Ramón Macías Pettao  
C.I: 0912969227  
**LECTOR 1 (MIEMBRO)**



Firmado electrónicamente por:

**JONATHAN BISMAR  
LOPEZ BOSQUEZ**

Ing. Jonathan López Bosquez  
C.I: 1205419292  
**LECTOR 2 (SECRETARIO)**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por proveerme de sabiduría, salud y permitirme alcanzar con éxito mi formación profesional.*

*A mis padres Claudio Pincay y Adriana Ganchozo que han sido los pilares fundamentales en mi vida. Les agradezco por todo el amor que siempre me han dado y haberme forjado hacia la excelencia académica.*

*A mis hermanos Fernando y Ariel por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, a quienes amo con todo mi corazón.*

*Infinitos agradecimientos Al Dr. Manuel Carrillo Zenteno, líder del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP, Pichilingue, por brindarme la oportunidad de realizar el presente proyecto y haberme impartido sus conocimientos. Además, por su gran orientación en todo el proceso de la investigación, lo cual se ha visto también reflejado en los excelentes resultados obtenidos.*

*A la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ sus siglas en alemán), por el aporte financiero en la investigación.*

*A las analistas de laboratorio Ings. Karina Peña y Maira Macías por su ayuda invaluable en las actividades conjuntamente desarrolladas.*

*Al Dr. Juan José Reyes Pérez por sus sabios consejos y su aporte invaluable en el aprendizaje que he tenido durante estos cinco años.*

*Al MSc. Ricardo Luna Murillo por su optimismo, motivación e innumerables enseñanzas que me brindo en el departamento de investigación de la UTC.*

**Roger**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este logro a Dios por ser el que guía mi camino y el que me llena de fortaleza para alcanzar mis metas.*

*A mi familia en especial a mis amados padres Claudio Pincay y Adriana Ganchozo, quienes asentaron en mi la base de responsabilidad y sobre todo deseos de superación.*

**Roger**

# 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<sup>-1</sup>), eficiencias de absorción (61,59 µg g<sup>-1</sup>), traslocación (13,85 µg g<sup>-1</sup>) y fito-extracción de cadmio (57,46 µg g<sup>-1</sup>), mientras EET-103 obtuvo la mejor concentración de cadmio en raíz (4,91 mg kg<sup>-1</sup>), el mayor pH (5,74) y conductividad eléctrica del suelo (3,45 dS m<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>) y EET-103 (7,67 mg Kg<sup>-1</sup>). Además, eleva la eficiencia de fito-extracción de cadmio (81,29 y 67,77 µg g<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>), absorption efficiencies (61.59 µg g<sup>-1</sup>), translocation (13, 85 µg g<sup>-1</sup>) and phytoextraction of cadmium (57.46 µg g<sup>-1</sup>), while EET-103 obtained the best cadmium concentration in the root (4.91 mg kg<sup>-1</sup>), the highest pH (5.74) and soil electrical conductivity (3.45 dS m<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>) and EET-103 (7.67 mg kg<sup>-1</sup>). In addition, it raises the phytoextraction efficiency of cadmium (81.29 and 67.77 µg g<sup>-1</sup>) 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 <sup>3</sup> ).....	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

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:** 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

**Fecha de inicio:** abril 2021

**Fecha de finalización:** agosto 2021

**Lugar de ejecución:** Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Agronómica

**Equipo de Trabajo:** Roger Alexander Pincay Ganchozo, Egresado UTC, La Maná

Dr. Manuel Carrillo Zenteno, INIAP-Pichilingue

MSc. Wellington Pincay Ronquillo, UTC, La Maná

Ing. Karina Peña Salazar, INIAP-Pichilingue

**Área de Conocimiento:** Agricultura, silvicultura y pesca

**Línea de investigación:** Análisis, Conservación y Aprovechamiento de la Biodiversidad Local

**Sub línea de investigación:** Agua y Suelos

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los metales pesados son una preocupación mundial debido a que la ingesta de alimentos contaminados con estas sustancias son un riesgo para la salud humana, además son tóxicas para plantas y animales a pesar de que se encuentren en concentraciones bajas (Londono-franco *et al.*, 2016). A nivel mundial las actividades antropogénicas han influido a que se aumente la contaminación de los recursos naturales por metales pesados (Pabón *et al.*, 2020).

Las actividades agrícolas, mineras y los procesos industriales son las principales fuentes de contaminación de cadmio (Cd) en los suelos. Lo que ha incidido a que este metal toxico se absorbido por las plantas y entre a la cadena trófica. Actualmente, la fito-extracción de Cd por cacao ha llamado la atención debido a que la Unión Europea haya puesto en vigencia valores de concentraciones máximas de Cd en derivados de cacao (Meter *et al.*, 2019).

El cacao producido en la región de América Latina mayoritariamente se comercializa en los mercados europeos (Arvelo *et al.*, 2017a). Varias experiencias han evidenciado que estos países son los que producen granos de cacao con el mayor índice de Cd (Meter *et al.*, 2019). Particularmente, Ecuador es el principal país de la región con mayor producción y exportación de granos de cacao, además, lidera la producción mundial de cacao fino y de aroma (Abad *et al.*, 2020). Sin embargo, la presencia alta de Cd en los granos pondría en riesgo su comercialización y esto ocasionaría daños severos a la agro-cadena cacaotera, debido a ello se buscan alternativas para mitigar este problema.

Sobre las bases de las consideraciones anteriores, el presente trabajo se enfocó, en identificar la variación genotípica en la acumulación de Cd sobre patrones de cacao y la influencia que tiene la fertilización con macronutrientes en los factores de absorción y traslocación de Cd.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El cacao se cultiva en todas las regiones tropicales del mundo. En América es producido por 23 países, se estima que en este continente el área cultivada es superior a 1.700.000 hectáreas, genera rubros importantes, 900 millones de dólares por exportaciones anuales y 1.500.000 empleos directos (Arvelo *et al.*, 2017a).

En Ecuador, el cacao es considerado como tercer producto agrícola de mayor importancia económica y social, después del banano y las flores (León-Villamar *et al.*, 2016). Adicionalmente, este país es el mayor exportador de cacao del continente americano con 183 647 Tm, representando un monto de USD\$ 508.865.000 anuales (Arvelo *et al.*, 2017a), con una superficie cultivada de 601.954 ha (INEC, 2019) de las cuales el 80% están en manos de medianos y pequeños agricultores (Merchán *et al.*, 2015). Sin embargo, el principal problema que amenaza a la agro-cadena del cacao, es la alta presencia en los granos de metales pesados, como el cadmio, este que es perjudicial para la salud de los consumidores, esto podría limitar la comercialización de la almendra (Meter *et al.*, 2019), colateralmente afectando directamente a la socio-economía del país.

La actual situación impone la búsqueda de nuevas estrategias que mitiguen esta problemática, que sean de fácil acceso y económico para los productores. Una alternativa viable para Ecuador es encontrar genotipos de cacao de baja acumulación de cadmio, y conocer los procesos fisiológicos en todas las fases fenológicas del cultivo, en suelos con presencia de metales pesados, además, se requiere comprender el efecto de la fertilización con macronutrientes en la absorción de cadmio, factores que podrían estar estrechamente relacionados en la captación y traslocación de Cd (Chavez *et al.*, 2015).

### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Los beneficiarios directos son los productores de cacao, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Tropical Pichilingue, la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ministerio de agricultura y viveristas.

Los beneficiarios indirectos están los consumidores de los derivados del cacao, la ciudadanía en general, las empresas que elaboran chocolate en el Ecuador.

## 5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial los factores antropogénicos como la aplicación indiscriminada de fertilizantes y pesticidas que contienen metales pesados ha ocasionado a que los suelos agrícolas y el agua se contaminen por estas sustancias nocivas, donde al ser tomadas por las plantas entra a la cadena trófica y dichos alimentos consumidos con presencia de estos elementos tóxicos puede causar daños severos a la salud humana (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

Los cultivos absorben el cadmio desde el suelo; en el caso del cacao, se concentra en las almendras, lo que incide a que terminen en sus derivados, repercutiendo la salud de los consumidores, debido a esto, en enero del 2019 la Unión Europea puso vigente la norma 2014/488, esta indica que el contenido máximo en el chocolate deberá fluctuar de 0,10 a 0,80 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, para cubrir esta exigencia los compradores han establecido que el nivel máximo de contenido de cadmio en los granos de cacao, debe prevalecer en un rango máximo de 0,5 a 1,1 mg kg<sup>-1</sup> (Meter *et al.*, 2019). Sin embargo, investigaciones realizadas en el continente americano, han reflejado que en Ecuador, Perú y Colombia se producen los granos de cacao con el mayor contenido de cadmio a nivel global (Garzón *et al.*, 2020).

Esta problemática podría poner en peligro la comercialización del cacao ecuatoriano en los mercados europeos, siendo en estas plazas comerciales donde mayor se concentra su exportación, esto afectaría a la economía activa del país, particularmente a los 90.000 productores de granos de cacao, siendo la mayor parte pequeños y medianos agricultores (Arvelo *et al.*, 2017a).

En Ecuador no se encuentra bien documentado las soluciones basado en el conocimiento respecto a los mecanismos fisiológicos en la absorción, repartición de cadmio, nutrición, edad de la planta y variedades de cacao de baja acumulación.

¿Existe diferencias en la extracción de Cd por materiales genéticos evaluados?

¿La fertilización con macronutrientes afecta la absorción de Cd y morfo-fisiología de plantas de cacao utilizadas como patrón?

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo General**

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, bajo condiciones controladas.

### **6.2. Objetivos Específicos**

- Conocer la respuesta fisiológica de plantas de cacao a la aplicación de macronutrientes en suelo contaminado con cadmio, bajo condiciones controladas.
- Determinar variaciones en el vigor de dos genotipos de cacao utilizados como patrones, por aplicación de macronutrientes en suelo contaminado con cadmio, bajo condiciones controladas.
- Identificar la influencia de los macronutrientes sobre la absorción de cadmio y su movilización en la planta, bajo condiciones controladas.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 1.** Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos planeados

OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	VERIFICACIÓN
Conocer la respuesta fisiológica en plántulas de cacao mediante la aplicación de macronutrientes en suelo contaminado con cadmio, bajo condiciones controladas.	Aplicación de macronutrientes en las plántulas de cacao Valoración de variables morfológicas en plantas de cacao	Datos de las variables morfológicas evaluadas: altura de planta, diámetro del tallo y de la corona foliar, longitud de raíz	Fotos, libro campo, archivos Excel
Determinar indicadores de vigor en patrones de dos genotipos de cacao, mediante la aplicación de nutrimentos, bajo condiciones controladas.	Medición de clorofila y aplicación de fórmulas que indica el índice de vigor	Valor de clorofila	Fotos, archivo Excel
Identificar que macroelemento inhibe o aumenta la absorción de cadmio y su movilización en el suelo, bajo condiciones controladas.	Análisis de laboratorio y aplicación de fórmulas matemáticas.	Datos de los niveles de cadmio en los tejidos vegetales de las plantas evaluadas	Fotos, archivos Excel

**Elaborado por:** Pincay (2022)

## 8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 8.1. Origen y distribución del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta perenne, originaria de Sudamérica, de ahí se introdujo por todo América, África y Asia (De La Cruz *et al.*, 2011). Se denomina como un cultivo endémico de clima tropical. Sin embargo, se adapta desde 0 hasta los 1200 metros sobre el nivel del mar, la temperatura óptima para su crecimiento y desarrollo oscila entre 18 a 32 °C, con precipitaciones medias de 1150 a 2500 mm/año (Arvelo *et al.*, 2017b).

### 8.2. Importancia del cultivo de cacao

La calidad nutricional del cacao lo convierte en uno de los productos agrícolas con mayor demanda en los mercados, por productores de chocolate, esto ha conllevado a que las plantaciones de cacao se extiendan en todos los trópicos y subtropicos del mundo (Barrientos, 2015). Sin embargo, la mayor producción de cacao se concentra en África y América, con valores de 80 y 15 %, respectivamente.

El sector cacaotero en América Latina y el Caribe tiene una alta relevancia socioeconómica, es uno de los principales productos de exportación como materia prima, la actividad cacaotera está vinculada con la agricultura familiar, siendo una de las principales fuentes de empleo, ingresos económicos y beneficia a la riqueza de los países, en la región hay alrededor de 1.800.000 ha plantadas de cacao, Brasil es el país que posee la mayor concentración de superficie plantada con 40 % seguido por Ecuador (24%), Colombia (9%), República Dominicana (9%), Perú (6%) y Venezuela (4%) (FAO, 2018). Sin embargo, en los últimos 10 años habido un incremento de área cultivada aproximadamente 377.000 ha, concentrado el mayor aumento en Ecuador, Colombia, Brasil, Perú y República Dominicana, que en conjunto incrementan alrededor de 354.000 ha (Sánchez *et al.*, 2019).

El sector agrícola y pecuario ecuatoriano en el 2018 apporto aproximadamente 5.522 millones de dólares americanos, equivalente al 8% del PIB nacional, particularmente el cultivo de cacao apporto el 3% al PIB agrícola (MAG, 2018 y Sánchez *et al.*, 2018). En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, la superficie cultivada de cacao es de 601.954 ha, las principales provincias que concentran la mayor superficie plantada son Manabí con 21,75 % seguida por Los Ríos (21,25 %), Guayas (20,59 %), Esmeraldas (11,42 %) y Santo Domingo

de los Tsáchilas (4,86 %) (INEC, 2020). El manejo del cultivo de cacao en las zonas tropicales del Ecuador es una de las principales actividades socio-económicas. Adicionalmente, este país en el continente americano, ocupa el primer lugar como exportador de cacao fino de aroma (Sánchez *et al.*, 2019).

### **8.3. Clones de cacao usados en el estudio**

#### **8.3.1. CCN-51**

El cacao CCN-51 es un híbrido que se originó en Ecuador, este genotipo es el resultado del cruzamiento entre IMC-67 (Amazónico) x ICS- 95 (Trinitario) x forastero desconocido. Además, este clon es considerado un arbusto por su altura, no supera los 5 m de longitud, posee tolerancia al mal del machete (*Ceratocystis fimbriata*) y escoba de bruja (*Monillioptera perniciosa*), es precoz su primera producción inicia a los 24 meses de edad (Espinosa y Mosquera, 2012).

#### **8.3.2. EET-103**

Es un clon que en ambientes favorables es precoz, alcanzado su primera producción a los 12 meses de edad, se estima que alcanza promedios de productividad de 1.014 a 2.154 kg/ha, es tolerante a mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) y escoba de bruja (*Monillioptera perniciosa*), pero susceptible a monilia, sus frutos son de forma ovoidea con superficie poco rugosa, tiene semillas grandes y cilíndricas, su almendra tiene buena calidad y fácil fermentación (Vera *et al.*, 1984).

### **8.4. Efectos del cadmio en la salud y el medio ambiente**

El cadmio es una sustancia de elevado peso molecular, específicamente su masa atómica es 112,41 g/mol, su forma iónica  $Cd^{2+}$ , de color ligeramente azulado se asocia con el zinc (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011) posee efectos negativos silenciosos tanto en la salud humana como en los ecosistemas, esta sustancia toxica pueden llegar al interior del cuerpo a través de la ingesta de agua, alimentos contaminados e inhalación de moléculas que se encuentran presentes en el aire, tiende acumularse a nivel celular, provoca daños en los riñones, hígado, vías respiratorias y el sistema nervioso. Respecto a los efectos negativos sobre el medio ambiente, principalmente ocasiona daños a la flora y fauna, además, contaminan las cuencas

hidrográficas, los suelos, en concentraciones elevadas produce toxicidad a las plantas (Romero, 2009).

### **8.5. Fuentes de contaminación por cadmio**

La contaminación con cadmio puede ser naturalmente, debido a la desmineralización de la roca madre o erupciones volcánicas (Peláez-Peláez *et al.*, 2016), también su origen se debe por los procesos antropogénicos, como las actividades industriales, agrícolas (uso de fertilizantes y pesticidas), mineras y quema de desperdicios sólidos en las urbanizaciones, (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

El cadmio proveniente de fuentes antropogénicas, presente en los horizontes superficiales, es más disponible para las plantas, que el resultante de la meteorización de las rocas, pero su fitoextracción dependerá de las características del suelo y cultivo (Marcano, 2000). No obstante, la concentración en el suelo por debajo de  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$  es considerado como normal, por encima de este valor se estima como ligeramente contaminado (Gramlich *et al.*, 2016).

### **8.6. Situación de los suelos con cadmio en Ecuador**

En Ecuador el Ministerio del Ambiente establece como normativa en base a la calidad de los suelos que  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  es el límite máximo de cadmio permitido (Ministerio del Ambiente, 2015). Sin embargo, investigaciones realizadas por Mite *et al.* (2010) en suelos de diferentes zonas cacaoteras del Ecuador, encontraron concentraciones que fluctúan de  $0,88$  a  $2,53 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd. Particularmente, estos autores indica que a nivel del Ecuador sobre las provincias de El Oro y Manabí se encuentra los suelos con las concentraciones más elevadas de este metal, respectivamente valores de  $2,53$  y  $2,37 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd. Además, determinaron que en los primeros 5 cm de profundidad del suelo se encuentra el mayor contenido de Cd biodisponible para las plantas.

En este sentido, Chávez *et al.* (2015) sostienen que el cadmio acumulado sobre los primeros 15 cm de profundidad de suelos cacaoteros, es debido a los procesos antropogénicos, como el empleo de fertilizantes y pesticidas que contienen Cd y aplicación de agua para el riego que se encuentra contamina por este metal.

### **8.7. Efecto del cadmio sobre la fisiología de las plantas**

El Cd reduce la absorción y translocación de nutrientes y agua, genera daño oxidativo, altera el metabolismo e inhibe la morfología y fisiología de las plantas. La acumulación de Cd en las hojas reduce la apertura de los estomas (Younis *et al.*, 2016), deteriora la membrana tilacoidal de los cloroplastos, provoca daño en el fotosistema I y II, esto disminuye la asimilación de energía lumínica, dando como resultado una inhibición general en la fotosíntesis (Hasan *et al.*, 2009). También el Cd inhibe el metabolismo de la reductasa de hierro, así generando una deficiencia de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), oligoelemento que constituye en la formación de los pigmentos fotosintéticos (Jenkins y Basu, 2021).

Las altas concentraciones de Cd en las plantas, reduce la fijación de  $\text{CO}_2$ , disminuye el contenido de clorofila, aumenta la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno, esto oxida proteínas y lípidos, también ocasiona daños a los organelos celulares (Gallego *et al.*, 2012). Asu vez, Rizwan *et al.* (2016) sostienen que las plantas que crecen en suelos con Cd podrían generar estrés osmótico, reduciendo el contenido relativo de agua en la hoja, afectando la conductancia estomática y transpiración, lo que resulta en daño fisiológico de la planta.

### **8.8. Efecto de la fertilización con macronutrientes en la fito-extracción y acumulación de Cd**

El efecto de la fertilización con nitrógeno en la absorción de Cd y la acumulación en las plantas puede estar relacionada con el tipo y la dosis de N; fertilizantes, como urea y sulfato de amonio, pueden mejorar la disponibilidad de Cd al reducir el pH (Sarwar *et al.*, 2010). Algunos fertilizantes fosfatados como fosfato dipotásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) y monoamónico ( $[\text{NH}_4] [\text{H}_2\text{PO}_4]$ ) pueden reducir la biodisponibilidad del Cd en el suelo al cambiar las formas móviles de Cd a formas inmóviles como el mineral de fosfato de Cd (Matusik *et al.*, 2008).

Por otra parte, cabe de recalcar que en plantas de cacao no se encuentra documentado el efecto de la aplicación exógena de nutrientes en la absorción, traslocación y acumulación de Cd. No obstante, hay referencia en otros cultivos de importancia económica. En este sentido, Hao *et al.* (2012) manifestaron que la aplicación muriato de potasio (KCl) incrementan las concentraciones de Cd en plantas de girasol, también eleva la traslocación de Cd desde el sistema radicular hacia la parte aérea.

La aplicación intensiva de azufre como sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en plantas de lechuga induce reducción en la acumulación de Cd en las hojas, pero provoca una alta bioacumulación de Cd en las raíces (Matraszek *et al.*, 2016). De igual manera, Wu *et al.* (2020) al emplear  $\text{SO}_4^{2-}$  en plantas de arroz, encontraron que el S conduce disminuir las concentraciones de Cd en las raíces, tallos y hojas.

El Mg y Ca son absorbidos por las raíces a través del intercambio catiónico que hay con el suelo, dentro de los tejidos son transportados por la membrana celular a los diferentes órganos de las plantas, pero el Cd puede competir durante su traslocación (Wang *et al.*, 2016). Sin embargo, el Ca aplicado exógenamente inhibe la absorción y traslocación de Cd (Naeem *et al.*, 2019).

### **8.9. Antecedentes de estudios de cadmio en cacao**

Acosta, (2013) evaluó el efecto del cadmio en la germinación de semillas, morfología de plántulas y concentración de cadmio en la biomasa de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.), CMP-99, CMP-15 y CCN-51, con dosis de cadmio a 0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg  $\text{kg}^{-1}$ . Donde detectó la mayor concentración de cadmio en la variedad CMP-99, seguida de las variedades CMP-15 y CCN-51.

Por otra parte, Chupillón (2017) estudió la absorción de cadmio y plomo en seis genotipos de cacao, para el establecimiento de plantaciones comerciales, las variables bajo estudios fueron; altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y radicular, materia seca de la raíz y parte aérea, cuantificación de cadmio y plomo en la parte aérea y raíz. Los resultados indicaron que el cadmio y plomo no afectó a las variables de crecimiento. Respecto al contenido de Cd se encontró que en la menor dosis de Cd (50 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) las variedades CCN-51 y ICS-60 obtuvieron el mayor contenido de Cd, valores de 11,73 y 12,97 mg/planta. En esta misma solución de Cd este autor hayo el mayor contenido de Cd del sistema radicular en ICS-60 y ICS-95, valores de 9,94 y 8,48 mg/planta.

Mientras tanto, Bello (2020) evaluó la respuesta de cinco genotipos de cacao (CCN-51, ICS-60, ICS-95, POUND-7 y VRAE-9) en cuatro dosis de cadmio (0, 50, 100 y 150 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) bajo condiciones de vivero. Las variables que midió este autor fueron altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíces, peso fresco y seco de la parte aérea (hojas + tallos)

y de las raíces, contenido de cadmio en raíces y hojas. Evidenció que el genotipo POUND-7 a diferentes dosis de Cd fue el más vigoroso, al reflejar los valores más significantes en la variable altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, biomasa fresca área y radicular. Además, encontró que la absorción de cadmio, varió de un genotipo a otro, ICS-95 absorbió más cadmio y el ICS-60, mucho menos, la mayor concentración de este elemento se observó en las raíces; pero en ningún caso, observaron síntomas de fitotoxicidad.

## 9. HIPÓTESIS CIENTÍFICAS

**Ha:** La fertilización con macronutrientes incide sobre la absorción de Cd de dos materiales genéticos de cacao utilizados como patrones, bajo condiciones controladas.

**Ho:** La fertilización con macronutrientes no incide sobre la absorción de Cd de dos materiales genéticos de cacao utilizados como patrones, bajo condiciones controladas.

## 10. METODOLOGÍAS

### 10.1. Ubicación y duración del ensayo

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, Los Ríos. La EETP, se encuentra situada geográficamente en las coordenadas 79° 27' longitud Oeste y 1° 06' Latitud Sur. A una altura de 75 msnm. El clima de la localidad es tropical húmedo con temperatura promedio de 25,37 °C; humedad relativa de 80,90 %. Precipitación de 1.849,30 mm/año (INAMHI, 2020). El tiempo que duro el ensayo fue de 120 días de los cuales 90 días de trabajo experimental y 30 días de establecimiento del experimento. El presente estudio se realizó con suelo procedente de la provincia de El Oro; específicamente en Albán (2017) se encuentra reportadas las coordenadas del punto de recolección del suelo, cuya composición química fue: pH (6,2), NH<sub>4</sub> (22,0 mg kg<sup>-1</sup>) P (23,0 mg kg<sup>-1</sup>) K (0,49 meq 100 mL<sup>-1</sup>) Ca (19 meq 100 mL<sup>-1</sup>) Mg (2,8 meq 100 mL<sup>-1</sup>), S (6 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (8,2 mg kg<sup>-1</sup>) y Cd (1,54 mg kg<sup>-1</sup>). La textura del suelo es franco-arcilloso.

## 10.2. Materiales y equipos

**Tabla 2.** Materiales y equipos

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Mortero y pistilo	Espectrofotómetro de absorción atómica
Regla	Balanzas analíticas
Macetas	Computador
Fundas para vivero	Spad
Fundas de papel kraft	Calibradores
Bitácora	Destiladores de agua
Tamices	Probetas

**Elaborado por:** Pincay (2022)

## 10.3. Tipos de investigación

### 10.3.1. Cuantitativo

La información plasmada en el presente documento se obtuvo de fuentes primarias mediante la observación directa, es decir mediante los datos provenientes del registro de las variables de respuesta.

### 10.3.2. Cualitativo

Se ha extraído información de fuentes secundarias como libros, revistas, manuales técnicos, y demás fuentes bibliográficas

## 10.4. Factores en estudio

Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo de parcelas divididas. Empleando 14 tratamientos por tres repeticiones, Los tratamientos estuvieron constituidos por dos factores. Factor A genotipos (2), factor B fertilización (7) (tabla 3). La parcela grande serán los genotipos y sub parcela la fertilización.

**Tabla 3.** Tratamientos a ser evaluados y que resulta de la combinación de los factores genotipos y fertilización

Tratamientos		Tratamientos	
Genotipo	Fertilización	Genotipo	Fertilización
CCN-51	T	EET-103	T
CCN-51	N	EET-103	N
CCN-51	NP	EET-103	NP
CCN-51	NPK	EET-103	NPK
CCN-51	NPKS	EET-103	NPKS
CCN-51	NPKSMg	EET-103	NPKSMg
CCN-51	NPKSMgCa	EET-103	NPKSMgCa

Elaborado por: Pincay (2022)

### 10.5. Análisis de varianza

El esquema de análisis de varianza del experimento se presenta en la tabla 4. Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad según los criterios de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. Para la diferencia entre las medias de los tratamientos se empleó la prueba de rangos múltiples de Tukey al 95% de probabilidad. La información se procesó en el software para análisis estadísticos de aplicación general InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

**Tabla 4.** Esquema de análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	41
Bloque	2
Factor (A)	1
Error (A)	2
Factor (B)	6
A x B	6
Error (AB)	24

Elaborado por: Pincay (2022)

### 10.6. Variables a evaluar

#### 10.6.1. Índice de vigor (cm<sup>3</sup>)

Para el estudio de esta variable a los 45 días después de la siembra (DDS) hasta los 90 DDS, con frecuencia quincenal se registró datos de la altura de planta (cm), diámetro de la corona foliar (cm), diámetro del tallo (cm) y circunferencia del tallo.

La altura de planta fue medida con regla graduada desde la base del tallo hasta la última yema terminal que se encontró en posición vertical del tallo. El diámetro de la corona foliar consistió en medir con una regla graduada la longitud existente entre el ápice de las hojas ubicadas en las dos ramas más distantes al nivel tercio medio de la planta. El diámetro del tallo se lo midió a una altura de 2 cm del tallo, utilizando un calibrador digital. Para calcular la circunferencia del tallo se aplicó la siguiente fórmula (Loor *et al.*, 2016):

$$C = D * \pi$$

Donde:

C = Circunferencia del tallo

D = Diámetro del tallo

$\pi$  = Pi

El índice de vigor fue calculado utilizando los datos de circunferencia del tallo, altura de planta y diámetro de corona, aplicando la siguiente fórmula (Loor *et al.*, 2016):

$$IV = \frac{C^2}{4} \sqrt{H^2 * \frac{L^2}{4}}$$

Donde:

IV= índice de vigor

C= Circunferencia del tallo (cm)

H= Altura de planta (cm)

L= Diámetro de corona foliar (cm)

### 10.6.2. Índice de clorofila

Cada medición se realizó en hojas saludables completamente expandidas en la parte central de la planta. Se realizaron 2 lecturas por hoja a 2 hojas por planta en 12 plantas por tratamiento. La medición se realizó en el centro del limbo de la hoja, evitando tocar la nervadura central, esta actividad se efectuó desde las 9h00 hasta las 13h00 para garantizar que la planta este

fotosintéticamente activa. El equipo que se utilizó para estas mediciones fue el medidor de contenido de clorofilas portátil Chlorophyll Meter SPAD-502Plus. Esta variable se la estudió a los 45, 60, 75 y 90 DDS.

## **10.7. Muestreo destructivo a los 90 DDS**

### **10.7.1. Longitud de raíz**

Para evaluar esta variable se utilizó un flexómetro y se midió desde el cuello de la raíz hasta la cofia.

### **10.7.2. pH y conductividad eléctrica en el suelo y rizósfera**

Para calcular estas variables se pesó 20 g de suelo y se colocó en un vaso de precipitación de 250 mL con 50 mL de agua desionizada (relación 1:2,5 P: V). Se agito por 5 minutos en un agitador mecánico, terminado el tiempo se dejó en reposo por una hora. La lectura del pH fue realizada con un potenciómetro y la de conductividad eléctrica (CE) con un conductímetro.

Para determinar el pH y CE de la rizósfera, se agregó 1 g de muestra en un vaso de precipitación de 250 mL con 2,5 mL de agua desionizada. Inmediatamente se realizó la lectura de pH y CE.

### **10.7.3. Biomasa seca de parte aérea y radicular**

Las plantas fueron sumergidas en ácido clorhídrico (3%) enjuagadas con agua destilada y desionizada, previamente a esto las raíces fueron lavadas en agua de grifo. Luego se dividió parte aérea (tallos+hojas) y radicular, cada una de estas muestras fueron colocadas en fundas de papel, etiquetadas respecto a cada tratamiento y repetición, para luego ser introducidas a una estufa a 65 °C por 72 h para así extraer de los tejidos la humedad.

### **10.7.4. Determinación de cadmio**

Las muestras de tejido vegetal fueron pulverizadas en un molino tipo “Willey”. Este fue limpiado previamente a cada molido con toallas absorbentes, agua regia diluida (10%), agua desionizada y con papel higiénico para evitar contaminación.

Para la extracción de Cd en las muestras de tejidos, se tomó aproximadamente 0,5 g de cada una de ellas, las que fueron sometidas a mineralización nítrico-perclórica (relación 4:1) (Carrillo, 2003). Específicamente adicionando HNO<sub>3</sub> (8 mL) + HClO<sub>4</sub> (2 mL). Una hora después se colocó esta mezcla en una placa calentadora a  $\pm 180$  °C, por aproximadamente 90 min. La digestión estuvo completa cuando apareció humo blanco y la formación de un líquido incoloro. El extracto fue filtrado en balón de 50 mL y llevado a volumen con agua ultrapura. Las lecturas se realizaron en el espectrofotómetro de absorción atómica, con horno de grafito a una longitud de onda de 228,8 nm con aire - acetileno.

### 10.7.5. Contenido de Cd en la parte aérea y raíz

Para cuantificar el contenido de Cd que absorbieron las plantas se utilizó los resultados de masa seca de raíz, parte aérea y concentración de Cd en los tejidos. A estos valores se le aplicó la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Contenido de Cd } (\mu\text{g}) = \frac{\text{peso de materia seca(g)} * \text{concentración de Cd (mg kg}^{-1}\text{)}}{1000} * 1000$$

Aplicando los métodos reportados por Wang *et al.* (2007); se determinó la **eficiencia de la absorción de cadmio**, (1) esta fórmula matemática indica la habilidad que poseen las raíces en asimilar cadmio del suelo, **eficiencia de la translocación** (2) esto revela la habilidad de la planta en translocar cadmio a la parte aérea y **eficiencia de la fito-extracción** (3) lo cual determina la capacidad que tiene el sistema radicular en transportar cadmio a la parte aérea.

$$(1) \text{ Eficiencia de la Absorción } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{cadmio en toda la planta}}{\text{peso seco de raíz}}$$

$$(2) \text{ Eficiencia de la Translocación } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{cadmio en la parte aérea (tallo y hoja)}}{\text{cadmio en la raíz}}$$

$$(3) \text{ Eficiencia de la Fito-extracción } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{cadmio en la parte aérea}}{\text{peso seco de raíz}}$$

### 10.7.5. Desarrollo experimental

Para dar inicio con la investigación se disgregó las partículas del suelo con un rodillo, luego se tamizó sobre malla de 2 mm, con el fin de obtener homogeneidad del suelo. Posteriormente, se llenaron las bolsas plásticas de 5" x 8" donde se colocó 700,0 g de suelo, con ayuda de una balanza electrónica con una casa decimal. Para la siembra se recolectaron mazorcas fisiológicamente maduras, donde se extrajeron sus semillas, las cuales fueron sumergidas en

agua del grifo por 24 h. Previamente, a la siembra se llevó a capacidad de campo el suelo con agua desionizada 140 ml/funda, aplicándose en tres fracciones, cada fracción se aplicó pasando una hora. Las semillas fueron sembradas en ángulo de 90°.

### 10.7.6. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos (macronutrientes) se hizo de acuerdo al requerimiento nutricional y al análisis de suelo; en lo que fue NPK se incorporó la dosis g/ funda 2 kg, sugerida por García (2018), de igual manera para Ca y Mg (Crespo y Crespo, 1997, como se citó en Vélez, 2018), las cuales fueron relacionadas a g/funda 0,7kg. Mientras que, para el S se empleó la dosis g/planta que se utilizan para plantaciones en campo, con edad de 0 a 1 año, estos son valores referenciados por la Corporación PBA (2012), a los que se le aplico una constante de 6,5 para determinar el requerimiento g/funda 2kg, luego se hizo la relación para g/funda 0,7 kg. Sobre las bases de las consideraciones anteriores, se aplicó las 3/4 de las dosis recomendadas, excepto para N y S que se encontraron en concentraciones medias y baja (análisis de suelo), las dosis fueron fraccionadas en tres partes para N y S, en dos para K<sub>2</sub>O, MgO y CaO, y una sola aplicación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, las fracciones se dispusieron para los 21, 42 y 63 DDS, excepto la de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que fue colocada en una sola aplicación al momento de la siembra (tabla 5).

**Tabla 5.** Requerimiento nutricional de plántulas de cacao, fracciones de cada nutriente y momento de aplicación

Nutrientes	g/funda de	g/funda de	g/funda de	Aplicaciones	1	2	3
	2 Kg	0,7 Kg	0,7 Kg		(g)	(g)	(g)
N	6,15	2,15	2,15	3	0,72	0,72	0,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,90	2,42	1,81	1/AS	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	4,50	1,58	1,18	2	0,00	0,59	0,59
S	2,50	0,88	0,88	3	0,29	0,29	0,29
MgO	1,10	0,39	0,29	2	0,00	0,14	0,14
CaO	2,30	0,81	0,60	2	0,00	0,30	0,30
<b>DDS</b>					21	42	63

AS= A la siembra, DDS= Días después de la siembra.

**Elaborado por:** Pincay (2022)

En las tablas 6, 7 y 8 se visualiza el empleo de la dosis de cada fertilizante para incorporar las exigencias de los macronutrientes en las diferentes fracciones (21 42 y 63 DDS). Para suplir el requerimiento del nitrógeno se utilizó como fuente de este nutriente a la urea (46 % N), para incorporar azufre, como principio activo se empleó sulfato de amonio (24 % S, 21 % N), se aplicó muriato de potasio (60 % K<sub>2</sub>O) para suplir el requerimiento de K, se usó DAP (16 % N,

46 %  $P_2O_5$ ) para agregar fósforo, se incorporó magnesio mediante el empleo de sulfato de magnesio (27 % MgO y 16 % S) y como fuente de calcio se utilizó nitrato de calcio (15 % N, 26 % CaO).

**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

Trat.	Nutrientes							Fertilizantes				
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	S	MgO	CaO	Urea	Sulfato de $NH_4^+$	Nitrato de Ca	DAP	Sulfato de Mg	Muriato de K
	g/funda 0,7 kg											
Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0,72	0	0	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0
NP	0,72	1,81	0	0	0	0	0	0	0	3,94	0	0
NPK	0,72	1,81	0	0	0	0	0	0	0	3,94	0	0
NPKS	0,72	1,81	0	0,29	0	0	0	1,20	0	3,94	0	0
NPKSMg	0,72	1,81	0	0,29	0	0	0	1,20	0	3,94	0	0
NPKSMgCa	0,72	1,81	0	0,29	0	0	0	1,20	0	3,94	0	0

Elaborado por: Pincay (2022)

**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

Trat.	Nutrientes							Fertilizantes				
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	S	MgO	CaO	Urea	Sulfato de $NH_4^+$	Nitrato de Ca	DAP	Sulfato de Mg	Muriato de K
	g/funda 0,7 kg											
Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0,72	0	0	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0
NP	0,72	0	0	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0
NPK	0,73	0	0,59	0	0	0	1,58	0	0	0	0	0,98
NPKS	0,48	0	0,59	0,29	0	0	0,5	1,20	0	0	0	0,98
NPKSMg	0,48	0	0,59	0,29	0,14	0	0,65	0,87	0	0	0,50	0,98
NPKSMgCa	0,48	0	0,59	0,29	0,14	0,30	0	0,87	1,16	0	0,50	0,98

Elaborado por: Pincay (2021)

**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

Trat.	Nutrientes							Fertilizantes				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	MgO	CaO	Urea	Sulfato de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nitrato de Ca	DAP	Sulfato de Mg	Muriato de K
Testigo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0,72	0	0	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0
NP	0,72	0	0	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0
NPK	0,72	0	0,59	0	0	0	1,57	0	0	0	0	0,98
NPKS	0,72	0	0,59	0,29	0	0	1,02	1,2	0	0	0	0,98
NPKSMg	0,72	0	0,59	0,29	0,14	0	1,16	0,87	0	0	0,50	0,98
NPKSMgCa	0,97	0	0,59	0,29	0,14	0,30	1,04	0,87	1,16	0	0,50	0,98

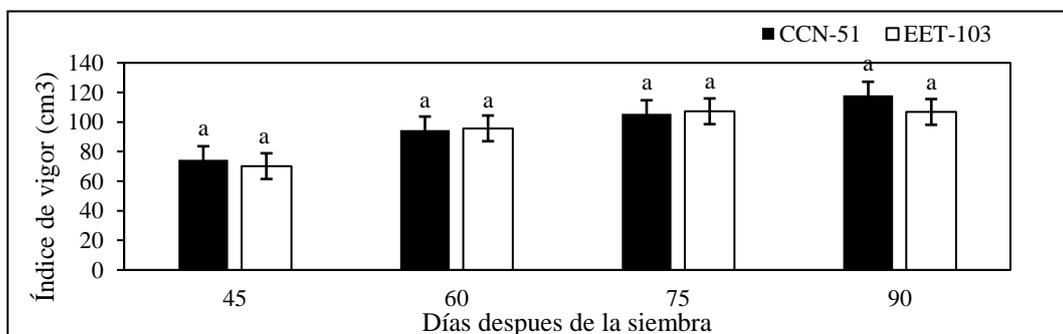
Elaborado por: Pincay (2022)

## 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 11.1. Efecto genotípico de cacao en las variables de crecimiento, índice de clorofila y sobre la capacidad extractora de cadmio

En la figura 1 se muestra el efecto genotípico en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 DDS. Se visualiza que en ninguna de las edades se presentó significancia estadística entre genotipos. Estos resultados se los traduce a que ambos genotipos tienen la misma capacidad de sintetizar foto-asimilados. En este sentido, la síntesis de metabolitos en vegetales induce aumento de elongación y plasticidad celular. Fenómeno que se encuentra estrechamente relacionado con la biomasa de la planta.

**Figura 1.** Efecto de genotipos de cacao en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra

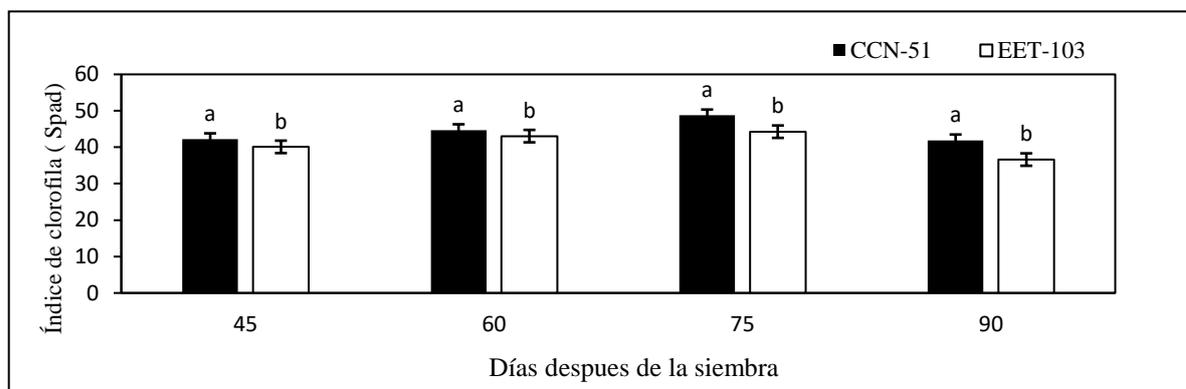


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

En el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 DDS, la variedad CCN-51 se destacó en obtener los mayores promedios, valores de 42,23, 44,71, 48,71 y 41,91 unidades de Spad (fig. 2). Resultados que difieren con los obtenidos por Héctor *et al.* (2018) quienes evaluaron el contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao, donde al comparar los clones EET-103 y CCN51 no encontraron diferencia estadística, pero en condiciones de campo abierto y plantas con edad de 12 años. En este sentido, Ávila *et al.* (2012) sostienen que los contenidos pigmenticos varían de acuerdo a las variedades, edad de las plantas, condiciones medioambientales e incluso entre los métodos analíticos en su determinación.

**Figura 2.** Efecto de genotipos de cacao en el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

La tabla 9 muestra el efecto genotípico en las variables, peso seco de raíz, peso seco de la parte aérea, relación parte aérea/raíz y longitud de raíz. Se observa que no hubo significancias estadísticas entre variedades en el peso seco de raíz y relación parte aérea/raíz. No obstante, las variables de materia seca aérea y longitud de raíz si mostraron diferencias estadísticas entre genotipos. En este orden los mejores promedios recaen en EET-103 (1,74 g) y CCN-51 (15,72 cm). Igualmente, Chupillon (2017) encontró la mayor biomasa seca aérea en el cacao nacional (7,3 g), en comparación con los genotipos EET-400 (6,8 g), POUND-12 (6,6 g), IMC-67 (6,5 g) y CCN-51 (6,3 g) que obtuvieron los menores promedios. Mientras tanto, Bello (2020) corrobora que las raíces del genotipo CCN51 tienen una predominación en su crecimiento cuando se encuentra expuesta en suelos contaminados con cadmio.

**Tabla 9.** Efecto de genotipos de cacao en el peso seco raíz, peso seco parte aérea, relación parte aérea/raíz y longitud de raíz

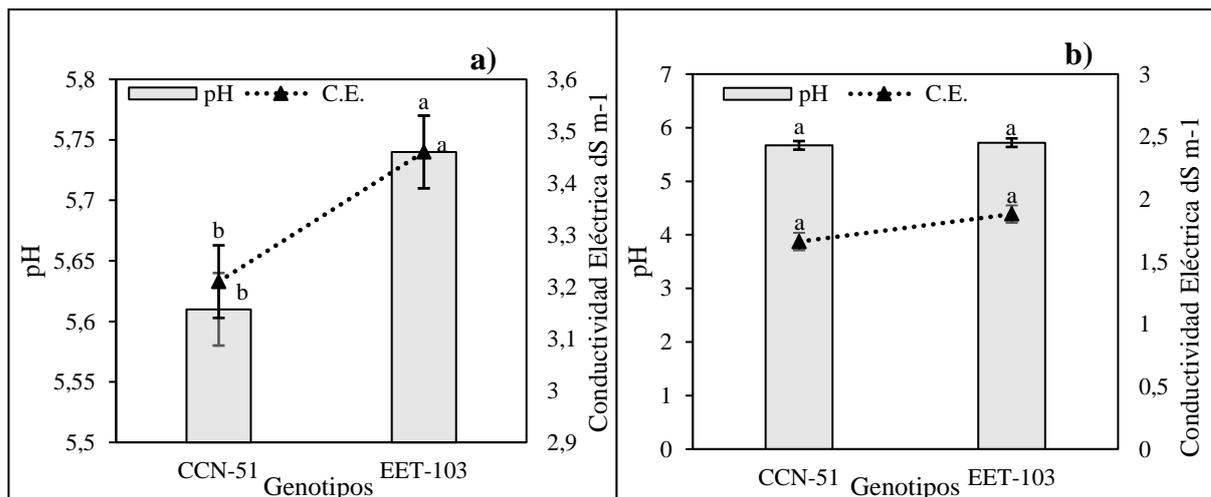
Genotipos	Peso seco raíz (g)	Peso seco parte aérea (g)	Relac. parte aérea/raíz (g g <sup>-1</sup> )	Longitud de raíz (cm)
CCN-51	0,21 a	1,58 b	7,98 a	15,72 a
EET-103	0,22 a	1,74 a	8,60 a	11,39 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

En el suelo que creció EET-103 se encontró la mayor significancia estadística del pH (5,74) y conductividad eléctrica (3,46 dS m<sup>-1</sup>) (fig.3a). La rizósfera mostró una tendencia similar pese a no detectarse diferencia significativa entre genotipos, sin embargo, en el genotipo EET-103 recayeron los valores numéricos más altos del pH (5,72) y conductividad eléctrica (1,88 dS m<sup>-1</sup>) (fig. 3b).

**Figura 3.** Efecto de genotipos de cacao en el pH y conductividad eléctrica del suelo (a) y de la rizósfera (b)



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

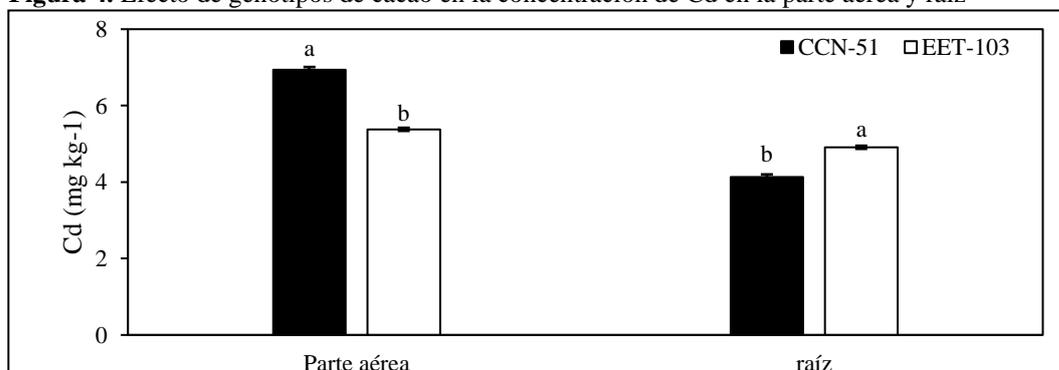
Elaborado por: Pincay (2022)

Los análisis estadísticos mostraron diferencia significativa entre genotipos de cacao en la concentración de cadmio del sistema aéreo y radicular. Siendo CCN51 el genotipo que concentro mayor Cd en la parte aérea (6,94 mg kg<sup>-1</sup>). Mientras que, EET-103 fue el cultivar que acumulo más cadmio en la raíz (4,91 mg kg<sup>-1</sup>). En este sentido, hay estudios realizados en plántulas de cacao que han reportado la acumulación de Cd, pero no han incluido a los genotipos CCN-51 y EET-103, lo cual no permite establecer comparaciones con las concentraciones de Cd obtenidas en este trabajo. Sin embargo, estos resultados contrastan a los obtenidos en campo por Barraza *et al.* (2017) quienes encontraron que los genotipos EET-116, EET-576 y EET-103 son ligeramente superiores a CCN-51 en concentrar Cd en las hojas, almendras y cascarras de

mazorcas. Asimismo, no coinciden con los obtenidos por Argüello *et al.* (2019) quienes con correcciones de factores agronómicos y de suelo reportaron que el cacao nacional en comparación con CCN-51 concentran más Cd, pero en los granos. Además, el patrón de concentración de Cd en las raíces difiere con lo manifestado por Barraza *et al.* (2019) quienes realizaron un estudio en distintas fincas del Ecuador, donde documentaron que el cacao nacional y CCN-51 emplean estrategias similares de secuestro de Cd en las raíces.

Por otra parte, se observa que ambos genotipos de cacao (CCN-51 y EET-103) reflejaron la mayor concentración de Cd en la parte aérea. Igualmente, Castro *et al.* (2015) encontraron la mayor acumulación de Cd en hojas y tallos cuando evaluaron el efecto nocivo de este metal en plántulas de cacao que fueron obtenidas con diferentes cruzamientos (CCN-10 x SCA-6 y Catongo x Catongo). Sin embargo, estos resultados no coinciden con los encontrados por Llatance *et al.* (2018) quienes en condiciones de campo evidenciaron la mayor concentración de Cd en las raíces de cacao ( $1,68 \text{ mg kg}^{-1}$ ). No obstante, este resultado difiere con los obtenidos por Tantalean y Huayua (2017) quienes en fincas productoras de cacao CCN-51, detectaron las mayores concentraciones de Cd en hojas y tallos. De acuerdo a los antecedentes anteriores, se puede especular que las plantas de cacao no siempre muestran una misma tendencia en bioacumular Cd, patrón que es cambiante según el estado fenológico, condiciones climáticas y factores de suelo. Sin embargo, para comprender y tener fundamentación sólida de esta tendencia se debe estudiar al cultivo de cacao minuciosamente a medida que transcurra sus etapas fenológicas en distintas localidades con diferentes sistemas de producción y distintos métodos de propagación vegetativa.

**Figura 4.** Efecto de genotipos de cacao en la concentración de Cd en la parte aérea y raíz

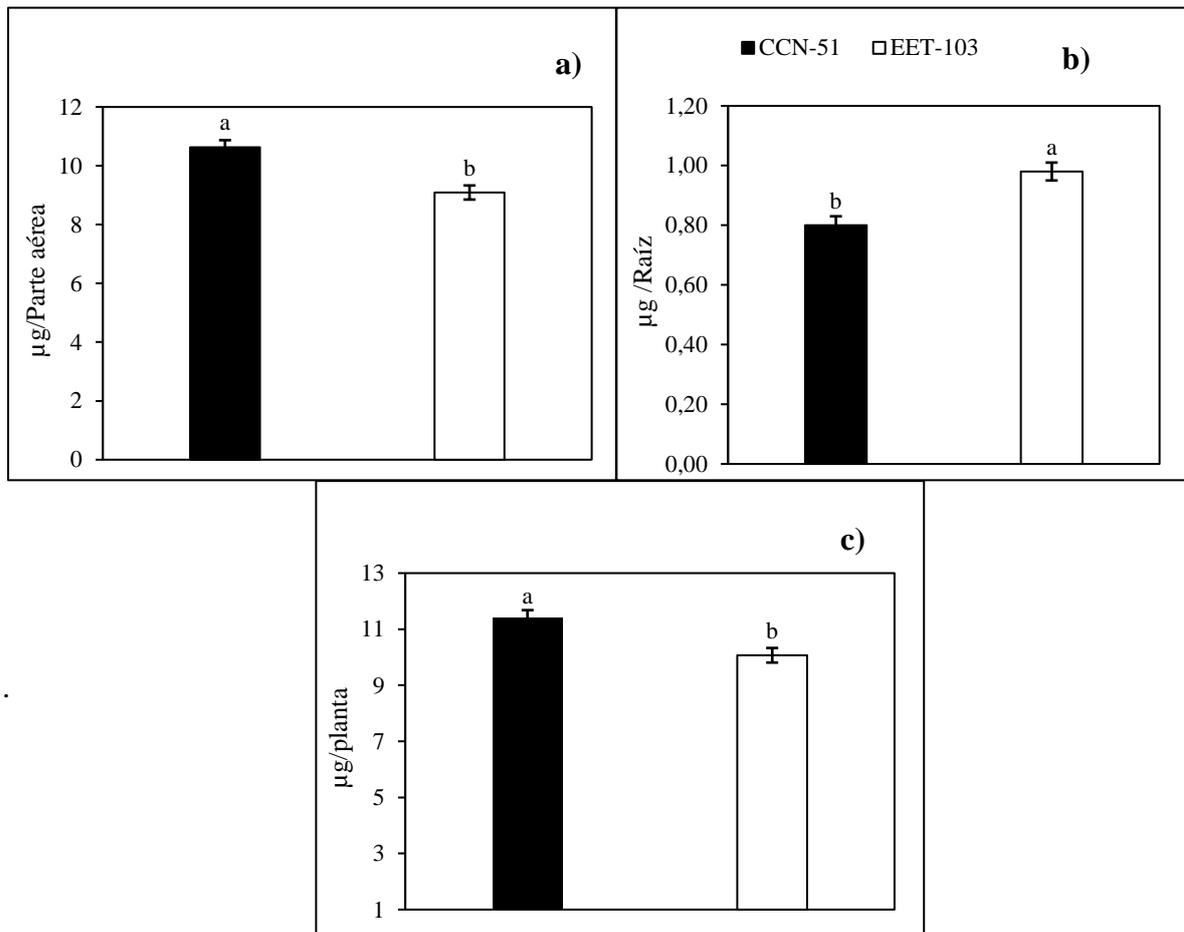


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

Los análisis de varianza mostraron diferencia estadística entre genotipos de cacao en el contenido de Cd en el sistema aéreo, radicular y en la parte aérea con raíz (fig. 5 a-b y c). CCN51 fue el genotipo que presentó mayor contenido de Cd en la parte aérea (10,63 µg/parte aérea) y parte aérea +raíz (11,42 µg/planta). A diferencia de EET-103 que se destacó en contener más Cd en la raíz (0,98 µg/raíz). Igualmente, Chupilloón (2017) evidenció un mayor contenido de Cd en la parte foliar del genotipo CCN-51 (16,2 µg/parte aérea) en comparación con el cacao nacional que obtuvo mayor contenido de este metal en la raíz (3,6 µg/parte aérea). De igual manera, Bello (2020) encontró un efecto genotípico, reportando que CCN51 cuando creció sobre diferentes dosis de Cd (50, 100 y 150 ppm) se destacó en obtener el mejor contenido de este metal en las hojas respectivamente valores de (3,86; 4,55 y 5,32 mg/100g MS) en relación a ICS-95 e ICS-60 que fueron los genotipos con mayor contenido de Cd en la raíz, en este orden mostraron valores de (6,28; 17,59 y 20,20 mg/100 g MS) y (9,94; 10,49 y 20,60 mg/100g MS) además, este autor detectó que en la dosis de 50 ppm los genotipo ICS-60 y CCN-51 se destacaron en acumular mayor Cd en parte aérea + raíz con 12,27 y 11,37 mg/100 g MS, seguido de los genotipos ICS-95 (8,48 mg/100 g MS) y VRAE-99 (7,56 mg/100 g MS) en comparación a POUND-7 que acumuló menos Cd (6,12 mg/100 g MS). Sin embargo, Arévalo-Hernández *et al.* (2020) reportaron como genotipos de baja acumulación a AYP-22, PAS-105, UGU-126, ICT-1026, ICT-1087, ICT-1189, ICT-1292, PH-17, CCN-51, ICS-39 y TSH-565, proponiéndolos como patrones para reducir la absorción y transporte de Cd.

**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)



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )  
**Elaborado por:** Pincay (2022)

La tabla 10 muestra el efecto genotípico de cacao en las variables de eficiencia de absorción (EA), eficiencia de traslocación (ET) y eficiencia de fitoextracción (EF) de cadmio. Se evidencia que el genotipo CCN-51 mostró la mayor EA ( $61,59 \mu\text{g g}^{-1}$ ), ET ( $13,85 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y EFT ( $57,46 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Estos resultados demuestran que el cacao CCN-51 en comparación a EET-103 posee mejor habilidad en absorber Cd desde la raíz y transportarlo hacia el sistema aéreo.

**Tabla 10.** Efecto de genotipos de cacao en las eficiencias de absorción, traslocación y fito-extracción de cadmio

Genotipos	EA ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	ET ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	EFE ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
CCN-51	61,59 a	13,85 a	57,46 a
EET-103	52,69 b	9,46 b	47,78 b

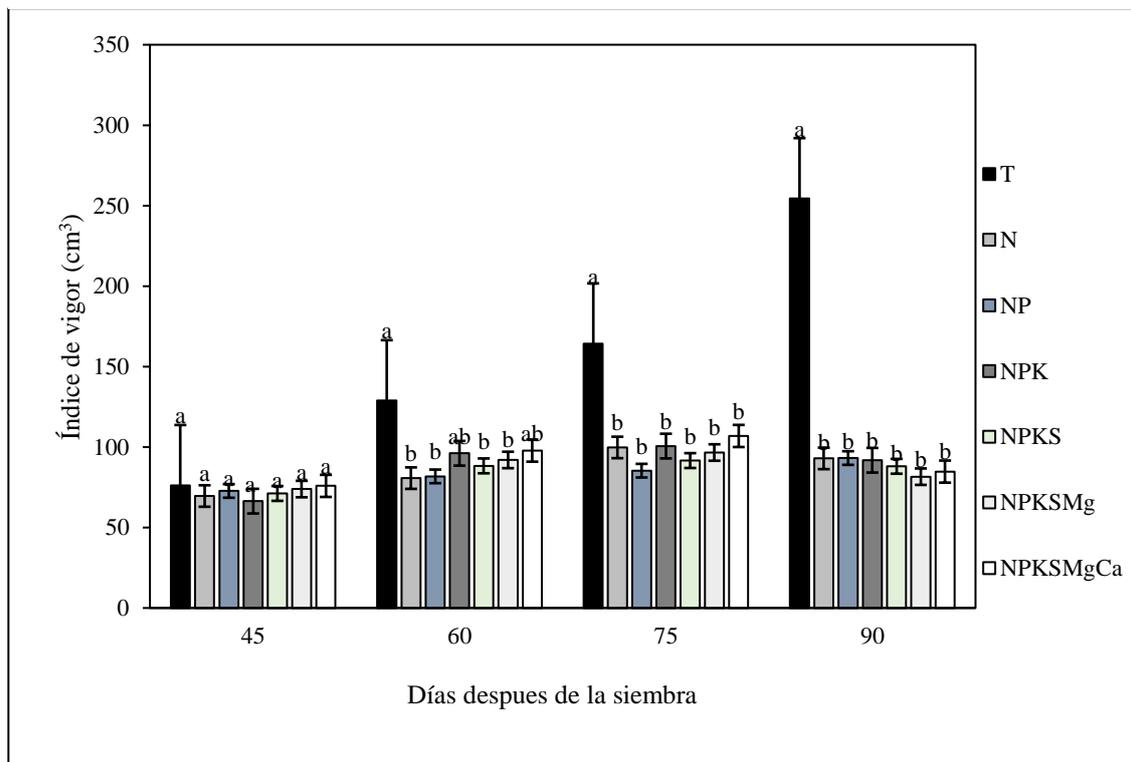
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). EA= Eficiencia de absorción, ET= Eficiencia de traslocación, EFE= Eficiencia de fito-extracción.

**Elaborado por:** Pincay (2022)

### 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

La fertilización con macronutrientes produjo el menor índice de vigor a los 60, 75 y 90 DDS en relación al tratamiento testigo sin fertilizar que fue donde recayeron los mejores promedios, valores de 128,95; 164,20 y 254,49  $\text{cm}^3$  (fig. 6). Este efecto puede estar asociado a que las plantas tratadas con la fertilización macronutrientes presentaron una intensificación de sales minerales que incremento la producción de especies reactivas de oxígeno, las cuales deterioran componentes celulares, así ocasionando inhibición en elongación y lignificación de la pared celular (Nawaz *et al.*, 2010). Asimismo, Martínez-Villavicencio *et al.* (2011) sostienen que los indicadores de crecimiento como altura de planta y área foliar, son severamente afectados por presencia de sales. Variables que en el presente estudio fueron registrada para la determinación del índice de vigor y se encontraron afectadas por la alta presencia de sales.

**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



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

A los 90 DDS se encontró una disminución de clorofila, siendo esto más severo con la aplicación de S, Mg y Ca (tabla 11). En este sentido, el estrés iónico en las plantas afecta el funcionamiento del PSI y PSII, una alteración en la maquinaria fotosistémica reduce la transferencia de electrones queda como resultado pérdida de energía (ATP y NADPH) y degradación de biosíntesis de clorofila (Salim *et al.*, 2020). En el proceso de fotorrespiración cuando hay baja síntesis de energía se genera mayor intoxicación con oxígeno, efecto más fuerte en climas tropicales donde la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa con un aumento de temperatura incrementa su preferencia por oxígeno (Gonçalves *et al.*, 2020, Sage y Stata, 2015).

**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

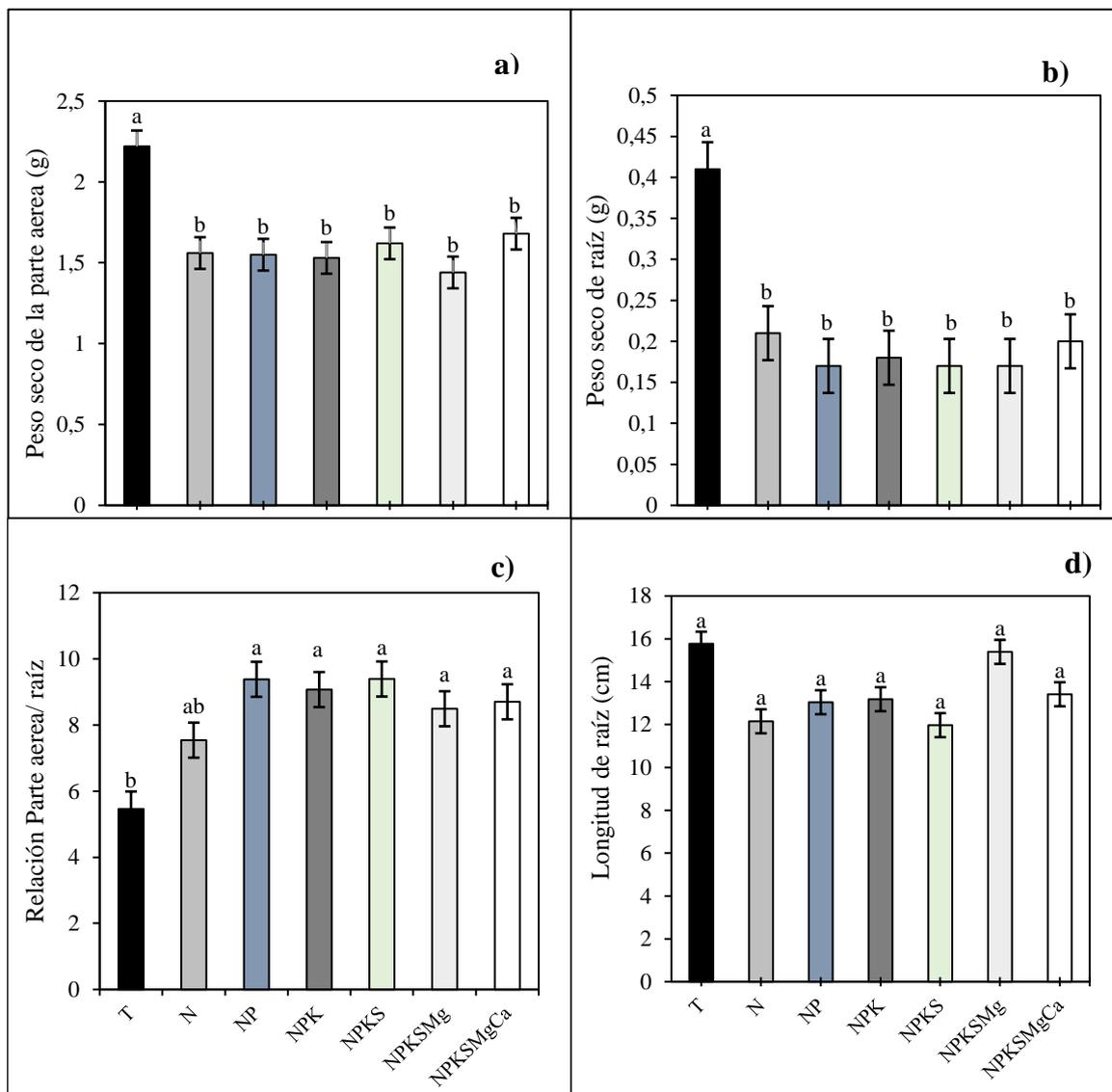
Tratamientos	Índice de clorofila (SPAD)			
	45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
T	41,30 a	43,96 a	47,2 a	45,14 a
N	40,35 a	44,65 a	47,03 a	42,83 ab
NP	41,28 a	43,4 a	44,28 a	38,88 abc
NPK	41,39 a	44,04 a	46,88 a	39,84 ab
NPKS	42,15 a	44,63 a	45,85 a	36,95 bc
NPKSMg	40,51 a	43,27 a	44,34 a	32,47 c
NPKSMgCa	41,19 a	43,22 a	50,03 a	38,77 abc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

Las plantas que estuvieron sometidas a la fertilización con macronutrientes obtuvieron menor producción de masa seca aérea (fig. 7a) y radicular (fig. 7b). Debido aquello en estos tratamientos recayeron las mayores relaciones entre la parte aérea/raíz (fig. 7c), esto podría explicarse que la fertilización con macronutrientes produjo una inhibición de mitosis celular en el sistema radicular y de la parte aérea. Sin embargo, en la longitud de raíz (fig. 7d) no se encontró significancias estadísticas entre la fertilización con macronutrientes.

**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)



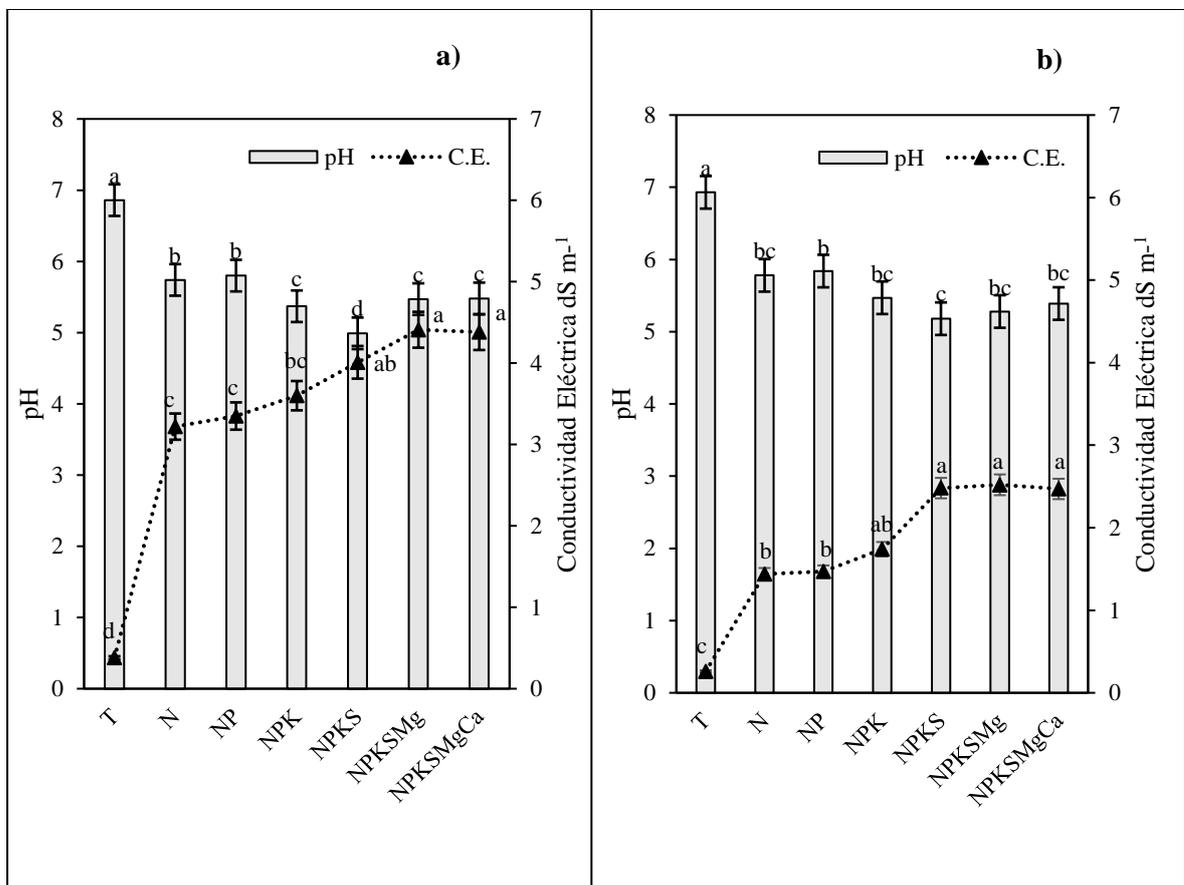
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

En el efecto de la fertilización con macronutrientes sobre el pH y CE del suelo (fig. 8a). La mayor conductividad eléctrica fue obtenida con NPKSMg ( $4,41 \text{ dS m}^{-1}$ ) y NPKSMgCa ( $4,38 \text{ dS m}^{-1}$ ) seguidos de NPKS ( $4,01 \text{ dS m}^{-1}$ ), NPK ( $3,60 \text{ dS m}^{-1}$ ), NP ( $3,35 \text{ dS m}^{-1}$ ), N ( $3,22 \text{ dS m}^{-1}$ ) en comparación con el tratamiento testigo ( $0,38 \text{ dS m}^{-1}$ ) que no se fertilizó en donde recayó la menor CE. Así, en el pH los menores promedios se detectaron en NPKS (4,99), NPKSMg (5,47) y NPKSMgCa (5,48), seguido de NPK (5,37), N (5,74) y NP (5,8), respecto a sin fertilizar (T) (6,86) que obtuvo el mayor pH.

En los factores de pH y CE de la rizósfera (fig. 8b), se evidenció el mismo fenómeno detectado en el suelo. Específicamente, la mayor CE se mostró con NPKSMg ( $2,52 \text{ dS m}^{-1}$ ), NPKS ( $2,48 \text{ dS m}^{-1}$ ), NPKSMgCa ( $2,47 \text{ dS m}^{-1}$ ), seguidos de NPK ( $1,74 \text{ dS m}^{-1}$ ), NP ( $1,47 \text{ dS m}^{-1}$ ), N ( $1,44 \text{ dS m}^{-1}$ ) en relación con el tratamiento testigo ( $0,26 \text{ dS m}^{-1}$ ) que no se fertilizó en donde se encontró la menor CE. Por otra parte, la aplicación de NPKS ( $5,18$ ) reflejó el menor valor de pH, seguido de NPKSMg ( $5,28$ ), NPKSMgCa ( $5,39$ ), NPK ( $5,47$ ), N ( $5,78$ ), NP ( $5,84$ ), en comparación con el tratamiento testigo ( $6,93$ ) que no se fertilizó en donde se detectó la mayor media de pH.

**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)

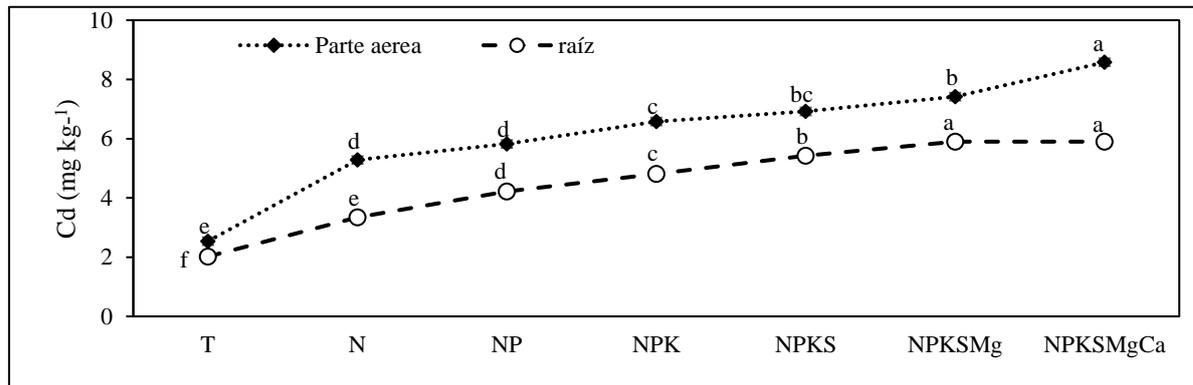


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

En la figura 9 se observa el efecto simple de la fertilización con macronutrientes en la concentración de cadmio en las diferentes estructuras morfológicas de las plantas. Se muestra una tendencia linealmente proporcional donde a medida que se incrementa un elemento nutricional en la fertilización se eleva la concentración de Cd en el sistema aéreo y radicular. Sin embargo, si se comparan las estructuras morfológicas de las plantas, en la parte aérea se reflejó las concentraciones más elevadas de cadmio.

**Figura 9.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la concentración de cadmio en la parte aérea y raíz



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

En la tabla 12 se muestra el efecto simple de la fertilización con macronutrientes en el contenido de Cd en la parte aérea (PA), raíz y PA+ raíz. Se observa que en el tratamiento NPKSMgCa recayó los mayores contenidos de Cd, valores de 14,41  $\mu\text{g}$ /parte aérea; 1,16  $\mu\text{g}$ /raíz y 15,56  $\mu\text{g}$ /planta. Estos resultados demuestran que la fertilización con macronutrientes aumenta el contenido de Cd en los diferentes componentes morfológicos de las plantas.

**Tabla 12.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en el contenido de cadmio en la parte aérea, raíz y planta

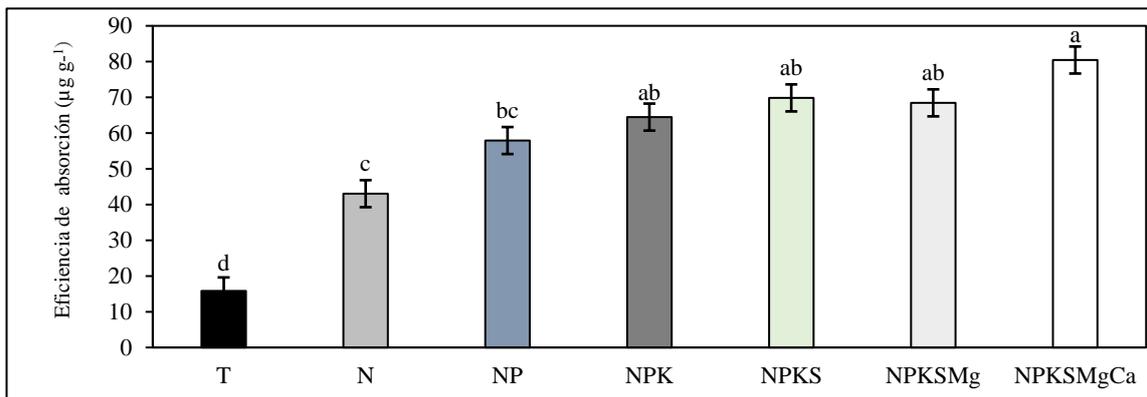
Tratamientos	Contenido de Cd ( $\mu\text{g}$ )		
	Parte aérea	Raíz	PA + Raíz
T	5,63 e	0,82 bc	6,45 e
N	8,23 d	0,70 c	8,92 d
NP	8,97 cd	0,71 c	9,68 cd
NPK	10,00 bcd	0,86 bc	10,85 bcd
NPKS	11,21 bc	0,95 abc	12,16 b
NPKSMg	10,55 b	1,02 ab	11,57 bc
NPKSMgCa	14,41 a	1,16 a	15,56 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

Elaborado por: Pincay (2022)

En la figura 10 se muestra el efecto simple de la fertilización con macronutrientes en la eficiencia de absorción de cadmio. El tratamiento NPKSMgCa mostró la mayor EA con 80,44  $\mu\text{g g}^{-1}$  seguido de NPKS (69,84  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NPKSMg (68,45  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NPK (64,74  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NP (57,91  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), N (43,04  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en comparación con el tratamiento testigo que se no fertilizo en donde se mostró la menor EA (15,83  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

**Figura 10.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de absorción de cadmio

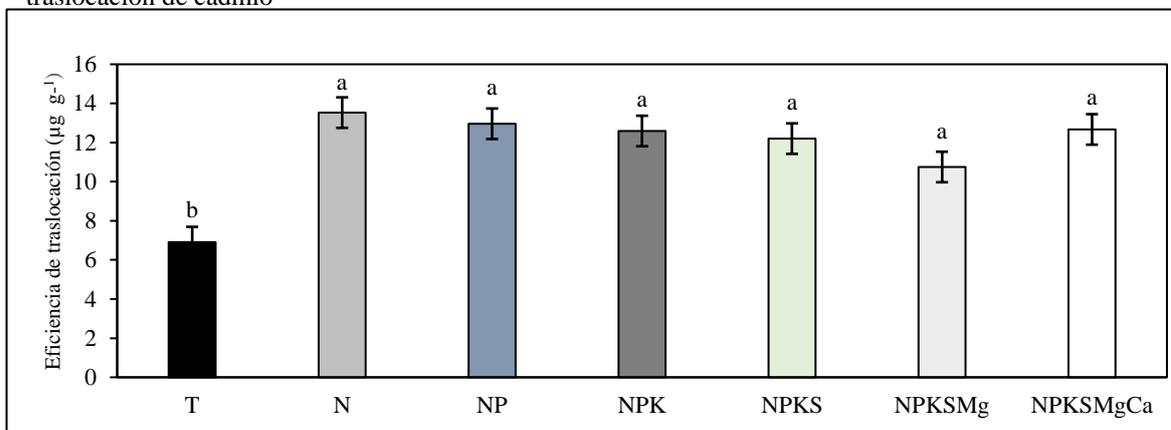


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

El efecto simple de la fertilización con macronutrientes en la eficiencia de traslocación se muestra en la figura 11. Se observa que los tratamientos N (13,53  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NP (12,96  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NPK (12,59  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NPKS (12,20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), NPKSMg (10,75  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) y NPKSMgCa (12,67  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) fueron estadísticamente similares, sin embargo, mostraron una alta significancia estadística con el tratamiento testigo quien fue el que reflejó la menor ET (6,91  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

**Figura 11.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de traslocación de cadmio

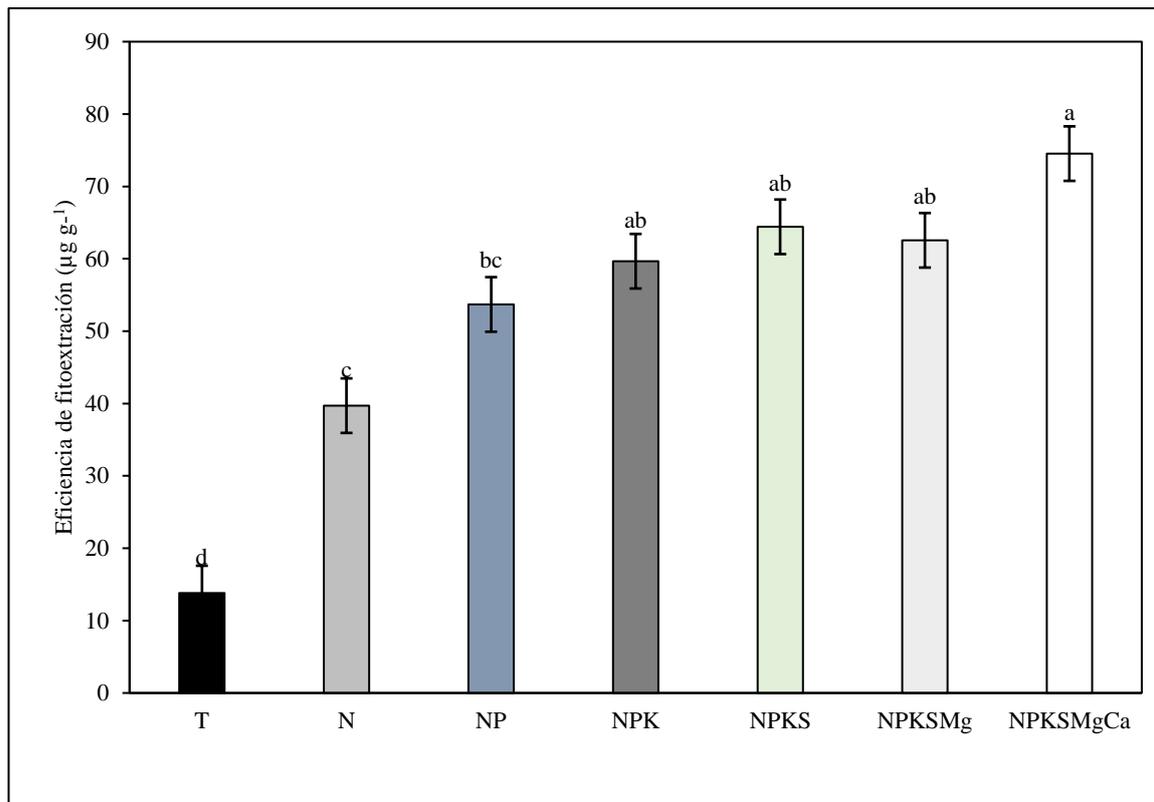


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

Respecto al efecto simple de la fertilización con macronutrientes en la eficiencia de fitoextracción de cadmio (fig. 12). Se detectó que con la adición de NPKSMgCa se produce la mayor EFE ( $74,53 \mu\text{g g}^{-1}$ ) seguido de los tratamientos NPKS ( $64,62 \mu\text{g g}^{-1}$ ), NPKSMg ( $62,55 \mu\text{g g}^{-1}$ ), NPK ( $59,66 \mu\text{g g}^{-1}$ ), NP ( $53,69 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y N ( $39,70 \mu\text{g g}^{-1}$ ) en relación al tratamiento testigo que no se fertilizo donde recayó la menor EFE ( $13,81 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

**Figura 12.** Efecto de la fertilización con macronutrientes sobre patrones de cacao en la eficiencia de fitoextracción de cadmio



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ )

**Elaborado por:** Pincay (2022)

### 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

En la tabla 13 se puede observar que en los tratamientos testigos de CCN-51 y EET-103 se obtuvieron los mejores índices de vigor, excepto a los 45 DDS que no se encontró diferencia entre tratamientos. En condiciones semicontraladas con el empleo de la fertilización macronutrientes no se ha reportado el índice de vigor de genotipos de cacao, pero si en campo, donde Recalde *et al.* (2012) evidenciaron que cuando se aumenta la aplicación de elementos nutricionales los genotipos nacionales y CCN-51 aumentan el índice de vigor.

**Tabla 13.** Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en el índice de vigor a los 45, 60, 75 y 90 DDS

Genotipos	Fertilización	Índice de vigor (cm <sup>3</sup> )			
		45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
CCN-51	T	77,08 a	113,03 ab	159,03 ab	242,57 a
	N	70,55 a	90,86 b	93,41 bc	104,69 b
	NP	77,46 a	74,96 b	84,19 c	104,94 b
	NPK	67,15 a	97,47 ab	103,33 abc	95,55 b
	NPKS	73,27 a	95,48 ab	91,06 bc	99,11 b
	NPKSMg	76,83 a	83,40 b	100,42 abc	95,32 b
	NPKSMgCa	78,29 a	106,08 ab	106,92 abc	83,63 b
EET-103	T	75,35 a	144,86 a	169,38 a	266,41 a
	N	68,6 a	70,53 b	106,12 abc	81,21 b
	NP	68,02 a	88,59 b	86,47 c	81,39 b
	NPK	65,64 a	94,78 ab	97,89 abc	88,07 b
	NPKS	69,07 a	81,15 b	92,13 bc	76,96 b
	NPKSMg	70,99 a	100,56 ab	91,81 bc	67,86 b
	NPKSMgCa	73,45 a	89,53 b	106,88 abc	85,88 b
<b>CV (%)</b>		15,97	18,63	22,17	28,71

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). CV= Coeficiente de variación

**Elaborado por:** Pincay (2022)

Luego de haber transcurrido los 75 DDS se observó en las plantas fertilizadas con NP hasta NPKSMgCa que sus hojas se encogieron y se pusieron cloróticas tiñendo un color café rojizo. Debido aquello, se reflejó la menor concentración de clorofila a los 90 DDS en ambas variedades de cacao sometidas con los tratamientos mencionados (tabla 14). Dicho patrón se fundamentaría a que estas plantas tuvieron un tipo de estrés por intensificación de sales minerales, comportamiento que también se puede encontrar asociado con un efecto negativo por Cd; factores nocivos que redujeron el tamaño de cloroplastos y producción de clorofila. Resultados que concuerda con los obtenidos por Fernández (2018) quien estudio el estrés

hídrico sobre patrones de cacao en suelo contaminado con Cd, donde encontró una disminución en la concentración de clorofila por la asociación del déficit hídrico con Cd. De igual manera, Jacome (2017) en condiciones semicontraladas evidenció una reducción de clorofila en patrones de cacao cuando estos se encontraban expuestos en suelos enriquecidos con cadmio. De hecho, estos autores sostienen que la concentración de clorofila es un indicador de estrés y que una reducción de pigmentos deteriora el funcionamiento de la maquinaria fotosistémica.

**Tabla 14.** Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en el índice de clorofila a los 45, 60, 75 y 90 DDS

Genotipos	Fertilización	Índice de Clorofila (Unidades Spad)			
		45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
CCN-51	T	43,32 a	45,59 a	49,07 a	46,76 a
	N	40,70 a	45,49 a	49,20 a	46,64 a
	NP	42,28 a	44,51 a	45,50 a	42,08 ab
	NPK	42,06 a	44,55 a	48,50 a	40,18 abc
	NPKS	42,84 a	45,97 a	46,81 a	45,68 a
	NPKSMg	41,24 a	42,98 a	45,41 a	34,07 bcd
	NPKSMgCa	43,17 a	43,88 a	56,84 a	37,98 abcd
EET-103	T	39,28 a	42,33 a	45,33 a	43,52 ab
	N	40,00 a	43,81 a	44,87 a	39,01 abcd
	NP	40,27 a	42,30 a	43,06 a	35,69 abcd
	NPKS	41,46 a	43,53 a	45,27 a	39,49abc
	NPK	40,72 a	43,29 a	44,88 a	28,22 d
	NPKSMg	39,77 a	43,56 a	43,27 a	30,88 cd
	NPKSMgCa	39,22 a	42,56 a	43,23 a	39,55 abc
CV (%)		5,08	5,41	11,73	9,38

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). CV= Coeficiente de variación

Elaborado por: Pincay (2022)

El incremento de biomasa radicular generó aumento de la masa seca aérea en los tratamientos testigos, sin embargo, se obtuvo un comportamiento diferente cuando se aumentaba elementos nutritivos, en términos absolutos la aplicación de los macronutrientes afectó de manera homogénea el sistema radical y la parte aérea de ambas variedades, esto modificó significativamente la relación parte aérea/raíz (tabla 15). Un fenómeno similar fue encontrado por Fernández *et al.* (2016) en plántones de cacao con diferentes tipos de fertilización en vivero, donde manifestaron que las elevadas concentraciones de fósforo disminuyen el peso seco de raíz y esto produce un efecto significativo entre la relación parte aérea/raíz. Respuestas morfoagronómicas que tienen una estrecha relación con lo manifestado por Córdoba-Rodríguez *et al.* (2011) quienes sostienen que el principal sumidero de fotosintatos es la raíz y una afectación en su crecimiento induce inestabilidad como fuente/sumidero y por efecto genera

inhibición en el crecimiento del tallo. Por otra parte, en el tratamiento CCN-51 testigo se encontró el mejor promedio de la longitud de raíz, respectivamente valores de 20,24 cm.

**Tabla 15.** Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en la masa seca de las estructuras morfológicas y el crecimiento de raíz

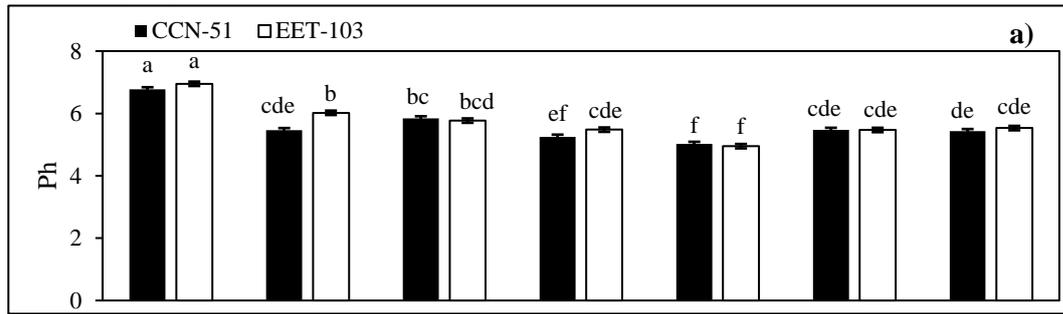
Genotipos	Fertilización	PSR (g)	PSPA (g)	Relac. PA/Raíz (g g <sup>-1</sup> )	LR (cm)
CCN-51	T	0,40 a	2,07 ab	5,20 c	20,24 a
	N	0,21 b	1,54 c	7,45 abc	13,57 ab
	NP	0,18 b	1,48 c	8,5 abc	15,78 abc
	NPK	0,16 b	1,39 c	9,11 abc	16,15 abc
	NPKS	0,18 b	1,57 c	8,95 abc	12,07 bc
	NPKSMg	0,17 b	1,33 c	8,08 abc	18,65 abc
	NPKSMgCa	0,19 b	1,66 bc	8,58 abc	13,59 abc
EET-103	T	0,41 a	2,36 a	5,71 bc	11,3 bc
	N	0,21 b	1,59 c	7,63 abc	10,74 bc
	NP	0,16 b	1,63 c	10,26 a	10,31 c
	NPK	0,20 b	1,68 bc	9,03 abc	10,20 c
	NPKS	0,17 b	1,67 bc	9,83 ab	11,87 bc
	NPKSMg	0,18 b	1,55 c	8,90 abc	12,12 bc
	NPKSMgCa	0,20 b	1,69 bc	8,82 abc	13,23 abc
<b>CV (%)</b>		14,46	8,65	25,74	19,40

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). PSR = Peso seco de raíz, PSPA= Peso seco parte aérea, LR= Longitud de raíz. CV= Coeficiente de variación

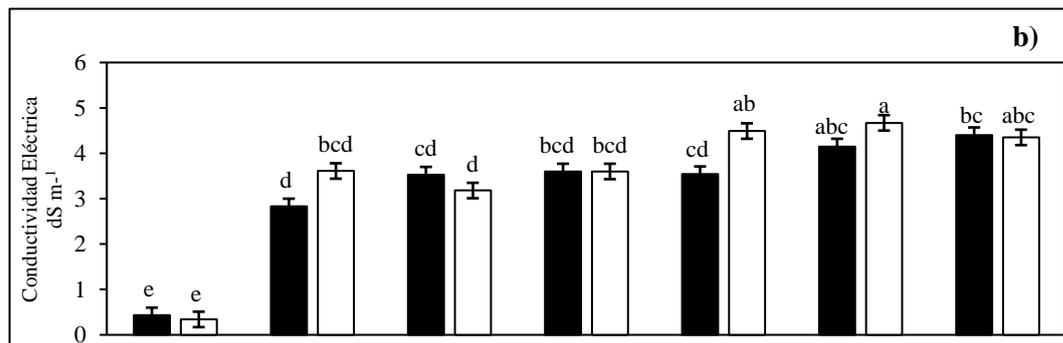
**Elaborado por:** Pincay (2022)

En ambos genotipos de cacao se encontró que la fertilización con macronutrientes disminuye el pH y aumenta la conductividad eléctrica del suelo (fig. 13a-b). Una tendencia similar mostró el pH y CE de la rizósfera (fig. 13c-d). Resultados que concuerdan con lo manifestado por Huang y Chen (2009) quienes reportaron que los procesos químicos de la mineralización del nitrógeno en los suelos liberan protones ( $H^+$ ), lo que desencadena reducción del pH. Asimismo, coinciden con lo señalado por Toledo (2016) quien indica que los fertilizantes con amonio acidifican el suelo, por ejemplo, el sulfato de amonio, nitrato de amonio y fosfato diaomónico, además la urea también provoca acidez por el proceso de nitrificación. En tal sentido, Torres *et al.* (2016) indicaron que la aplicación continua de fertilizantes aumenta la CE del suelo y estas presencias de sales llegan afectar el crecimiento vegetal, lo cual se detectó en este estudio.

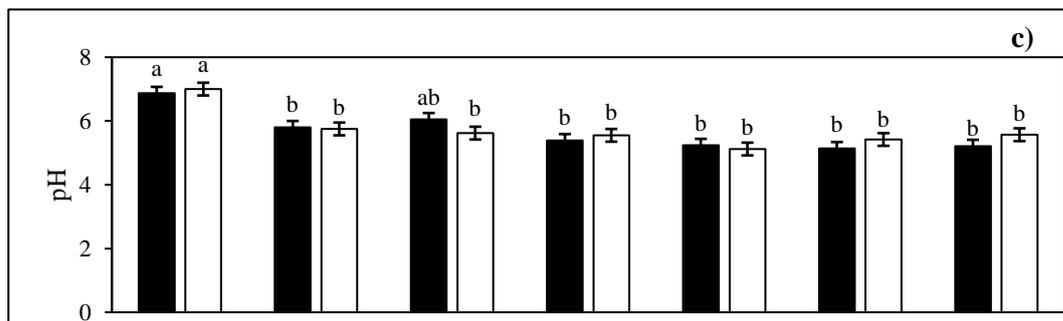
**Figura 13.** Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en los factores de pH y CE del suelo (a-b) y de la rizósfera (c-d)



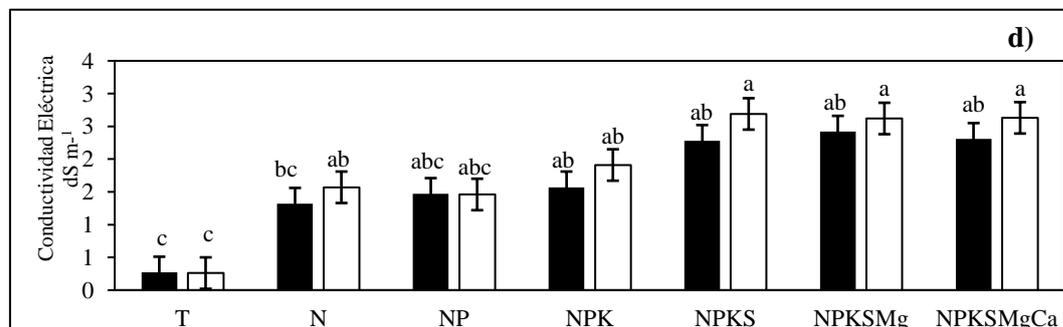
CV: 2,20 %



CV: 9,06 %



CV: 6,15 %

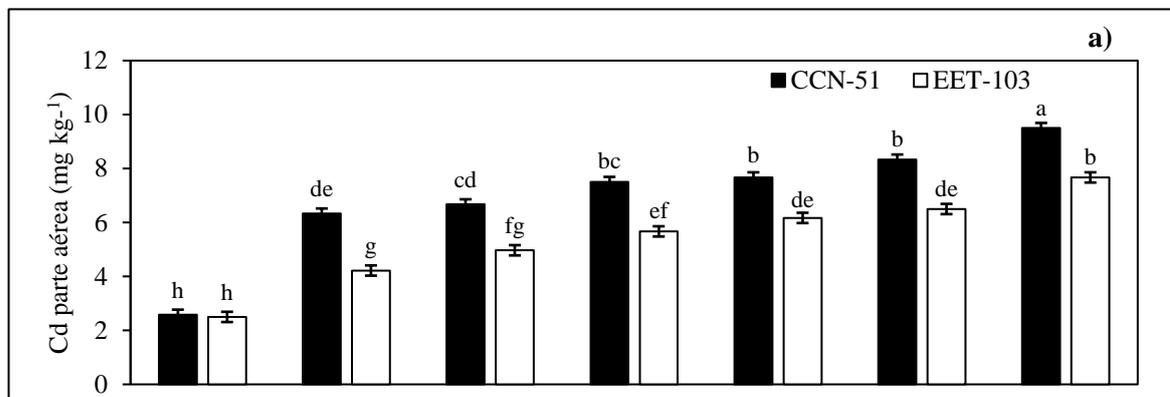


CV: 23,87 %

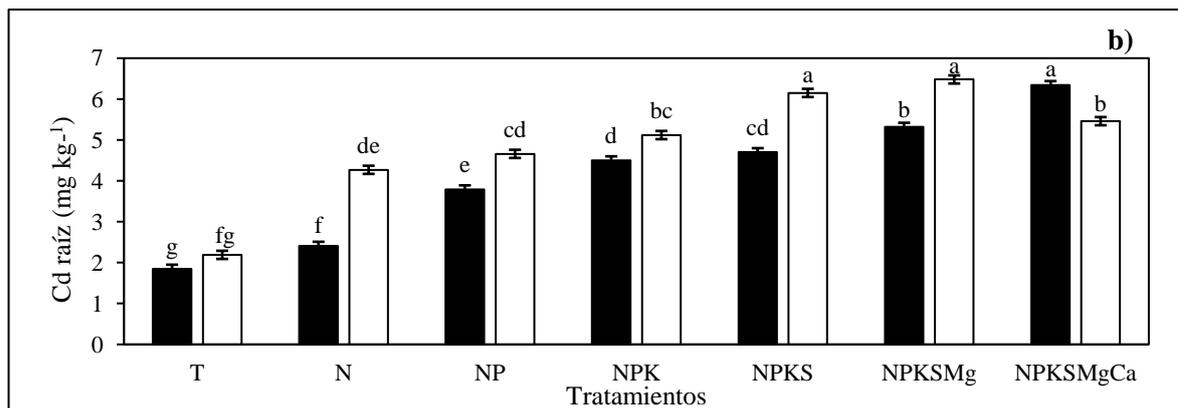
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). CV= Coeficiente de variación  
**Elaborado por:** Pincay (2022)

El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre tratamientos en la concentración de Cd de la parte aérea (fig. 14a). Los dos genotipos de cacao mostraron un aumento de concentración de Cd cuando en la fertilización se incrementa un elemento nutricional, respectivamente con la aplicación de NPKSMgCa recae la concentración de Cd más elevada en CCN51 (9,50 mg kg<sup>-1</sup>) y EET-103 (7,67 mg kg<sup>-1</sup>). Igualmente, las raíces mostraron una tendencia similar (fig. 14b), sin embargo, aquí con NPKSMg se obtiene la mayor concentración de Cd en EET103 (6,40 mg kg<sup>-1</sup>) en relación a CCN-51 (6,34 mg kg<sup>-1</sup>) que esto se produjo con NPKSMgCa. Estos resultados demuestran que la fertilización con macronutrientes aumenta la acumulación de Cd en plantas de cacao.

**Figura 14.** Efecto de genotipos de cacao con la fertilización macronutrientes en la concentración de Cd en la parte aérea (a) y radicular (b)



CV: 5,28 %



CV: 3,99 %

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). CV= Coeficiente de variación

Elaborado por: Pincay (2022)

Este trabajo se identifica como el primero en reportar los efectos de la fertilización con macronutrientes en genotipos de cacao sobre las variables de contenido de Cd, eficiencias de absorción, traslocación y fito-extracción de Cd (tabla 16). Los resultados demostraron que esta

labor agronómica influye directamente en aumentar el contenido de Cd en plántulas de cacao debido a que reduce el pH y aumenta la CE del suelo. Esto se lo traduce a que la presencia alta de bases y ácidos intercambiables en los sitios de adsorción remueven al Cd a la solución del suelo aumentando así su biodisponibilidad para las plantas, además las raíces poseen una rápida habilidad en absorben y transportar este metal hasta la parte aérea. Otros autores han reportado fenómenos similares, pero en otras especies, por ejemplo, Wan *et al.* (2019) reportaron que la aplicación de cloruro de potasio al suelo aumenta el contenido de Cd en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y col (*Brassica oleracea* L.). Por su parte, Jalloh *et al.* (2009) encontraron que el empleo de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en *O. sativa* incrementa la eficiencia de fito-extracción de Cd, debido a que el  $\text{NO}_3^-$  posee una interacción sinérgica con el Cd. Mientras tanto, Ji *et al.* (2011) evidenciaron que la aplicación sola de fosfato monocalcico y combinadas con nitratos en el suelo, aumenta la captación de Cd en *Solanum nigrum* L. Además, estos autores manifiestan que la fertilización no es una estrategia que sirva para remediar el Cd en suelos agrícolas. De acuerdo a los antecedentes anteriores, se acepta la hipótesis “la fertilización con macronutrientes incide sobre la absorción de Cd de dos materiales genéticos de cacao utilizados como patrones, bajo condiciones controladas”.

**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

Genotipos	Fertilización	Contenido de Cd ( $\mu\text{g}$ )			Eficiencias ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		
		Parte aérea	Raíz	PA+ Raíz	Absorción	Traslocación	Fito-extracción
CCN-51	T	5,33 f	0,74 bcd	6,07 g	15,21 d	7,26 de	13,37 d
	N	9,77 bcde	0,50 d	10,27 cdef	49,66 bc	19,53 a	47,25 bc
	NP	9,85 bcde	0,68 cd	10,52 bcde	60,17 abc	14,94 ab	56,38 abc
	NPK	10,44 bcd	0,72 bcd	11,16 bcd	72,80 ab	15,25 ab	68,3 ab
	NPKS	12,10 bc	0,83 abcd	12,93 bc	73,25 ab	14,61 abc	68,55 ab
	NPKSMg	11,00 bcd	0,89 abcd	11,95 bcd	72,41 ab	12,58 bcd	67,10 ab
	NPKSMgCa	15,83 a	1,24 a	17,06 a	87,64 a	12,81 bcd	81,29 a
EET-103	T	5,93 f	0,90 abcd	6,83 fg	16,45 d	6,57 e	14,26 d
	N	6,69 ef	0,90 abcd	7,58 efg	36,42 cd	7,53 de	32,15 cd
	NP	8,09 def	0,74 bcd	8,83 defg	55,66 bc	10,99 bcde	51,00 bc
	NPK	9,55 cde	1,00 abc	10,55 bcde	56,13 bc	9,93 bcde	51,01 bc
	NPKS	10,33 bcd	1,07 abc	11,4 bcd	66,44 ab	9,79 bcde	60,29 ab
	NPKSMg	10,05 bcde	1,15 ab	11,2 bcd	64,48 abc	8,92 cde	58,00 abc
	NPKSMgCa	12,99 ab	1,08 abc	14,07 ab	73,24 ab	12,52 bcd	67,77 ab
CV (%)		11,30	16,43	10,95	16,21	16,35	17,53

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ). CV= Coeficiente de variación

Elaborado por: Pincay (2022)

En la tabla 17 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y rizósfera con las variables de crecimiento. Se observa que el peso seco de raíz presento una correlación positiva altamente significativa con la masa seca aérea ( $r= 0,83$  \*\*\*), pH del suelo ( $r= 0,82$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r= 0,75$ \*\*\*) pero esta variable también mostró correlaciones significativas negativas con la CE del suelo ( $r= -0,86$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r= -0,70$  \*\*\*). Igualmente, el peso seco aéreo reflejó una relación directamente proporcional con el pH del suelo ( $r= 0,67$  \*\*\*) y rizósfera ( $r= 0,71$  \*\*\*) pero inversamente proporcional con la CE del suelo ( $r= -0,65$  \*\*\*) y rizósfera ( $r= -0,50$  \*\*\*). Esto quiere decir que la masa seca radicular y aérea tiende a incrementan con un aumento de pH y una reducción de CE.

**Tabla 17.** Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la masa seca de raíz y parte aérea

Parámetros	Peso seco	
	Raíz	Parte aérea
Peso seco parte aérea	0,83 ***	--
pH de Suelo	0,82 ***	0,67 ***
pH de rizósfera	0,74 ***	0,71***
CE de suelo	-0,86 ***	-0,65 ***
CE de rizósfera	-0,70 ***	-0,50 ***

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001.

**Elaborado por:** Pincay (2022)

En la tabla 18 se observan los coeficientes de correlación de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con la concentración de Cd en los tejidos. El peso seco de raíz mostró correlaciones negativas y fuertes con la concentración de cadmio en la parte aérea y raíz ( $r= -0,68$  \*\*\*). A su vez, el peso seco aéreo reflejó correlaciones negativas moderadas con la concentración de Cd en la raíz ( $r= -0,47$  \*\*) y parte aérea ( $r= -0,60$  \*\*\*). Esto se lo traduce a que cuando aumenta la concentración de Cd en los tejidos se reduce la biomasa de planta o lo inverso. Correa *et al.* (2021) reportaron correlaciones similares entre la concentración de Cd foliar con la biomasa de raíces y hojas ( $r= -0,52$  \*\*\*).

**Tabla 18.** Coeficientes de correlación de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con la concentración de Cd en los tejidos

Parámetros	Peso seco	
	Raíz	Parte aérea
Concentración Cd parte aérea	-0,68 ***	-0,60 ***
Concentración de Cd raíz	-0,68 ***	-0,47 **

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001.

**Elaborado por:** Pincay (2022)

En la tabla 19 se muestran las correlaciones de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con las variables de eficiencia de absorción, traslocación y fito-extracción de Cd. Se observa que el peso seco de raíz reflejó correlaciones negativas significativas con la eficiencia de absorción ( $r = -0,82$  \*\*\*), traslocación ( $r = -0,54$  \*\*\*) y fito-extracción de Cd ( $r = -0,82$  \*\*\*). Igualmente, el peso seco de parte aérea mostró tendencias inversamente proporcionales con las variables de eficiencia de absorción ( $r = -0,58$  \*\*\*), traslocación ( $r = 0,44$  \*\*\*) y fito-extracción de Cd ( $r = -0,57$  \*\*\*). Esto indica que cuando se reduce la absorción y traslocación de Cd se aumenta el peso seco de raíz y de la parte aérea.

**Tabla 19.** Coeficientes de correlación de Pearson entre la masa seca de los componentes morfológicos con las variables de eficiencia de absorción, traslocación y fito-extracción de Cd

Parámetros	Peso seco	
	Raíz	Parte aérea
Eficiencia de absorción de Cd	-0,82 ***	-0,58 ***
Eficiencia de traslocación de Cd	-0,54 ***	-0,44 **
Eficiencia de fito-extracción de Cd	-0,82 ***	-0,57 ***

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001.

Elaborado por: Pincay (2022)

En la tabla 20 se muestran las correlaciones de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera con la concentración de Cd en los tejidos. La concentración de Cd en la raíz mostró una correlación negativa significativa con el pH del suelo ( $r = -0,72$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r = -0,77$  \*\*\*). Igualmente, la concentración de Cd en la parte aérea reflejó una relación directa con los pH del suelo ( $r = -0,78$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r = -0,74$  \*\*\*). Por otra parte, la concentración de Cd de raíz mostró una correlación positiva con la CE del suelo ( $r = 0,87$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r = 0,77$  \*\*\*). Asimismo, se evidenció que la concentración de Cd foliar tuvo una relación directamente proporcional con la CE del suelo ( $r = 0,78$  \*\*\*) y de la rizósfera ( $r = 0,64$  \*\*\*). Lo anterior se lo traduce que cuando el pH baja y aumenta la CE, se incrementa la concentración de Cd en los tejidos. Igualmente, en otros estudios se ha encontrado correlaciones significativas y negativas entre el pH del suelo con la concentración de Cd foliar; ( $r = -0,69$ ) (Armijos, 2019), ( $r = -0,54$ ) (Lewis *et al.* 2021). Mientras tanto, Argüello *et al.* (2019) al valorar los contenidos de cadmio total en el suelo, observaron que el pH influyó significativamente sobre la transferencia de cadmio desde el suelo hacia las almendras de cacao.

**Tabla 20.** Coeficientes de Correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la concentración de Cd en los tejidos

Parámetros	Concentración de Cd	
	Raíz	Parte aérea
pH de suelo	-0,72 ***	-0,78 ***
pH de rizósfera	-0,77 ***	-0,74 ***
CE de suelo	0,87 ***	0,78 ***
CE de rizósfera	0,77 ***	0,64 ***

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001.

Elaborado por: Pincay (2022)

Los pH del suelo ( $r = -0,65^{***}$ ) y de la rizósfera ( $r = -0,56^{***}$ ) mostraron correlaciones negativas con el contenido de Cd en la parte aérea, en este mismo parámetro se encontró relaciones directamente proporcionales con la CE del suelo ( $r = 0,67^{***}$ ) y de la rizósfera ( $r = 0,55^{***}$ ) (tabla 21). Mientras que el contenido de Cd en raíz reflejó relaciones bajas siendo negativa con el pH de la rizósfera ( $r = -0,33^*$ ) y positiva con la CE del suelo ( $r = 0,33^*$ ). Por su parte el contenido de Cd en la planta (parte aérea+ raíz) obtuvo correlaciones negativas con el pH del suelo ( $r = -0,64^{***}$ ) y de la rizósfera ( $r = -0,57^{***}$ ) pero positivas con la conductividad eléctrica del suelo ( $r = 0,67^{***}$ ) y de la rizósfera ( $r = 0,54^{***}$ ). Lo anterior refleja que la reducción del pH y aumento de la CE, influyen a incrementar el contenido de Cd en las plantas de cacao.

**Tabla 21.** Coeficientes de Correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y rizósfera con la concentración de Cd en los tejidos

Parámetros	Contenido de Cd		
	Parte aérea	Raíz	Parte aérea + Raíz
pH de Suelo	-0,65 ***	-0,16 ns	-0,64 ***
CE de suelo	0,67 ***	0,33 *	0,67 ***
pH de rizósfera	-0,56 ***	-0,33*	-0,57 ***
CE de rizósfera	0,55 ***	0,26 ns	0,54 ***

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001. ns: no significativo

Elaborado por: Pincay (2022)

El pH del suelo mostró correlaciones altamente significativas con las eficiencias de absorción ( $r = -0,81^{***}$ ) fito-extracción ( $r = -0,80^{***}$ ) y traslocación de Cd ( $r = -0,50^{**}$ ) Igualmente, el pH de la rizósfera con las eficiencias de absorción ( $r = -0,70^{***}$ ) y fito-extracción de Cd ( $r = -0,68^{***}$ ) (tabla 22). La CE del suelo tuvo relaciones fuerte altamente significativas con la eficiencia de Absorción ( $r = 0,85^{***}$ ) y fito-extracción de Cd ( $r = 0,83^{***}$ ) y moderada con la

eficiencia traslocación de Cd ( $r= 0,35 *$ ). Mientras que la CE de rizósfera mostró correlaciones altas de ( $r= 0,73 ***$ ) y ( $r= 0,72 ***$ ) con la eficiencia de absorción y fito-extracción de Cd.

**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

Parámetros	Eficiencias		
	Absorción de Cd	Traslocación de Cd	Fito-extracción de Cd
pH de Suelo	-0,81 ***	-0,50 ***	-0,80 ***
pH de rizósfera	-0,70 ***	-0,25 ns	-0,68 ***
CE de suelo	0,85 ***	0,35 *	0,83 ***
CE de rizósfera	0,73 ***	0,24 ns	0,72 ***

Significancia de correlación. \*P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001. ns: no significativo

Elaborado por: Pincay (2022)

La concentración de Cd en la parte aérea reflejó correlación positiva significativa con las eficiencias de absorción ( $r= 0,90 ***$ ), traslocación ( $r= 0,58 ***$ ) y fito-extracción de Cd ( $r= 0,90 ***$ ) (tabla 23). Igualmente, la concentración de Cd en raíz con las eficiencias de absorción ( $r=0,76 ***$ ) y fito-extracción ( $r= 0,73 ***$ ) de Cd mostraron relaciones directamente proporcionales.

**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

Parámetros	Concentración de Cd	
	Parte aérea	Raíz
Eficiencia de absorción	0,90 ***	0,76 ***
Eficiencia de traslocación	0,58 ***	-0,01 ns
Eficiencia de fito-extracción	0,90 ***	0,73 ***

Significancia de correlación. \* P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001. ns: no significativo

Elaborado por: Pincay (2022)

En la tabla 24 se muestran las correlaciones de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera. El pH del suelo reflejó correlaciones fuertes negativas con la CE del suelo ( $r= -0,83 ***$ ) y rizósfera ( $r= -0,73 ***$ ), positiva con el pH de rizósfera ( $r= 0,86 ***$ ), igualmente este factor químico tuvo correlaciones inversamente proporcionales con la CE del suelo ( $r= -0,77 ***$ ) y de la rizósfera ( $r= 0,73 ***$ ). Esto reafirma que la fertilización con macronutrientes afecto negativamente las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera, lo que influyo a aumentar la biodisponibilidad del Cd y su absorción por las plantas.

**Tabla 24.** Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera

Parámetros	pH		CE	
	Suelo	Rizósfera	Suelo	Rizósfera
pH de suelo	1,00	---	---	---
pH de rizósfera	0,86 ***	1,00	---	---
CE de suelo	-0,83 ***	-0,77 ***	1,00	---
CE de rizósfera	-0,73 ***	-0,73 ***	0,77 ***	1,00

Significancia de correlación. \* P < 0,05. \*\* P < 0,01. \*\*\* P < 0,001

Elaborado por: Pincay (2022)

## 12. IMPACTOS

**Técnico:** El presente proyecto tiene un aporte científico y tecnológico en profundizar conocimientos sobre los efectos de la fertilización con macronutrientes en la absorción y traslocación de cadmio en patrones de cacao y la capacidad que tienen los genotipos de cacao en la captación de Cd.

**Social:** Los nuevos conocimientos encontrados fortalecerán a la agro-cadena de cacao. Asu vez, se aportaría en beneficiar la calidad de vida de la sociedad mediante una producción de alimentos más inocuos en el área.

**Ambiental:** Al conocer los efectos negativos de la fertilización, esto contribuye a como no deben ser tratados los recursos fitogenéticos en áreas afectadas por acumulación de cadmio.

## 13. PRESUPUESTO

En la tabla 25 se presenta el presupuesto del proyecto de investigación titulado 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. Financiado por la GIZ, ejecutado por el estudiante Roger Alexander Pincay-Ganchozo con la orientación del Dr. Manuel Carrillo Zenteno, líder del Departamento de Manejo de Suelos y Agua de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

**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

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unit USD</b>	<b>Valor total USD</b>
Macetas	200	1	200,00
Fundas	200	0,01	2,00
Análisis de suelo	1	29,22	29,22
Análisis de Cd en tejidos	84	23,00	1932,00
Análisis de pH	84	6,04	507,36
Análisis de CE	84	4,84	406,56
Mano de obra	160	20,00	3200,00
<b>Total</b>			<b>6277,14</b>

Elaborado por: Pincay (2022)

## **14. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **14.1. Conclusiones**

En lo que corresponde el efecto simple de genotipos se detectó que los dos materiales genéticos de cacao reflejaron la mayor concentración de Cd en la parte aérea. Sin embargo, se encontró que CCN51 produce mayor clorofila, posee mejor habilidad en absorber, transportar y concentrar Cd en los tejidos foliares.

La fertilización con macronutrientes reduce el pH y aumenta la CE 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.

Las propiedades químicas del suelo y de la rizósfera con los niveles de Cd en los tejidos mostraron que el pH esta correlacionado de manera negativa y la CE de forma positiva con la concentración de Cd en la parte aérea y radicular, igualmente la absorción y fito-extracción de Cd.

### **14.2. Recomendaciones**

La fertilización con macronutrientes en suelos cacaoteros contaminados con Cd se debe realizar con adición de enmiendas para neutralizar la acidez que producen los fertilizantes y así no permitir la biodisponibilidad y absorción de Cd en las plantas.

El genotipo EET-103 se propone como portainjerto para reducir la absorción y traslocación de Cd hacia los tejidos foliares.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

Abad, A., Acuña, C., y Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión. Revista internacional de administración*, (7): 59-83.

Acosta, A. (2013). Efecto del sulfato de cadmio en la germinación y el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Investigación y Amazonía*, 3 (1): 20-29.

Affan Baig, M., Ahmad, J. Ali, A. A., y Irfan Qureshi, A. M. (2019). Chapter 13 - Role of Sulfur Metabolism in Cadmium Tolerance. Editor(s): Mirza Hasanuzzaman, Majeti Narasimha Vara Prasad, Kamrun Nahar. *Cadmium Tolerance in Plants*. Academic Press. 335-365 pp. ISBN: 9780128157947.

Albán Solarte, K E. (2017). Variación de la disponibilidad de cadmio en suelos con distinto valor de ph. Tesis de pregrado de la Universidad Tecnológica Equinoccial. Carrera de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgo Naturales. Santo Domingo, Ecuador. 35 pp.

Arévalo-Hernández, C.O., Arévalo-Gardini, E., Barraza, F., Farfán, A., He, Z., y Baligar, V. C (2020) Growth and nutritional responses of wild and domesticated cacao genotypes to soil cd stress, *Science of the Total Environment*. STOTEN 144021.

Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., y Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127.

Armijos Galarza, I. A. (2019). Comparación de los niveles de cadmio en cacao tipo nacional en la parroquia Río Bonito, Provincia de El Oro-Ecuador. Tesis de Pregrado de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador. 34 pp.

Arvelo Sánchez, M. A. González León, D., Delgado López, T., Maroto Arce, S., y Montoya Rodríguez, P. (2017a). Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en

América. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. ISBN: 978-607-715-347-4.

Arvelo Sánchez, M. A. González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., y Montoya López, P. (2017b). Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. ISBN: 978-92-9248-732-4.

Ávila, O., Casierra, F., y Riascos, D., (2012). Contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. *Temas agrarios*, 17: (1) 60 – 71.

Barraza, F., Moore, R. E., Rehkämper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B. y Maurice, L. (2019). Cadmium isotope fractionation in the soil–cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *Rsc Advances*, 9(58): 34011-34022.

Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., y Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229: 950-963.

Barrientos Felipa, P. (2015). La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial. *Semestre Económico*, 18(37):129-156.

Bello Medina, N. E. (2020). Respuesta de cinco genotipos de Cacao (*Theobroma cacao* L.) a cuatro dosis de Cadmio bajo condiciones de vivero en Chanchamayo. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Benavides, M. P., Gallego, S., y Tomaro, M. (2005). Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 21–34.

Camino, S. M., Andrade Diaz, V., y Pesantez Villacis, D. (2016). Posicionamiento y eficiencia del banano, cacao y flores del Ecuador en el mercado mundial / Positioning and efficiency of bananas, cocoa and flowers in the global market. *Ciencia UNEMI*, 9(19): 48-53.

Carrillo, M. (2003). Caracterizacao das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinamicas de adsorcao e de mobiidade em solos do Equador. Tesis de postgrado Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 56 pp.

Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. La granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1): 21-35.

Castro, A. V., De Almeida, A. A., Pirovani, C. P., Reis G. S.M., Almeida, N. M., Mangabeira P. A.O. (2015). Morphological, biochemical, molecular and ultrastructural changes induced by Cd toxicity in seedlings of *Theobroma cacao* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115: 174-186.

Chavez E., He Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapub, R. S., Li, Y. C., Moyanod, B., Baligar, V. C. (2015) Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533: 205–214.

Chupillón Cubas, J., W. (2017). Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.), para el establecimiento de plantaciones comerciales. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú.

Córdoba-Rodríguez, D., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., y Muñoz-Orozco, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*, 45(4): 493-506.

Corporación PBA (2012). Guía técnica para el establecimiento y manejo del cultivo de cacao. Red de productores de cacao de la región Caribe colombiana, Bogotá, Colombia. 52 pp.

Correa, J. E., Ramírez, R., Ruíz, O., y Leiva, E. I. (2021). Effect of soil characteristics on cadmium absorption and plant growth of *Theobroma cacao* L. seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1-9.

De La Cruz Medina, M. A., Vargas Ortiz and O. A., Del Ángel Coronel. (2011). CACAO: Operaciones Postcosecha. (Eds.) AGST/FAO Danilo Mejía. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 77 pp.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2): 597-612.

Deomedesse Minari, G., Maria Saran, L., Lima Constancio, M. T., Correia da Silva, R., Rosalen, D. L., de Melo, W. J., y Carareto Alves, L. M. (2020). Bioremediation potential of new cadmium, chromium, and nickel-resistant bacteria isolated from tropical agricultural soil, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204: 1-12.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. Y., y Robledo C.W. Infostat versión (2020). Centro de Transferencia Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Espinosa, C., y Mosquera, D. (2012). Estudio de factibilidad para la producción de cacao en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas. Tesis de pregrado de la Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 205 pp.

Fernández Lizarazo, J. C. (2018) Estudio del efecto de diferentes líneas monospóricas de *Rhizophagus irregularis* en la respuesta del cacao al cadmio bajo condiciones de déficit hídrico en vivero. Tesis de Postgrado de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 222 pp.

Fernández, L, C., Bohórquez, W., y Rodríguez, A. (2016). Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2): 367-380.

Gallego, S.M., Pena, L.B., Barcia, R.A., Azpilicueta, C.E., Iannone, M.F., Rosales, E.P., Benavides, M.P. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environ. Exp. Bot.* 83: 33–46.

García, G. (2018). Efecto de fertilización en drench de plántulas de *Theobroma cacao* L. Grupo criollo, en vivero, Río Negro - Satipo. (Tesis para optar el Título de Ingeniera en Ciencias Agrarias - Especialidad: Agronomía). Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Agrarias – Satipo – Perú.

Garzón, I., Casanova, T., y Proaño, V. (2020) “Cadmio: consecuencia en la comercialización de cacao para los pequeños productores”. 1era Edición. Esmeraldas, Ecuador. Punto y Línea Producciones. 76 pp. ISBN: 978-9942-9981-5-6.

- Gezerman, A. O. (2020). A novel industrial-scale strategy to prevent degradation and caking of ammonium nitrate. *Heliyon* 6: e03628
- Gonçalves, A. Z., Latansio, S., Detmann, K. C., Marabesi, M. A., Neto, A. A. C., Aidar, M. P. M., y Mercier, H. (2020). What does the RuBisCO activity tell us about a C3-CAM plant? *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Gramlich, A; Tandy, S; Andres, C; Paniagua, JC; Armengot, L; Schneider, M; Schulin, R. (2016). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of The Total Environment* 580:677-686.
- Hao, X.-Z., Zhou, D. M., Li, D. D., y Jiang, P. (2012). Growth, Cadmium and Zinc Accumulation of Ornamental Sunflower (*Helianthus annuus* L.) In Contaminated Soil with Different Amendments. *Pedosphere*, 22(5): 631–639.
- Hasan, S.A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., y Ahmad, A. (2009). Cadmium: toxicity and tolerance in plants. *J. Environ. Biol.* 30: 165–174.
- Herrera Marcano, T. (2011). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2): 42-47.
- Hip Appel, Lena Q. Ma, Roy D. Rhue, y William Reve. (2008). Sequential sorption of lead and cadmium in three tropical soils, *Environmental Pollution*, 155 (1): 132-140.
- Hou, L. L., Tong, T., Tian, B., y Xue. D. W. (2019). Chapter 1 - Crop Yield and Quality Under Cadmium Stress, Editor(s): Mirza Hasanuzzaman, Majeti Narasimha Vara Prasad, Kamrun Nahar, *Cadmium Tolerance in Plants*, Academic Press. 1-18 pp. ISBN: 9780128157947.
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. A., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., y Neira-Trujillo G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) Orgánico. *Acta Agronómica*, 61 (4): 339-344.
- Huang, C. C. y Chen. (2009). Mineralización de carbono y nitrógeno de compost de lodos de depuradora en suelos con pH inicial diferente. *Ciencia del suelo. Plant Nutr.* 55: 715-724.

Huang, C.C. y Z.S. Chen. (2009). Carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge compost in soils with a different initial pH. *Soil Sci. Plant Nutr.* 55: 715-724.

Huaraca-Fernandez, Jhon N., Pérez-Sosa, Lourdes, Bustinza-Cabala, Leonor S., y Pampa-Quispe, Noé B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4): 139-152.

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2020). Anuario meteorológico del Cantón Mocache: Estación Experimental Tropical Pichilingue. Mocache, Los Ríos Ecuador. 12 pp.

Jácome Molina, D. M. (2017). Efecto de la inoculación de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) sobre un sistema suelo-planta de cacao en suelos contaminados con cadmio en etapa de vivero. Tesis de Postgrado de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 107 pp.

Jalloh, M.A., Chen, J., Zhen, F., y Zhang, G., (2009). Effect of different N fertilizer forms on anti-oxidant capacity and grain yield of rice growing under Cd stress. *J. Hazard. Mater.* 162, 1081e1085.

Jenkins, B., & Basu, S. (2021). Chapter 12 - Regulation of boron, iron, and cadmium transporters in maintaining proper balance between their deficiency and excess in plants. Editor(s): Roychoudhury A., Kumar D., and Deshmuk R. *Metal and Nutrient Transporters in Abiotic Stress*. 237-250 p. ISBN: 978-0-12-817955-0.

Ji, P., Sun, T., Song, Y., Ackland, M. L., y Liu, Y. (2011). Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium-contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L. *Environmental Pollution*, 159(3): 762–768.

León-Villamar, F., Calderón-Salazar, J., Mayorga-Quinteros, E. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ciencia Unemi*, 9 (18): 45-55.

Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., Sivapatham, P., y Umaharan, P. (2021). Plant metal concentrations in *Theobroma cacao* as affected by soil metal availability in different soil types. *Chemosphere*, 127749.

Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., Sivapatham, P., y Umaharan, P. (2021). Plant metal concentrations in *Theobroma cacao* as affected by soil metal availability in different soil types. *Chemosphere*, 262: 127749.

Llatance, W. O., Gonza, S. C. J., Guzmán, C. W., & y Pariente, M. E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1): 63-75.

Londono-franco, L. F., Londono-Munoz, P. T., Munoz-Garcia, F. G. (2016) Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev.Bio.Agro* , Popayán, 14 (2): 145-153.

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., y Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2): 145-153.

Loor, R., Casanova, T., y Plaza, L. (2016). Mejoramiento y homologación de los procesos de Investigación validación y producción de servicios en cacao y café. Eds. Publicación Miscelánea N° 433, 1ª ed. INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), EET-Pichilingue, Mocache, Ecuador. 103 pp. ISBN: 978-9942-22-103-2.

Marcano, T. H. (2000). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1 y 2): 42-47.

Martínez-Villavicencio, N., López-Alonzo, C. V., Pérez-Leal, R., y Basurto-Sotelo, M. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo: Effects of salinity on vegetative growth. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 5(3): 156-161.

Matraszek, R., Hawrylak-Nowak, B., Chwil, S. Y., y Chwil, M. (2016). Macroelemental composition of cadmium stressed lettuce plants grown under conditions of intensive sulphur nutrition *Journal of Environmental Management*, 180: 24–34.

Matusik, J., Bajda, T., y Manecki, M. (2008). Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates. *Journal of Hazardous Materials*, 152(3): 1332–1339.

Mendieta, W., y Taisigüe, L. (2014). Acumulación y translocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación Laboratorio de Biotecnología. Laboratorio de Biotecnología, UNAM-Managua, 1-1.

Merchán M., Flores, E., y Quiroz, J. (2015). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quevedo, Ecuador.

Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Bioersivity International, Roma, Julio 2019.

Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. Bioersivity International, Roma. ISBN: 978-92-9255-136-0.

Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial N° 028 Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. 220 pp.

Mite, F., Carrillo, M., y Durango W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Naeem, A., Zafar, M., Khalid, H., Zia-ur-Rehman, M., Ahmad, Z., Ayub, M. A., y Farooq Qayyum, M. (2019). Cadmium-Induced Imbalance in Nutrient and Water Uptake by Plants. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, 299–326.

Naseem, B., Mukhtar, M., Arif, I., y Jamal, M. A. (2017). Effect of concentration and temperature on the interactions between saline soil salts and nitro phosphate fertilizer under atmospheric pressure: A thermo-acoustic approach. *Journal of Molecular Liquids*, 247:151–163.

Nava-Ruíz, C., y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3): 140-147.

Nawaz, K.; Hussain, K.; Majeed, A.; Khan, F.; Afghan S. Y., y Ali, K. (2010). Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology*. 9(34): 5475-5480.

Nivela Andrade, D. J. (2020). Relaciones alométricas para estimar biomasa aérea en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) De origen trinitario (CCN-51) y de tipo nacional en la Provincia de Los Ríos". Tesis de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., y Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27): 9-18.

Peláez-Peláez, M. J., Cano, J. J. B., y López, E. D. G. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena medio colombiano. *Revista Luna Azul*, (43): 82-101.

Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., y Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 10(1): 29-44.

Recalde, M., Carrillo, M., Sánchez, J., y Moreno, R. (2012). Manejo de la nutrición del cultivo de cacao en la región de santo domingo: etapa de establecimiento del huerto. *Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales*, (3): 95-104.

Rezaei Rashti, M., Esfandbod, M., Adhami, E., y Srivastava, P. (2014). Cadmium desorption behaviour in selected sub-tropical soils: Effects of soil properties. *Journal of Geochemical Exploration*, 144 (Parte B): 230-236.

Ribeiro, M.Q., J. O. Da Silva, W.M., Aitken, Machado, R.C.R., y Baligar. V.C. (2008). Nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *J. Plant Nutr.* 31(2): 239-249.

Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Rehman, M.Z., Hannan, F., Keller, C., Al-Wabel, M.I., Ok, Y.S. (2016). Cadmium minimization in wheat: a critical review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 130: 43–53.

Rodríguez-Pérez, L. (2006). Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, 24(1): 28-37

Romero Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1): 45-46.

Sage, R. F., y Stata, M. (2015). Photosynthetic diversity meets biodiversity: The C 4 plant example. *Journal of Plant Physiology*, 172: 104–119.

Salim Akhter, M., Noreen, S., Mahmood, S., Athar, H.-R., Ashraf, M., Abdullah Alsahli, A., y Ahmad, P. (2020). Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence. *Journal of King Saud University - Science*, 101239.

Sánchez Arizo, V.H., Tinoco, K.I., Zambrano Mendoza, J.L., Iglesias Paladines, C., y López, D.A. (2018). Brechas de rendimiento de los principales cultivos del Ecuador con relación a países de América Latina y el Caribe. En C. Yáñez, M. Racines, C. Sangoquiza, y X. Cuesta (Eds.). *Primer Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria “Fomentando la Seguridad y Soberanía Alimentaria”*: Artículos del Evento. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. 169-171 pp.

Sánchez, V., Zambrano, J., y Iglesias, C. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. 99 pp. ISBN: 978-9942-36-465-4.

Sandoval-Pineda J.F., Pérez-Moncada, U.A., Rodríguez A., y Torres Rojas E. (2020). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Biol Colomb.* 25(3):333-344.

Sarwar, N., Saifullah., Malhi, S., Hussain Zia, M., Naeem, A., Bibi S., y Farid G. (2010) Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *J Sci Food Agric*, 90 (0): 1-13.

Tantalean, E. y M. Huauya (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2): 69-78.

Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Tegucigalpa, Honduras. 151pp. ISBN: 978-99979-55-01-2.

Torres, D., Mendoza, B., Meru M., y Gómez, C. (2016) Riesgos de salinización y sodificación por el uso de abonos orgánicos en la depresión de Quíbor-Venezuela. *Multiciencias*, 16 (2): 133-142.

Vásquez Diaz, N. K. (2020). Efecto del carbón activado de semillas de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) En la estabilización del Cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plántulas de Cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de ciencias forestales y ambientales. Carrera de ingeniería ambiental. Pucallpa, Perú. 75 pp.

Vélez Ruiz, J. N. (2018). Evaluación de la respuesta de cacao CCN-51 a plena exposición solar a las aplicaciones de Azufre (S) y Magnesio (Mg) en la zona de Zapotal, Provincia de Los Ríos. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3311/1/T-UTEQ-0141.pdf>.

Vera Barahona, J., Suárez Capello, C., y Mogrovejo, E. (1984). Descripción técnica de algunos híbridos y clones de cacao recomendados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quevedo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa de Cacao. (Comunicación Técnica no. 12).

Wang, F.Y., Lin X.G., y Yin, R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus *Acaulospora mellea* decreases Cu phytoextraction by maize from Cu-contaminated soil. *Pedobiol.* 51(2): 99-109.

Wang, K., Fu, G., Yu, Y., Wan, Y., Liu, Z., Wang, Q., y Li, H. (2019). Effects of different potassium fertilizers on cadmium uptake by three crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26): 27014-27022.

Wang, M., Ding, L., Gao, L., Li, Y., Shen, Q., y Guo, S. (2016). The interactions of aquaporins and mineral nutrients in higher plants. *Int. J. Mol. Sci.* 17: 1229.

Wu, Z., Naveed, S., Zhang, C., y Ge, Y. (2020). Adequate supply of sulfur simultaneously enhances iron uptake and reduces cadmium accumulation in rice grown in hydroponic culture. *Environmental Pollution*, 262: 114327.

Younis, U., Malik, S.A., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Shah, M.H.R., Rehman, R. A., y Ahmad, N. (2016). Biochar enhances the cadmium tolerance in spinach (*Spinacia oleracea*) through modification of Cd uptake and physiological and biochemical attributes. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23: 21385–21394.

Yubb T. N. Quim Cerra G. A., Chamorro A. L., y Pérez C. A. (2017). Resistencia a cadmio (Cd) de bacterias endófitas y bacterias rizósfericas aisladas a partir de *Oriza sativa* en Colombia, *Rev Colombiana Cienc Anim*, 9(Supl 2):281-293.

Zia-ur-Rehman, M., Khalid, H., Rizwan, M., Ali, S., Irfan Sohail, M., Usman, M., Umair, M. (2019). Chapter 4 - Inorganic Amendments for the Remediation of Cadmium-Contaminated Soils, Editor(s): Mirza Hasanuzzaman, Majeti Narasimha Vara Prasad, Kamrun Nahar. *Cadmium Tolerance in Plants*, Academic Press. 113-141 pp. ISBN: 9780128157947.

## 16. ANEXOS

### Anexo 1. Contrato de sesión

#### **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebra de una parte: Pincay Ganchozo Roger Alexander con C.C. 0941185332, de estado civil soltero y con domicilio en Buena fe, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez Ph. D., en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado: **“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”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. Abril 2016 – Febrero 2021.

Aprobación HCA. -

Tutor. - Ing. Wellington Pincay Ronquillo, MSc.

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”**

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que

establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma

exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

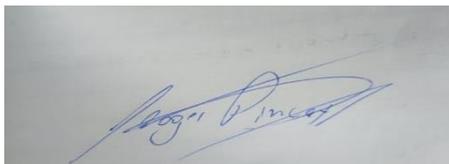
**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento del **CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 24 días del mes de enero del 2022.



Roger Alexander Pincay Ganchozo  
**EL CEDENTE**

Ing. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez PhD.  
**EL CESIONARIO**

**Anexo 2.** Hoja de vida del tutor**DATOS PERSONALES****Apellidos:** Pincay Ronquillo**Nombres:** Wellington Jean**Estado civil:** Soltero**Cedula de ciudadanía:** 1206384586**Número de cargas familiares:** 0**Lugar y fecha de nacimiento:** Vinces, Ecuador 04 Noviembre 1988**Dirección domiciliaria:** Rcto. Bagatela, Parroquia Antonio Sotomayor, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos**Teléfono convencional:** 791338**Teléfono celular:** 0980754794**EMAIL INSTITUCIONAL:** wellington.pincay4586@utc.edu.ec**ESTUDIOS REALIZADOS Y TÍTULOS OBTENIDOS**

<b>NIVEL</b>	<b>TITULO OBTENIDO</b>	<b>FECHA DE REGISTRO</b>	<b>CÓDIGO DEL REGISTRO CONESUP O SENESCYT</b>
<b>TERCER</b>	INGENIERO AGRÓNOMO	2013-10-28	1006-13-1245059
<b>CUARTO</b>	MÁSTER UNIVERSITARIO EN AGROINGENIERÍA	2016-10-25	724188980

**Anexo 2.** Hoja de vida del egresado**CURRICULUM VITAE****INFORMACION PERSONAL****Nombre:** Roger Alexander Pincay Ganchozo**Fecha de nacimiento:** Enero/11/1997**Nacionalidad:** ecuatoriana**Dirección particular:** Buena fe – Los Ríos - Ecuador

Teléf: (593) 91762883

E-mail: rogerpincay97@gmail.com

roger.pincay5332@utc.edu.ec

**ESTUDIOS REALIZADOS****Tercer Nivel:**

Universidad Técnica de Cotopaxi

**TÍTULOS**

Bachiller en Ciencias Generales

Licencia Tipo "C"

Ingeniero Agrónomo

**PUBLICACIONES CIENTÍFICAS**

**Pincay-Ganchozo, R. A.**, Luna-Murillo, R. A. Espinosa Cunuhay K. A., Espinales Suárez H. O. (2021). Escarificación química y biológica en la emergencia y crecimiento de *Clitoria ternatea*. *Centro Agrícola*, 48 (3): 53-59.

**Pincay-Ganchozo, R. A.**, Luna-Murillo, R. A., Espinoza-coronel, A. L., Medina Villacis, M. L. (2020). Inoculantes bacterianos del género *Azotobacter* en la asociación del pasto *Andropogon gayanus* con *Clitoria ternatea* y kudzu (*Pueraria phaseoloides*). *Nexo agropecuario*, 8(2): 27-35.

Reyes-Pérez, J.J., Llerena-Ramos, L. T., Ramos-Remache, R. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Falcón-Rodríguez, A. B., **Pincay-Ganchozo, R. A.**, Rivas-García, T. (2021). Efecto del quitosano en la propagación vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) por esquejes. *Terra Latinoamericana*, 39, e1008: 1-9.

Llerena-Ramos, L. T., Reyes-Pérez, J. J., Álvarez-Sánchez, A. R., **Pincay-Ganchozo, R. A.** (2021). Respuesta agronómica del cultivo del arroz a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Centro agrícola*, Artículo aceptado para publicación.

**Anexo 4. Certificado Urkund****Document Information**

---

<b>Analyzed document</b>	Tesis Roger Pincay PDF.pdf (D128179841)
<b>Submitted</b>	2022-02-17T19:37:00.0000000
<b>Submitted by</b>	
<b>Submitter email</b>	kleber.espinosa@utc.edu.ec
<b>Similarity</b>	8%
<b>Analysis address</b>	kleber.espinosa.utc@analysis.orkund.com

**Anexo 5.** Aval de traducción del resumen



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

**CENTRO DE IDIOMAS**

**AVAL DE TRADUCCIÓN**

**En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que:**

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“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”** presentado por: **Pincay Ganchozo Roger Alexander** egresado de la Carrera de: **Ingeniería Agronómica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias Y Recursos Naturales**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, 28 de marzo del 2022

**Atentamente,**



Firmado electrónicamente por:

**WENDY  
ELIZABETH  
NÚÑEZ  
MOREIRA**

Mg. Núñez Moreira Wendy Elizabeth  
**DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.I: 092502504-1**

## Anexo 6. Fotografías del desarrollo de la investigación

Foto 1. Recolección de mazorcas fisiológicamente maduras



Elaborado por: Pincay (2022)

Foto 2. Retiro del mucilago y de la epidermis d semillas de cacao



Elaborado por: Pincay (2022)

Foto 3. Siembra de semillas de cacao



Elaborado por: Pincay (2022)

Foto 4. Riego de las plántulas de cacao



Elaborado por: Pincay (2022)

**Foto 5.** Aplicación de la fertilización con macronutrientes en los genotipos de cacao CCN-51 y EET-103



**Elaborado por:** Pincay (2022)

**Foto 6.** Peso de muestra, lectura de pH y conductividad eléctrica



**Elaborado por:** Pincay (2022)

**Foto 7.** Evaluación de indicadores de crecimiento e índice de clorofila en patrones de cacao



**Elaborado por:** Pincay (2022)

**Foto 8.** Digestión de masa seca y filtrado



**Elaborado por:** Pincay (2022)

**Foto 9.** Área de estudio, invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias



**Elaborado por:** Pincay (2022)

**Anexo 7.** Distribución de los tratamientos

<b>BLOQUE I</b>		<b>BLOQUE II</b>		<b>BLOQUE III</b>	
<b>CCN-51</b>	<b>EET-103</b>	<b>EET-103</b>	<b>CCN-51</b>	<b>CCN-51</b>	<b>EET-103</b>
N	T	N	NP	T	NPKSMgCa
NPKS	NP	NPKSMgCa	NPKSMg	NPKS	NP
NP	NPKSMg	NPK	T	NP	NPKS
NPKSMgCa	NPK	NPKSMg	NPK	NPKSMgCa	N
T	NPKSCaMg	NP	NPKS	NPK	NPK
NPK	NPKS	T	NPKSMgCa	N	NPKSMg
NPKSMg	N	NPKS	N	NPKSMg	T