UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA

Dosis remediadora del carbonato de calcio ($CaCO_3$) para reducir la absorción de cadmio en plantas de (cacao) *Theobroma cacao L*. a nivel de vivero UNIA-2017

Tesis para optar el Título Profesioal de
Ingeniero Agroforestal Acuícola

Presentado por:

Bach. Robin Américo Vargas Tello

Yarinacocha – Perú

2024

ANEXO 16. ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En auditorio destinado para la sustentación de la tesis, del Campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en la Ciudad de Yarinacocha, del distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, a las 10 horas del día jueves 28 de noviembre del 2024, se reunió el Jurado de Tesis presidido por el MSc. Jhon Edwar Avilés Sandi, e integrado por: Dr. Luigi Roberto Vargas Mera y MSc. Jessy Isabel Vargas Flores, en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **«Dosis remediadores del carbonato de calcio (CaCO3), para reducir la absorción de cadmio en plantas de (Cacao) *Theobroma cacao* L. a nivel de vivero UNIA-2017»**, cuya responsabilidad corresponde al Bachiller: **VARGAS TELLO, Robín Américo;** a fin de optar el Título Profesional de **Ingeniero Agroforestal Acuícola**. Terminada la sustentación, el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre los aportes de la tesis y la fundamentación de la sustentante, llegaron a concluir en los parámetros cuantitativos que se consolidan en la siguiente tabla:

Presidente	MSc. Jhon Edwar Avilés Sandi	23
Miembro	Dr. Luigi Roberto Vargas Mera	18
Miembro	MSc. Jessy Isabel Vargas Flores	25
Promedio		22

Luego, se compatibilizó el resultado cuantitativo con la tabla cualitativa equivalente, sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido, sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole un calificativo de BUENO, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

Siendo las 11:35 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

MSc. Jhon Edwar Avilés Sandi **Presidente**	Dr. Luigi Roberto Vargas Mera **Miembro**
MSc. Jessy Isabel Vargas Flores **Miembro**	Dra. Ena Vilma Velazco Castro **Asesora**

Distribución: Integrantes del Jurado de Tesis, tesista y archivo FICA (Todas con firmas en original).

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA

N°100 - 2024

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

La Biblioteca Central, hace constar por la presente, que le informe Final (Tesis) titulado:

DOSIS REMEDIADORA DEL CARBONATO DE CALCIO (CACO3) PARA REDUCIR LA ABSORCIÓN DE CADMIO EN PLANTAS DE (CACAO) THEOBROMA CACAO L. A NIVEL DE VIVERO UNIA-2017.

Cuyo autor es : **VARGAS TELLO, ROBIN AMÉRICO.**

Facultad : FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Profesional : INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA.

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 11%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecido en el **artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO**, aprobada con **RESOLUCIÓN N°164-2021-UNIA-CO**, el cual indica que no se debe superar el 24%. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si está dentro de los límites aceptables de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 13/12/2024

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA - UCAYALI

Dr. Mariana Magdalena Mendoza Carlos

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme la vida y llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A Teresa de Jesús Tello Loja, por su esfuerzo y dedicación en inculcarme los mejores valores, por su incondicional apoyo y su constante aliento para lograr las metas propuestas en el camino de la vida.

A mis hijos que son mi felicidad y motivación para ser cada día un mejor padre y amigo.

A mis hermanos por el aliento brindado día a día y por ser ejemplo de unidad y sacrificio para alcanzar los objetivos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi cordial agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que han contribuido a la ejecución de la presente tesis:

A la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, por que hizo posible el deseo de ser profesional.

A los docentes de la Carrera Profesional Agroforestal Acuícola parte de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales por haber contribuido en mi formación profesional y en el desarrollo de mi tesis.

A la Vicepresidencia de Investigación, por otorgarme el financiamiento para ejecutar el proyecto tesis por medio del II concurso de subvención de tesis 2017.

A la Dra. Ena Vilma Velazco Castro, asesora de tesis, por su oportuna guía y excelente asesoramiento recibido antes, durante y después de la presente.

A Dr. Herman Collazos Saldaña, Co-asesor, por el tiempo dedicado y por impartir sus conocimientos para fortalecer la realización de este trabajo.

A los miembros de jurado de tesis Ing. MSc Jhon Edward Avilés Sandi, Dr. Luigui Roberto Vargas Mera, Ing. MSc. Jessy Isabel Vargas Flores, por las sugerencias de mejora al informe final de tesis.

En memoria y reconocimiento a los primeros miembros de jurado de tesis quienes aportaron sus conocimientos científicos para mejorar la investigación: Dr. Percy Francisco Gutiérrez Salas, Qco. Nery Francisco Grimaldo Córdova y Qco. Lylyams Iris Inga Rojas, gracias hasta el cielo.

Al laboratorio World Survey Services S.A.C. WSS, por su valiosa colaboración en este trabajo.

A todas las personas que mostraron un espíritu colaborativo y desinteresado en mi formación profesional.

INDICE

RESUMEN 9
ABSTRAC 10
I. INTRODUCCIÓN 11
II. REVISIÓN DE LITERATURA 13
2.1. Antecedentes de la investigación 13
2.2. Bases teóricas 14
2.2.1. Generalidades 14
2.2.2. Importancia del cacao 16
2.2.3. La investigación y desarrollo tecnológico del cacao en el Perú 16
2.2.4. Metales pesados en el suelo 17
2.2.5. La movilidad de metales y los parámetros geoedáficos 18
2.2.6. Cadmio (Cd^{+2}) 19
2.2.7. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio 20
2.2.8. Efecto del cadmio en las plantas 21
2.2.9. Las plantas y la tolerancia al cadmio 22
2.2.10. El cadmio en la salud humana 22
2.2.11. Valores permisibles de cadmio en la salud humana. 23
2.2.12. Remediación de un suelo por metales pesados 23
2.2.13. Remediación con carbonato de calcio CaCO3 24
III. MÉTODOS 26
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio 26
3.1.1. Ubicación 26
3.1.2. Descripción 26
3.2. Identificación y descripción de material experimental 27
3.2.1. Material genético 27
3.2.2. Material orgánico 27
3.3. Procedimientos 27
3.3.1. Fase de campo 27
3.3.2. Fase de vivero 28
3.3.3. Fase de laboratorio 31
3.4. Variables 32
3.5. Población y muestra 33
3.5.1. Población 33

3.5.2. Muestra 33
3.6. Tratamientos 33
3.7. Recolección de datos 35
3.7.1. Fuentes de información 35
3.7.2. Unidad experimental 35
3.7.3. Unidad de medición 35
3.7.4. Tipo de muestreo 35
3.7.5. Técnicas para la recolección de datos 35
3.8. Procesamiento de datos 36
3.8.1. Diseño estadístico 36
3.8.2. Modelo matemático 36
3.8.3. Análisis de estadística 36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 37
V. CONCLUSIONES 46
VI. RECOMENDACIÓN 47
VII. BIBLIOGRAFÍA 48
VIII. ANEXOS 55

LISTA DE CUADROS

En el texto **Pg.**

1. Niveles máximos de cadmio en productos derivados del cacao. 23
2. Registro meteorológico durante la etapa de vivero del experimento. 2017 26
3. Resultados del análisis físico químico de sustrato. 29
4. Variables del estudio. 32
5. Promedios del contenido de cadmio Cd^{+2} ($mg.kg^{-1}$) en raíces de plantones de cacao y comportamiento del cadmio por efecto de la aplicación de carbonato de calcio 37
6. Promedio del contenido de cadmio^{+2} Cd ($mg.kg^{-1}$) en tallos de plantones de cacao y el comportamiento del cadmio al finalizar el estudio 40
7. Promedio del contenido de cadmio Cd^{+2} ($mg.kg^{-1}$) en la hoja de plantones de cacao y el comportamiento del cadmio al finalizar el estudio 42

En el anexo **Pg.**

8. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao, a los 60 días de germinación. 55
9. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento. 55
10. Valores promedio con intervalos de confianza para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento. 55
11. Prueba de verificación de la varianza. 55
12. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao, a los 90 días de germinación. 56
13. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento. 56
14. Valores promedio con intervalos de confianza para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento. 56
15. Prueba de verificación de la varianza. 56
16. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao, a los 120 días de germinación. 57
17. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento. 57
18. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en la raíz del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento. 57
19. Prueba de verificación de la varianza. 57
20. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao, a los 60 días de germinación. 58

21. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento. 58
22. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento. 58
23. Prueba de verificación de la varianza..... 59
24. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao, a los 90 días de germinación..... 59
25. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento. 59
26. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento. 59
27. Prueba de verificación de la varianza..... 60
28. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao, a los 120 días de germinación..... 60
29. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento..... 60
30. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en el tallo del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento..... 60
31. Prueba de verificación de la varianza..... 61
32. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao, a los 60 días de germinación..... 61
33. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento. 61
34. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento..... 61
35. Prueba de verificación de la varianza..... 62
36. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao, a los 90 días de germinación..... 62
37. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento. 62
38. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento..... 63
39. Prueba de verificación de la varianza..... 63
40. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao, a los 120 días de germinación..... 63
41. Resumen estadístico para el contenido de cadmio ($mg.kg^{-1}$) en las hojas del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento. 63

42. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (mg.kg^{-1}) en las hojas del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.... 64
43. Prueba de verificación de la varianza..... 64

LISTA DE FIGURAS

En el texto **Pg.**

1. Movilidad de los metales según su concentración y el pH del suelo. 19
2. Contribución relativa de las diferentes fuentes de cadmio..... 20
3. Mecanismos de ingreso, secuestro y translocación del Cd en raíces..... 21
4.distribución de los tratamientos y unidades experimentales en el vivero..... 34
5.disposición y dimensión de la cama de vivero..... 34
6. Contenido de cadmio cd^{+2} ($mg.Kg^{-1}$) en la raíz a los 60, 90 y 120 días después de la germinación..... 38
7. Contenido de cadmio cd^{+2} ($mg.Kg^{-1}$) en el tallo a los 60, 90 y 120 días después de la germinación..... 41
8. Contenido de cadmio cd^{+2} ($mg.Kg^{-1}$) en la hoja a los 60, 90 y 120 días después de la germinación..... 43
9. Contenido de cadmio (Cd^{+2}) en los órganos de cacao ccn-51 sobre los niveles permisible de cadmio según la unión europea..... 45

En el anexo **Pg.**

10. Flujograma del protocolo de preparación de muestras..... 65
11. Contenido de cadmio en análisis de suelo. 66
12. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 60 y 90 días después de la germinación..... 67
13. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 60 y 90 días después de la germinación..... 68
14. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 120 días después de la germinación. 69
15. Colección de la muestra orgánica. 70
16. Mezcla de la muestra orgánica para sustrato..... 70
17.incorporación de carbonato de calcio $caco_{3.}$ 71
18. Llenado de bolsa con el sustrato preparado..... 71
19. Acondicionamiento de bolsas por tratamiento y repetición..... 72
20. a) lavado de las semillas y b) tratamiento pregerminativo de las semillas de cacao *Theobroma cacao L.*..... 72
21. Siembra de semillas de cacao por tratamiento y repetición..... 73
22. Evaluación de las variables en estudio. 73

23. Extracción de plantón de cacao theobroma cacao l. 74
24. Mediciones de los órganos de la planta a) tallo, b) raíz y c) hoja. 74
25. Mapa de ubicación geográfica. 75

RESUMEN

El cacao peruano fue catalogado como un cacao de calidad gracias a su sabor y aroma. En el año 2023, se logró una producción de 165 mil toneladas de cacao en grano, debido a las 198 mil hectáreas sembradas en territorio peruano. En la actualidad, el Perú está ubicado en el octavo país productor y exportador en América latina. El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar la dosis remediadora del carbonato de calcio ($CaCO_3$) para reducir la absorción de cadmio en platones de (Cacao) *Theobroma cacao L.* a nivel de vivero, ubicado en el Distrito de Yarinacocha Provincia de Coronel Portillo departamento de Ucayali. Para este estudio se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos T_0=0kg/Ha; T_1=600kgHa; T_2=800kg/Ha; T_3=1000kg/Ha dosis de carbonato de calcio ($CaCO_3$) y tres repeticiones en un sustrato contaminado por cadmio (Cd). Las evaluaciones se realizaron en tres órganos de la planta raíz, tallo y hoja, en tres momentos (60, 90 y 120 días después de la germinación). Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas para todos los tratamientos. Sin embargo, numéricamente se registró que el T_3=1000kg/Ha de dosis de carbonato de calcio ($CaCO_3$), presento los valores más bajos en cuanto a reducción del Cd durante el estudio. Se concluye que a medida que se incrementa la concentración de carbonato de calcio ($CaCO_3$) los niveles de cadmio (Cd) en los órganos de la planta disminuyen bajo condiciones de vivero.

Palabras claves: Cadmio, cacao, absorción, carbonato de calcio, vivero.

ABSTRAC

Peruvian cocoa was classified as a quality cocoa thanks to its flavor and aroma. In 2023, production of 165 thousand tons of cocoa beans was achieved, due to the 198 thousand hectares planted in Peruvian territory. Peru is currently the second largest cocoa producer and exporter in Latin America. The present work was carried out with the objective of determining the remedial dose of calcium carbonate ($CaCO_3$) to reduce cadmium absorption in seedlings of (Cacao) Theobroma cacao L. at nursery level, located in the District of Yarinacocha Province of Coronel Portillo Department of Ucayali. A Completely Randomized Design (CRD) was used for this study, with four treatments T_0=0kg/Ha; T_1=600kg/Ha; T_2=800kg/Ha; T_3=1000kg/Ha dose of calcium carbonate ($CaCO_3$) and three replications in a substrate contaminated by cadmium (Cd). The evaluations were carried out on three plant organs root, stem and leaf, at three times (60, 90 and 120 days after germination). The results showed no significant statistical differences for all treatments. However, it was recorded that T_3=1000kg/Ha of calcium carbonate ($CaCO_3$) dose, presented the lowest values in terms of Cd reduction during the study. It is concluded that as the concentration of calcium carbonate ($CaCO_3$) increases, the levels of cadmium (Cd) in the plant organs decrease under nursery conditions.
Keywords: Cadmium, cocoa, absorption, calcium carbonate, nursery.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) Se trata de un alimento enriquecido con minerales, vitaminas y fibra, que brinda diversos beneficios. Además, posee beneficios tanto nutricionales como terapéuticos, los cuales se utilizan en la creación de una variedad de productos (Tan et al., 2021; Zimmermann y Ellinger. 2020; MINAGRI 2016). Las diversas bondades de esta planta, la hacen atractiva para su instalación, producción y consumo.

De tal manera, que el Perú según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), se posiciona como el octavo productor de cacao (MINAGRI 2024; MINAGRI 2016). Y es considerado el sexto cultivo más importante a nivel nacional (MINAGRI 2018). A nivel productivo, el Perú tiene instalado más de 199 mil ha de cacao distribuida en 16 regiones, 57 provincias y 259 distritos. El 2023, se produjeron 165.8 mil toneladas de cacao en grano, con un valor bruto de producción de 836.3 millones de soles, contribuyendo con el 3,9 % del Valor Bruto de la Producción Agrícola (SIEA 2024; MINAGRI 2018).

A nivel nacional, el 70.3% de los productores de cacao reportan una disminución en la productividad de sus tierras en comparación con los últimos 10 años. De estos, el 61.7% señala que la sobreexplotación del suelo es su principal problema y a esto se suma la gran problemática de la acumulación de los metales pesados en las plantas de cacao (MINAGRI 2016). Existe una gran inquietud en toda la cadena de comercio del cacao en todo el mundo, desde los productores, exportadores, importadores y consumidores, debido a la presencia de cadmio en las semillas de cacao y su distribución directa al chocolate destinado al consumo humano. Este metal pesado se acumula en el organismo, es tóxico, tiene un carácter acumulativo de alta permanencia y se moviliza a través del agua y el aire, siendo responsable de diversas enfermedades (Wong 2017). El cadmio, como metal pesado, pueden encontrarse de forma natural en el suelo o por contaminación antropogénica., desde donde pueden ser absorbidos por las plantas y, a través de ellas, consumidos por los seres humanos. (Prieto *et al.* 2009).

Por consecuencia todo producto derivado del cacao debe cumplir las exigencias según el Reglamento (UE) 2023/915 (25.04.2023), el cual acota que la ingesta tolerable de cadmio entre los productos derivados del cacao se menciona: en el chocolate con leche que contiene menos del 30% de materia seca de cacao, el límite es de 0.10 mg/kg. Para el chocolate con menos del 50% de materia seca de cacao, el límite es de 0.30 mg/kg. En el caso del chocolate con leche con al menos un 30% de materia seca de cacao, el límite es de 0.30 mg/kg. Para el chocolate con al menos un 50% de materia seca de cacao, el límite es de

0.80 mg/kg. Finalmente, Para la venta de cacao en polvo al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado. (chocolate para beber), se aplican estos límites de 0.60 mg kg^{-1}, el cual está vigente desde el año 2023.

Una alternativa de solución es el encalado, técnica de remediación que consiste en la aplicación de sales básicas al suelo como; Los carbonatos, óxidos y silicatos de Ca2+ y Mg2+ son habituales, siendo la dolomita y la cal las principales fuentes utilizadas, corrigiendo los niveles de pH y disminuyendo la capacidad de absorción de cadmio por las plantas (Espinoza 1999). Debido a ello, se generó esta investigación con el objetivo de determinar la dosis remediadora del carbonato de calcio ($CaCO_3$)**,** para reducir la absorción de cadmio en plantas de (cacao) *Theobroma cacao L.*

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Plúa (2024) realizó un trabajo con finalidad de conocer la variación en la biodisponibilidad y disponibilidad de Cd por efecto de la aplicación de enmiendas en suelos cacaoteros, reporta que el tratamiento con carbonato de calcio registró menores valores de concentración y contenido de cadmio en la parte aérea y radicular de la planta indicadora de arroz, disminuyendo hasta el 50% en relación al testigo.

FONTAGRO (2023) trabajó en los países de Ecuador, Colombia y Costa Rica, con la finalidad de estudiar las medidas de mitigación para disminuir el cadmio en cacao, reportando que al utilizar carbonato de calcio como enmienda disminuyo significativamente ($P<0.05$) la presencia de cadmio en la planta a los 18 meses de evaluación.

Fernández (2022) en una investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto fisiológico de la absorción de cadmio (Cd2+) en diferentes variedades de "cacao"*Theobroma cacao* L, a nivel de vivero, los resultados indican que la mayor acumulación del metal pesado se encuentra en la parte aérea del cacao.

Rosales (2022) planteó una investigación con el objetivo de evaluar mensualmente el efecto de tres enmiendas calcáreas mediante análisis físico-químico y absorción atómica del suelo en la reducción de cadmio en los suelos con cultivo de "cacao" *Theobroma cacao* L, se aplicaron 5,545 g de cal, 9,540 g de yeso y 10,217 g de dolomita por planta en las dosis utilizadas más el testigo, encontrando que a partir de 0.96 $mg.kg^{-1}$ de Cd, Tras 90 días de evaluación, se reportaron 0,52; 0,37; 0,41 y 0,32 mg.kg-1 de Cd en los tratamientos de control, yeso, cal y dolomita, respectivamente.

Calva y Pinedo (2021) evaluaron el efecto de enmiendas aplicadas a plántulas de cacao en invernadero, contaminaron el suelo con 50 mg/kg de cadmio seguidamente, aplicaron carbón vegetal y carbonato de calcio como tratamientos, reportaron que la aplicación de carbonato de calcio disminuyó la movilidad de Cd hacia las plantas, así mismo, encontraron que la combinación carbón vegetal más carbonato de calcio permitió la no presencia de cadmio en las plántulas en estudio.

Correa (2018) estableció el propósito de evaluar el impacto de Se utilizan enmiendas cálcicas (dolomita e hidróxido de calcio) también enmiendas orgánicas (guano de isla,

gallinaza y compost) en la absorción de cadmio en plantones de cacao. Encontrando que la gallinaza presentó diferencias significativas con respecto al testigo en la reducción del contenido de cadmio en un 81.48% en los órganos de tallo, hoja y raíces.

Asimismo, Revoredo (2018) desarrolló una investigación con la finalidad de evaluar Se pueden detectar tres cepas de Streptomyces: las cepas AB5 y X de Streptomyces variabilis y la cepa C2 de Streptomyces sp. En las plantas de "cacao" Theobroma cacao L, se puede apreciar que la cepa C2 tiene un potencial biorremediador significativo, disminuyendo la absorción de cadmio en un 76.47% con un tratamiento de 100 ppm (p=0.046) y en un 31.51% con concentraciones de 200 ppm (p=0.0059)

Además, Chupillon (2017) llevo a cabo un experimento con el propósito de Identificar genotipos de “cacao” *Theobroma cacao L*, adecuados para la producción de plantones con baja absorción de cadmio y plomo. Sus resultados reflejaron que el contenido de cadmio y plomo no intervino en el desarrollo de altura (cm), diámetro (mm), número de hojas, área foliar (cm2) y radicular (cm2), materia seca de la raíz (g) y parte aérea (g). sin embargo, presenta significancia en la absorción de estos elementos sobre los genotipos.

Por su lado, Wong (2017) realizó un estudio en la cual el objetivo fue evaluar los niveles de cadmio en el suelo de una pequeña parcela de cultivo de cacao tipo CCN-51, ubicada en el Recinto Río Milagro, Cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas. Los resultados mostraron como sus niveles de cadmio estaban dentro de los límites permitidos, variando entre 0.2 y 0.4 partes por millón (ppm), con un máximo de 0.5 ppm, cumpliendo así con la normativa ambiental vigente según el Acuerdo Ministerial - La norma de calidad ambiental del trayecto del suelo y los criterios de prevención para los suelos contaminados.

La investigación de Llactas (2016) cuyo objetivo fue evaluar el impacto de la dolomita en el contenido de cadmio en las almendras de cacao. Encontrándose que todos los tratamientos en evaluación presentaron significancia. Sin embargo, las mejores dosis de dolomita con mayor reducción de cadmio en la almendra fueron el tratamiento T2 (1000 g de caldolomita) y T4 (2000 g de caldolomita) de 0.980 ppm a 0.542 y 0.487 ppm de cadmio respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades

a) Origen del cacao (*Theobroma cacao L.*)

Tenemos que el cacao es un arbusto nativo del bosque húmedo tropical de la región amazónica en el norte de América del Sur. Desde allí, se dispersó naturalmente por el continente y, con la ayuda del ser humano, se extendió a otras regiones tropicales del mundo. (Reátegui 2011).

b) Taxonomía del cacao

Reátegui (2011) describe detalladamente la taxonomía botánica del cacao.

Reino : *Plantae*
Subreino : *Tracheobionta*
División : *Magnoliophyta*
Clase : Magnoliopsida
Subclase : *Dilleniidae*
Orden : *Malvales*
Familia : *Sterculiaceae*
Subfamilia : *Byttnerioideae*
Género : Theobroma
Especie : cacao L.

c) Descripción botánica

Isla y Andrade (2009) describen de forma clara las características morfológicas de la planta a continuación:

Planta: Es un árbol de tamaño mediano, que generalmente mide entre 5 y 8 metros, aunque puede llegar a alcanzar 20 metros aproximadamente cuando crece en ambiente natural bajo sombra intensa. Su corona es redondeada y con un diámetro de 7 a 9 metros.

Sistema radicular: La raíz de la planta principal está pivotante y dispone de diversas secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 centímetros con relación al suelo.

Hojas: Totalmente simples, enteras y de color verde con diversas opciones que incluyen café claro, morado, rojizo o verde pálido, y con un pecíolo prolongado.

Flores: Las flores son pequeñas y, al igual que los frutos, se encuentran en racimos pequeños sobre el tejido maduro del tronco y las ramas de más de un año, cerca de los lugares en los que se hallaron hojas anteriormente.

Fruto: El tamaño, el color y las formas son diversas, aunque generalmente se caracteriza por una forma de lana, con 30 cm de largo y 10 cm de diámetro.

Semilla: Al igual que los frutos, las semillas presentan diversas formas, variando entre elipsoides, ovoides y amigdaloides (similares a almendras), con secciones redondeadas y comprimidas de manera irregular.

2.2.2. Importancia del cacao

En América, el cacao es cultivado desde México hasta Brasil; siendo este último el país con más superficie instalada, representado el 40% de total de la región. Otros países con participación en la siembra de cacao según la FAO (2018), los porcentajes de producción son los siguientes: Ecuador con un 24%, Colombia y República Dominicana con un 9% cada uno, Perú con un 6% y Venezuela con un 4%. Los países de Colombia y Perú han incrementado sus áreas en más del 100% desde el 2006 hasta la 2017.

En América; Brasil y Ecuador son los principales productores: 235 y 138 mil toneladas, con respecto a los países de África ya que juntos obtienen alrededor de 2, 752 mil toneladas por año. Sin embargo, en el 2018 Perú alcanzo producciones de 120 mil toneladas después del Ecuador (INIAP 2019).

En América Latina, la mayor parte del cacao se exporta como materia prima (almendras) para la producción de chocolates. En cuanto a esta variable Ecuador ocupada en primer lugar (621, 970) seguido por Perú (201, 569) y Colombia (31, 580). Brasil lidera la exportación de cacao procesado (pasta, torta, manteca y polvo de cacao) con 295,231 unidades, seguido por Ecuador con 103,903 unidades, Perú con 76,928 unidades y Colombia con 34,286 unidades. Los datos evidencian que Ecuador es el país con más representatividad económica en la comercialización de cacao (FAO 2018).

2.2.3. La investigación y desarrollo tecnológico del cacao en el Perú

En Perú, se han llevado a cabo esfuerzos para promover las actividades de recolección y caracterización del germoplasma, así como las tareas de pre-mejoramiento y

mejoramiento genético, con el propósito de identificar material genético superior con características de alta calidad. (INIAP 2019).

Del mismo modo INIAP (2019) Se reportaron análisis de metales pesados en tres regiones del Perú: Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca, Amazonas), Zona Centro (Huánuco, San Martín y Junín) y Zona Sur (Cuzco). Los metales pesados encontrados en los suelos muestreados estaban por debajo de los niveles considerados fitotóxicos. Se encontraron correlaciones positivas entre el pH y la presencia de cobre, zinc y cadmio en el suelo.

2.2.4. Metales pesados en el suelo

Los metales pesados en los suelos pueden surgir tanto geogénicos como antropogénicos. Los primeros dependen en gran medida de la geodisponibilidad. (Plumlee 1994). En consecuencia, los metales pesados geodisponibles proceden de la roca madre hasta los terrenos después de ser liberados por meteorización, y forman, junto con otros procedentes de emisiones volcánicas y lixiviados de mineralización, los denominados geogénicos. La liberación de cationes de una roca por meteorización está sujeta a diversos factores, como clima, topografía, capacidad de drenaje de la roca (permeabilidad), tiempo, y en particular la actividad biológica. (Galán y Romero 2008).

La contribución de los elementos de las rocas al suelo a través de la geodisponibilidad es insignificante en comparación con la derivada de las actividades antropogénicas. Galán y Romero (2008) denotan las principales fuentes antropogénicas de metales pesados en suelos que pueden ser:

Las actividades agrícolas, incluyen el riego, se recomienda utilizar fertilizantes inorgánicos, pesticidas, estiércol, enmiendas calizas., especialmente, lodos residuales de depuradoras.

Generación de energía eléctrica: la combustión de combustible es una de las principales fuentes de deposición de metales en el suelo. Las centrales térmicas utilizadas por petróleo pueden ser fuentes de plomo. (Pb), níquel (Ni) y vanadio (V).

Actividades industriales: las fábricas de hierro y acero son las principales industrias contaminantes, emitiendo metales asociados con las menas de hierro (Fe) y níquel (Ni). La producción de baterías genera cantidades significativas de plomo (Pb). Las industrias

químicas, farmacéuticas, de pigmentos y tintes, y de curtido de pieles, entre otras, producen diversos tipos de contaminantes. En general, las áreas altamente industrializadas contienen arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), hierro (Fe), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Residuos domésticos: en torno al 10% de los residuos se encuentran compuestos por metales. Su presencia puede afectar las aguas subterráneas, mientras que la exploración puede eliminar metales volátiles. que contaminan la atmósfera y, en consecuencia, los suelos. Además, los vertederos no controlados son una fuente significativa de contaminantes para el suelo y las aguas superficiales.

2.2.5. La movilidad de metales y los parámetros geoedáficos

La velocidad de un metal no solo se ajusta a su especiación química, sino también a diversos parámetros del suelo, tales como el pH, la materia orgánica, los carbonatos y los minerales de arcilla. Por tanto, no todos los cationes intercambiables están igualmente disponibles; Su disponibilidad depende del mineral(es) que forman parte del complejo de intercambio.

Los parámetros geoedáficos son fundamentales para evaluar la sensibilidad de los suelos frente a la agresión de los contaminantes; en particular:

a) **pH**. En su mayoría de los metales pasan a ser disponibles en condiciones de pH ácido (ver figura 1) debido a su menor adsorción, con la excepción de As, Mo, Se y Cr, que son más móviles en pH alcalino (Galán y Romero 2008).

b) **Textura.** Las arcillas tienen una mayor capacidad para retener metales mediante adsorción o mediante complejos de intercambio mineral arcilloso. En contraste, los suelos arenosos carecen de esta capacidad de fijación, lo que puede llevar a la contaminación del nivel freático (Galán y Romero 2008).

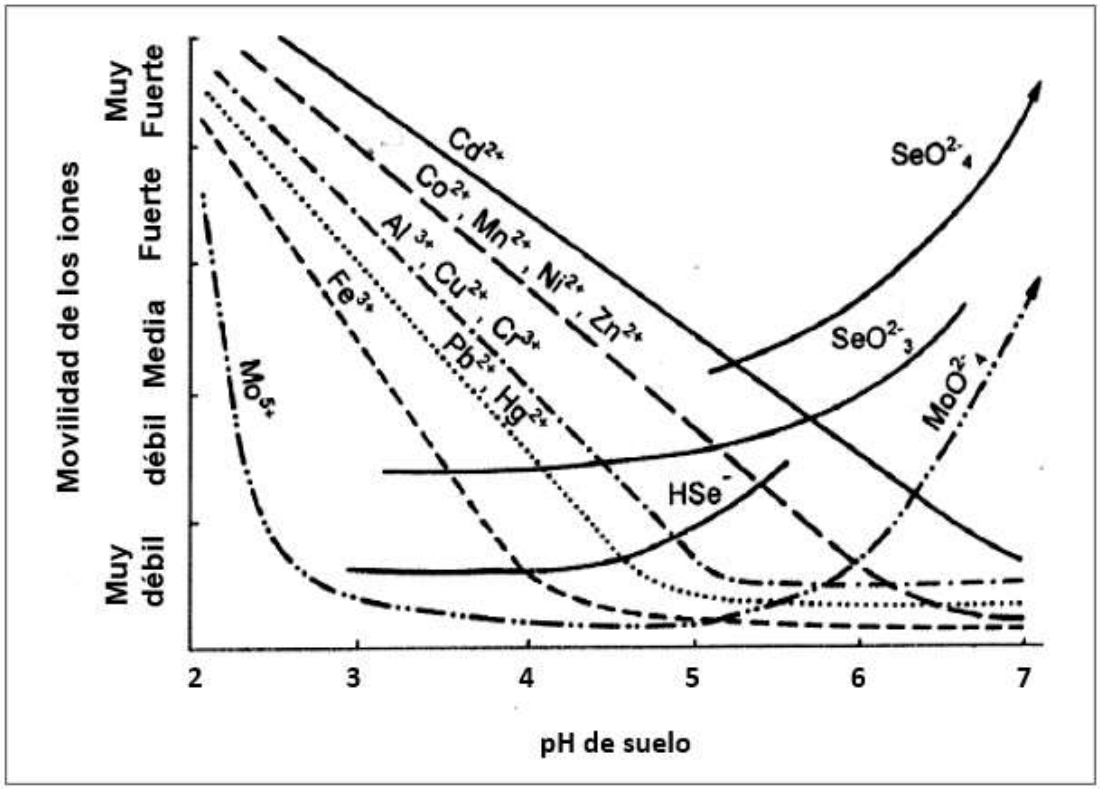
c) **Mineralogía de arcillas.** Cada mineral arcilloso tiene su propia superficie y valor de compensación eléctrica. Cuanto mayor sea la superficie activa del filosilicato, mayor será su capacidad de adsorción de metales. (Galán y Romero 2008).

d) Materia orgánica. Los metales reaccionan formando complejos de intercambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte como para estabilizarlos, como en el caso del cobre (Cu), o formar quelatos muy estables, como ocurre con el plomo (Pb) y el

zinc (Zn). En muchos casos, los complejos organometálicos se forman y aumentan la solubilidad, disponibilidad y dispersión de los metales porque pueden ser descompuestos por los organismos del suelo. Esto conduce a una toxicidad persistente. (Galán y Romero 2008).

e) Capacidad de cambio. La trascendencia de intercambio catiónico depende del don nadie de minerales de arcilla, de la clase orgánica, de la valía y de la radiodifusión iónica hidratado del metal. Cuanto máximo es el bombeo y pequeño la valía, salvo frecuentemente son retenidos (Galán y Romero 2008).

g) Carbonatos. La presencia de carbonatos asegura la mantención de altos niveles de pH, lo que favorece la precipitación de metales pesados. El cadmio (Cd) y otros metales tienden a ser adsorbidos por los carbonatos (Galán y Romero 2008).



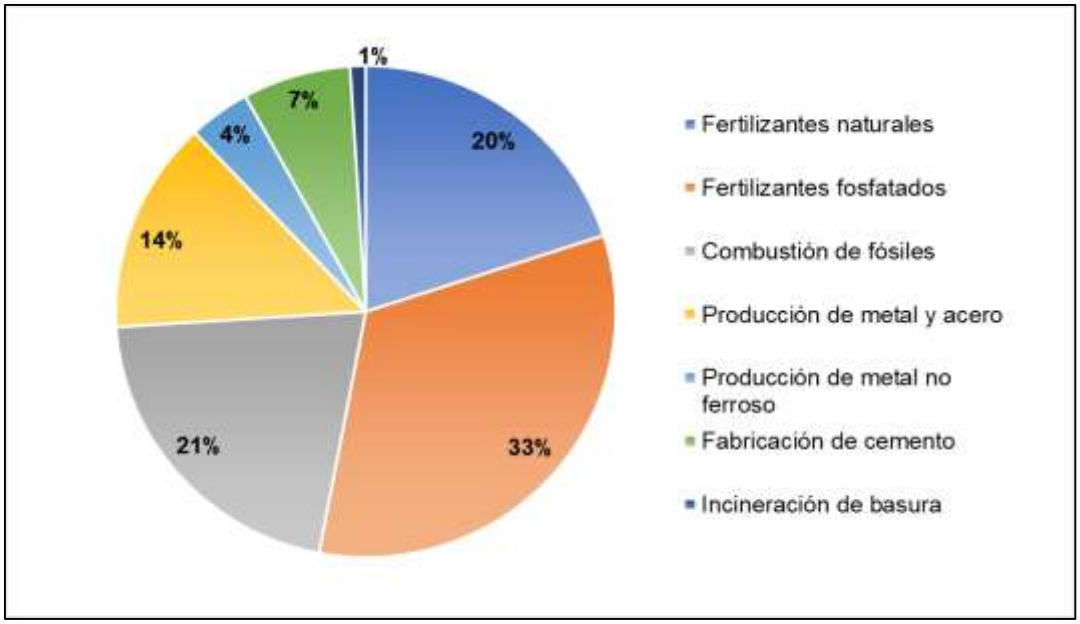
Fuente: Shuman 1991.

Figura 1. Movilidad de los metales según su concentración y el pH del suelo.

2.2.6. Cadmio (Cd^{+2})

El cadmio es un elemento raro y no esencial en la corteza terrestre que puede ser tóxico para todos los organismos vivos. incluso a bajas concentraciones. La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado debido al incremento de la actividad industrial desde finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando progresivamente a diversos

ecosistemas, la Figura 2, muestra el porcentaje de aporte de cadmio por diferentes fuentes (Pinto et al. 2004).



Fuente: Rodríguez et al. 2008

Figura 2. Contribución relativa de las diferentes fuentes de cadmio.

2.2.7. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio

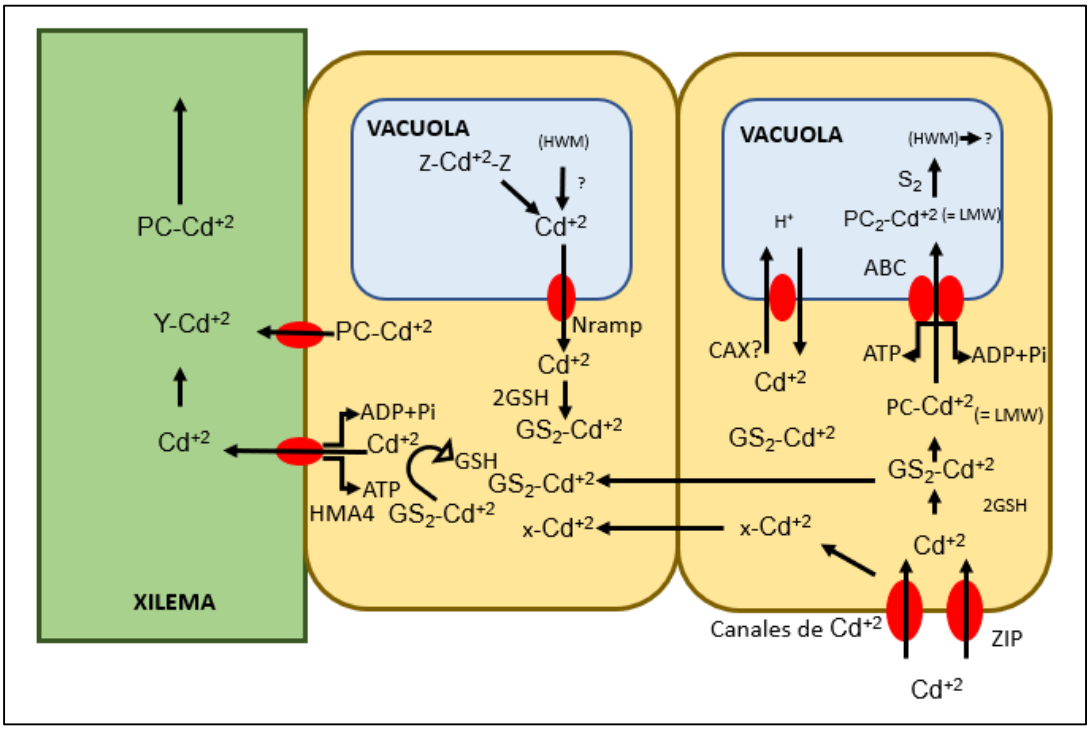
Dado que el cadmio es un metal no esencial, se asume que no existen mecanismos específicos para su entrada en las células. Entre las proteínas que facilitan la entrada de cadmio se encuentran el transportador específico de calcio LCT1 (Clemens et al., 1998) y la proteína IRT1, que pertenece al grupo de transportadores de zinc y hierro (ZIP) (Guerinot, 2000). Otra familia relacionada de transportadores es Nramp, ubicada en la membrana vacuolar, que probablemente desempeña un papel en la movilización del metal más que en la entrada a la raíz. (Thomine et al. 2003).

Una vez dentro de las células, el cadmio puede combinarse con ligandos de azufre como el glutatión (GSH) o las fitoquelatinas (PC), así como con ácidos orgánicos como el citrato. (Clemens, 2006). Otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína llamadas metalotioneínas (MT). De este modo, los complejos de cadmio-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células (Shah y Nongkynrh 2007).

Dentro de las plantas, el cadmio se acumula principalmente en las raíces, donde es secuestrado en las vacuolas de las células. Se refiere a una reducida fracción a la parte

aérea de la planta, donde se encuentra en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas. (Chan y Hale, 2004).

Los transportadores de cationes CAX, que se encuentran involucrados en el transporte de calcio a la vacuola, también pueden transportar otros materiales como el cadmio. (Park et al., 2005). Una vez en la raíz, el cadmio puede moverse al xilema (ver Figura 3) Mediante el apoplasto y/o el simplasto, se forman complejos. (Clemens et al. 2002).



Fuente: Clemens 2006

Figura 3. Mecanismos de ingreso, secuestro y translocación del Cd en raíces.

2.2.8. Efecto del cadmio en las plantas

Los efectos tóxicos del cadmio en las plantas, han sido explorados con gran detalle; a pesar de ello, los mecanismos de su tratamiento se ignoran a largo plazo. En general, el Cd interfiere en la introducción, transporte y administración de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y el agua, lo cual genera desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. (Rodríguez et al. 2008). El Cd también disminuye la absorción de nitratos y el transportamiento de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad nitrato reductasa en los tallos. (Gouia et al. 2000).

Las plantas que se encontran en terrenos contaminados con cadmio experimentan cambios en la apertura estomática, la fotosíntesis y la respiración (Sandalio *et*

al., 2001). Una de las patologías más habituales de la patología por cadmio es la carcinoma cerebral, debido a una deficiencia de hierro (Benavides et al., 2005), fosfatos o la disminución del transporte de manganeso (Mn) (Goldbol y Hutterman, 1985). El ejercicio con cadmio disminuye la actividad de la ATPasa en la membrana plasmática. (Astolfi *et al.,* 2005), altera el funcionamiento de la membrana plasmática y provoca desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, impidiendo la síntesis de clorofila y disminuyendo la actividad de las enzimas involucradas en la fijación de CO_2 (Rodríguez et al. 2008).

2.2.9. Las plantas y la tolerancia al cadmio

En términos generales, la capacidad de tolerancia a los metales se debe a una disminución en el transporte de estos hacia el interior de la célula y/o a una mayor habilidad para capturarlos y almacenarlos (Rodríguez et al. 2008). La raíz actúa como una de las principales defensas al inmovilizar el cadmio (Cd) mediante las pectinas de la pared celular. Asimismo, los nutrientes extracelulares, como el mucílago y la calosa, también pueden contribuir a la inmovilización de este metal (Benavides et al. 2005).

Se pueden acumular metales en los tricomas de la superficie de las hojas como un sistema de inmovilización y protección celular (Salt et al. 1995). Otra técnica implica la disminución del transporte o la disminución de la expulsión del cadmio (Cd) a través de los transportadores de cationes en la membrana plasmática. (Thomine et al. 2000). Una vez que se encuentran en la célula, el cadmio (Cd) y otros metales pueden ser capturados por ácidos orgánicos, aminoácidos, fitoquelatinas y metalotioneínas, y posteriormente almacenados en la vacuola para evitar su enfermedad. Las fitoquelatinas son uno de los principales mecanismos de defensa contra los metales pesados. Se sintetizan a partir del glutatión y su producción se activa en presencia de metales pesados (Clemens 2006). Las plantas que sobreexpresan la enzima fitoquelatina sintasa evidencian una mayor sensibilidad al cadmio. (Cd) (Pomponi et al. 2006). Otros elementos que podrían estar relacionadas con la acumulación de cadmio son las metalotioneínas (MTs), pequeñas proteínas ricas en cisteína. No obstante, no son las principales responsables de la eliminación del cáncer (Hamer 1986).

2.2.10. El cadmio en la salud humana

La OMS (2013) La aparición y gravedad de los signos, síntomas y alteraciones en el organismo están relacionadas con la magnitud, el tiempo de exposición y la vía de entrada del metal. En los casos de presencia crónica, se pueden apreciar anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos

nerviosos (tales como cefalea, vértigo, alteraciones del sueño, sudoración, paresia y contracciones musculares involuntarias), pérdida de peso y apetito, y cáncer de próstata y pulmón. En los casos de intoxicación prolongada, se presentan neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, y a menudo pueden surgir alteraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos. En el riñón (túbulos renales), el metal puede acumularse hasta por 30 años.

2.2.11. Valores permisibles de cadmio en la salud humana.

En el año 2023, la Unión Europea modificó el reglamento 1881 del 2006, a través del Reglamento (UE) 2023/915, Estableciendo nuevos límites máximos de cadmio (Cd) en productos específicos de cacao y chocolate, según lo descrito en el anexo 01 del reglamento vigente (UE 2023) y que se pusieron en vigencia el año 2023 (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Niveles máximos de Cadmio en productos derivados del Cacao.

Categoría de alimentos	Límite máximo de cadmio mg/kg
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0,10
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30 %	0,30
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50 %	0,80
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,60

Fuente: UE 2023.

2.2.12. Remediación de un suelo por metales pesados

La remediación del suelo se realiza cuando uno o más elementos traza superan ciertos umbrales. Durante los últimos años, se han puesto en marcha diversas estrategias para eliminar suelos contaminados por metales pesados (Iskandar y Adriano 1997).

La aplicación de enmiendas en la aplicación de suelos puede fomentar la inmovilización de metales pesados mediante procedimientos como la adsorción, la precipitación, la complejación y las reacciones redox. A su vez, esto reducirá la solubilidad de los metales, disminuyendo tanto su concentración en las aguas de lavado como su biodisponibilidad mediante diversos mecanismos (Estévez 2013).

El carbonato de calcio $CaCO_3$ es una alternativa de enmienda frente a la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

2.2.13. Remediación con carbonato de calcio $CaCO_3$

El carbonato de calcio CaCO3, el componente fundamental de la piedra caliza, es una fuente de enmienda habitual para disminuir la humedad del suelo y proporcionar calcio (Ca) para la alimentación de las plantas. (IPNI 206).

El encalado es una solución efectiva para la excesiva acidez y toxicidad del suelo. Este proceso eleva el pH del suelo porque el calcio, presente en la cal (carbonato de calcio: $CaCO_3$), desplaza el aluminio y el hidrógeno de los coloides. Una vez que se soluciona el suelo, estos elementos interactúan con el carbonato para generar compuestos lixiviables que no son peligrosos para las plantas. (UE/IICA 2016).

Para controlar la acidez del suelo, se recomienda aplicar enmiendas calcáreas, que pueden estar compuestas por carbonato de calcio ($CaCO_3$) o una mezcla de carbonato de calcio y carbonato de magnesio ($CaCO_3$ x $MgCO_3$), Una vez aplicadas al suelo y en el lugar de humedad, estas enmiendas generan iones bicarbonato. (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-), estos últimos reaccionan con el Al_2^+ de los sitios de intercambio catiónico del suelo, o con los liberados de estos sitios, formando hidróxidos de aluminio ($AlOH_2$ o $AlOH_3$) que posteriormente precipitan (Hirzel 2011).

En consecuencia, el incremento del pH en el suelo debido a la aplicación de carbonato de calcio se debe a la producción de bicarbonato, mientras que la neutralización del aluminio se produce mediante la aplicación de hidróxidos (Hirzel 2011).

IPNI (2006) en efecto, la cal también es una fuente esencial de calcio (Ca) y, posiblemente, de magnesio (Mg) para la alimentación de las plantas. Algunos de los beneficios derivados de disminuir la humedad del suelo mediante el uso de cal agrícola son:

- Mayor disponibilidad de fósforo (P).
- Mejor fijación de nitrógeno (N) de las leguminosas.
- Aumenta la mineralización de N y la nitrificación.
- Mejor uso del agua, recuperación de nutrientes y el crecimiento de las plantas con un sistema radicular más saludable.

III. MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El proyecto de investigación fue ejecutado en las instalaciones de vivero perteneciente a la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia - UNIA, localizado en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo en el departamento Ucayali; cuya ubicación geográfica corresponde a las coordenadas UTM 9077400 N y 545000 E de la zona 18 en el Datum WGS84, con una altitud de 152 m.s.n.m. durante los meses de febrero a mayo del año 2017.

3.1.2. Descripción

En el Cuadro 2, se muestra los registros meteorológicos durante el estudio, El registro fue obtenido en la estación meteorológica ubicado en la Universidad Nacional de UCAYALI y reportado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Cuadro 2. Registro meteorológico durante la etapa de vivero del experimento. 2017

Variables	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Temperatura Máxima (°C)	31.1	30.8	30.9	31.4
Temperatura Promedio (°C)	27.1	27.0	27.0	27.5
Temperatura Mínima (°C)	23.0	23.0	23.1	23.5
Humedad Relativa (%)	83.8	86.4	85.0	85.8
Precipitación (mm)	6.0	9.9	2.2	7.8

3.2. Identificación y descripción de material experimental

3.2.1. Material genético

El material genético fue obtenido de plantas pertenecientes al genotipo del cultivar misceláneo cuyo nombre varietal es el *Theobroma cacao L.* CCN – 51 (Clon Castro Naranjal), Instalado en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), ubicada en el Km 12, 600. Al margen derecho de la carretera Federico Basadre, distrito Callería, provincia coronel Portillo, región Ucayali. Ubicado en las coordenadas UTM 9071534 N y 539599 E con una altitud de 168 m.s.n.m.

3.2.2. Material orgánico

Se consideró como material orgánico, a un suelo con antecedentes de contenido de cadmio (Cd) y plomo (Pb) 0.53 y 3.02 ppm respectivamente (Huamani et al. 2012). ubicado en el distrito de Irazola; provincia Padre Abad, región Ucayali; georreferenciada con las coordenadas UTM 9024478.93 N y 477281.48 E. El material orgánico fue empleado en la preparación del sustrato y posterior siembra de las semillas.

3.3. Procedimientos

El presente estudio fue dividió en fases; fase de campo (obtención de sustrato, selección de la planta madre y recolección de mazorcas), fase de vivero (preparación del sustrato, análisis de metales pesados en el sustrato, Incorporación del Carbonato de calcio, acondicionamiento de vivero, llenado y acondicionamiento de bolsas, obtención y siembra de semilla, selección, colección de muestras y manejo de vivero y fase de laboratorio (tratamiento de germinación de semillas y preparación de muestras).

3.3.1. Fase de campo

a. Obtención de sustrato

El suelo colectado para sustrato precede de un área de cuatro hectáreas, cubierto de pastizales, con antecedentes de una plantación de cacao *Theobroma cacao L* en el año 2010.

Se extrajeron muestra de suelo de 3 puntos y fueron colocadas en 3 costales de 50 kg de capacidad. Posteriormente, el suelo colectado fue trasladado a las instalaciones de vivero de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia – UNIA.

b. Selección de la planta madre

Las plantas madre, proviene de una parcela de *Theobroma cacao L*. CCN – 51, instalada en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Las características tomadas en cuenta fueron: producción y resistencia a plagas y enfermedades como moniliasis (*Moniliophtora roreri Cif*) y escoba de bruja (*Moniliophtora perniciosa*).

c. Recolección de mazorcas

La recolección de mazorcas fue realizada de forma manual, y se determinó el numero de 5 mazorcas para llevar a cabo el proceso del estudio, posterior a la recolección, las mazorcas fueron trasladadas hacia las instalaciones de vivero de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia - UNIA, para su inmediato tratamiento pregerminativo.

3.3.2. Fase de vivero

a. Preparación del sustrato

La preparación de sustrato consistió en emplear un suelo colectado de 0.3 m^3 desde el distrito de San Alejandro, el cual fue divido en 4 partes de 0.075 m^3 para la posterior incorporación de carbonato de calcio ($CaCO_3$).

b. Análisis de metales pesados en el sustrato

Del sustrato, se extrajeron dos muestras de 1 Kg correspondiente a 0.008m^3, la cual fue debidamente rotulada para ser enviadas al laboratorio de WORLD SURVEY SERVICES S.A.C., la metodología empleada para obtener el contenido de cadmio (Cd^{+2}) se encuentra descrita en el la Figura 10 del anexo.

Cuadro 3. Resultados del análisis del contenido de cadmio en el sustrato.

Descripción	Cadmio (mg/Kg)
Sustrato de suelo	< 0.03

Fuente: World Survey Services S.A.C 2018**.**

c. Incorporación del Carbonato de calcio ($CaCO_3$) en el sustrato

Después de dividir el sustrato en cuatro partes iguales, se procedió a la incorporación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) de acuerdo a la asignación por tratamiento:

- T_0 = sustrato sin incorporación de ($CaCO_3$)
- T_1 = sustrato + 22g de ($CaCO_3$) proporción a 600 kg/ha
- T_2 = sustrato + 29g de ($CaCO_3$) proporción a 800 kg/ha
- T_3 = sustrato + 36.5 g de ($CaCO_3$) proporción a 1000 kg/ha

d. Acondicionamiento de vivero

Se hizo selección de una cama perteneciente al vivero, que presentase óptimas condiciones para llevar a cabo el estudio. Acto seguido, se instaló una malla Raschel de 80% de ingreso de luz a una altura de dos metros, como también se colocó un sistema de riego por aspersión y una lámina de plástico en la base de la cama de vivero para evitar el crecimiento de malezas.

e. Llenado de bolsas

Para la siguiente labor, se utilizó bolsas de polietileno de color negro con una capacidad de 1 Kg y con dimensiones de 6” x 18” con perforación circulares en la base de la misma.

Con la finalidad de poseer bolsas en óptimas condiciones; los extremos inferiores fueron fijadas hacia el interior antes del llenado y mientras ocurría el llenado de bolsas, estas recibieron leves golpes en la base para obtener un sustrato más compacto. Se lograron llenar 144 bolsas.

f. Acondicionamiento de bolsas en vivero.

Las bolsas llenadas fueron situadas en la cama de vivero según el esquema de la distribución de tratamientos y repeticiones detallada en la Figura 4 del texto.

Se estableció un espacio para la diferenciar las unidades en estudio, correspondiente a 50 cm de ancho entre cada columna de tratamientos y 5 cm entre planta de las repeticiones. El área destinada para la distribución de los tratamientos y repeticiones correspondió a 1 m de ancho x 10 m de largo.

g. Obtención de semillas

La actividad de obtención de semillas de *Theobroma cacao L*. CCN-5, consistió en seccionar con un cuchillo las mazorcas en forma transversal, para luego extraer las semillas del interior de la misma, obteniéndose un total de 10 Kg en 5 mazorcas, reportando las dimensiones de las semillas entre 3.0 ± 2.0 mm de longitud.

h. Siembra de semillas

Después de 5 días de tratamiento pregerminativo, las semillas presentaron aparición de una radícula de color blanquecino. Inmediatamente, estas fueron trasladas al vivero para su siembra.

Ubicados en el área de estudio, se efectuó a realizar un orificio en el centro de las bolsas llenas de sustrato. Las semillas fueron colocadas de manera vertical con la radícula con dirección hacia abajo.

i. Selección y colección de muestras

Los plantones de *Theobroma cacao L* CCN-51 fueron seleccionadas aleatoriamente por tratamiento y repetición en tres momentos; 60 días después de la siembra (ddg), 90 días después de la siembra (ddg) y 120 días después de la siembra (ddg).

Estos plantones fueron seccionados en tres partes (raíz, tallo y hoja) y colocadas en una bolsa ziploc debidamente rotuladas, seguidamente se trasladaron al laboratorio de aguas de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia para su preparación y posterior envío hacia el Laboratorio.

j. Manejo de vivero

La actividad de riego estuvo asignada en dos momentos (mañana a horas 9:00 am y tarde a horas 4:00 pm) ejecutada de forma diaria durante la ejecución del estudio, la presente tarea fue excluida en los días de lluvia.

La presencia de maleza y humedad fue controlado gracias a la previa instalación de una lámina de plástico de polietileno de color azul a lo largo del área en estudio de 1 m de ancho x 10 metro de largo.

3.3.3. Fase de laboratorio

a. Tratamiento de germinación a las semillas

La limpieza de semillas de *Theobroma cacao L.* fue sometida a dos momentos, el primero consistió en el lavado con agua y aserrín, con el objeto de extraer el mucilago y el segundo, con la aplicación de detergente en polvo (2% de detergente en 100 ml de agua). Posteriormente, las semillas fueron colocados en una solución de etanol al 70% (20 - 30 seg.), se enjuagaron 4 veces más con agua desionizada estéril (Chico et al. 2012).

El proceso pregerminativo consistió en acondicionar papel filtro húmedo sobre una fuente de plástico para proseguir con la distribución de las semillas de *Theobroma cacao L.* CCN-51, de forma homogénea en la superficie; con el objetivo de mantener las semillas a una temperatura ambiente y sin ingreso de luz, se cubrió con un segundo pliego de papel filtro por un periodo de tres días.

La preparación de las mismas fue realizada en el laboratorio de agua de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia.

b. Preparación de la muestra

Para la siguiente actividad, las muestras de raíz, tallo y hoja correspondiente a cada tratamiento fueron debidamente empaquetadas, codificadas y distribuidas en una caja de cartón para ser trasladadas al laboratorio WORLD SURVEY SERVICES S.A.C en la ciudad de Lima.

El método de análisis: “nom-117-ssa1-1994 bienes y servicios. método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimento, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica”, metodología descrita en la Figura 10 del anexo.

3.4. Variables

En el Cuadro 4, se muestra la variable en estudio, considerando la definición, dimensión, unidades e instrumento de medición.

Cuadro 4. Variables del estudio.

Variables	Definición	Dimensión	Unidades	Instrumento de medición
▪ **Variable Independiente:** Dosis de carbonato de calcio	El carbonato de calcio, es el principal componente de la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas **(IPNI 2016).**	– T_1: 0 (Testigo) – T_2: 600 – T_3: 800 – T_4: 1000	– mg/Kg – mg/Kg – mg/Kg – mg/Kg	– Balanza analítica.
▪ **Variable dependiente:** Absorción de cadmio	Proceso de transporte activo que realiza la planta para introducir iones o moléculas a través de la membrana plasmática de células absorbentes (**Miñan, 2024**). La planta de cacao absorbe metales pesados del	– Cadmio en la raíz – Cadmio en el tallo – Cadmio en la hoja	– mg.Kg – mg.Kg – mg.Kg	– Espectrofotómetro. – Espectrofotómetro. – Espectrofotómetro.

	suelo y los concentra en las semillas **(HUAMANÍ *et al.*, 2012).**	

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población perteneció a las semillas de las cinco mazorcas colectadas, haciendo un total de 108 semillas.

3.5.2. Muestra

La población en estudio es conocida, por la cual todas las unidades biológicas fueron parte de la muestra. Teniendo un total de 108 plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51.

3.6. Tratamientos

a. Descripción de los tratamientos

En el Cuadro 5, se muestra la descripción de los tratamientos en estudio, incluyendo el número de plantas utilizados en cada tratamiento.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	N° de plantas/tratamiento
T_0	sustrato sin incorporación de ($CaCO_3$)	27
T_1	600 kg/ha - sustrato + 22g de ($CaCO_3$)	27
T_2	800 kg/ha - sustrato + 29g de ($CaCO_3$)	27
T_3	1000 kg/ha - sustrato + 36.5 g de ($CaCO_3$)	27

b. Distribución de los tratamientos

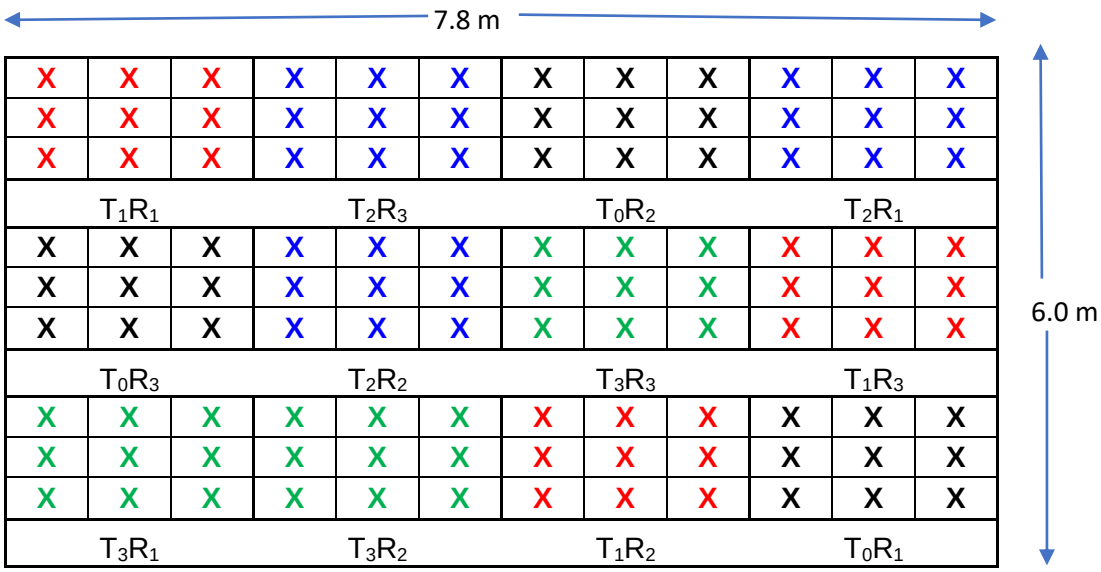
Se realizó la distribución al azar de los tratamientos en estudio asignando los plantones de *Theobroma cacao L*, CCN – 51, tal como se muestran en la Figura 4.

T_1R_1	T_2R_3	T_0R_2	T_2R_1
T_0R_3	T_2R_2	T_3R_3	T_1R_3
T_3R_1	T_3R_2	T_1R_2	T_0R_1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones en estudio.

En la Figura 5, se muestra la distribución de las unidades experimentales, la aleatorización estuvo organizada en tres filas y cuatro columnas, donde cada X indica la asignación de la unidad experimental en el tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Distribución de las unidades experimentales por tratamiento.

- **Detalles de los tratamientos y de la unidad experimental**
  - Número de unidades experimentales: 12
  - Número de plantas por unidad experimental: 9
  - Número de repeticiones: 3
  - Número de tratamientos: 4
  - Número de plantas total del experimento: 108
  - Distanciamiento entre plantas de 0.6 m

3.7. Recolección de datos

3.7.1. Fuentes de información

El presente estudio operó información primaria obtenida de los plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51, en las instalaciones de vivero de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, distrito de Yarinacocha.

3.7.2. Unidad experimental

La unidad experimental para esta investigación fueron nueve plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51.

3.7.3. Unidad de medición

La unidad de medición fue un plantón de *Theobroma cacao L*. obteniendo de ello la raíz, tallo y hoja. Las cuales fueron muestreadas en tres momentos: 60, 90 y 120 días después de la germinación.

3.7.4. Tipo de muestreo

Se optó por un muestreo probabilístico, aleatorio simple, en la cual todos los plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51, tuvieron la oportunidad de ser seleccionadas.

3.7.5. Técnicas para la recolección de datos

La medición de las variables fue por medio de la observación directa, el cual consistió en la colección de datos de las tres partes (raíz, tallo y hoja) de los plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51 que fueron extraídas en tres momentos; Momento uno (M1) correspondiente a los 60 días después de la germinación, Momento dos (M2) correspondiente a los 90 días después de la germinación y Momento 3 (M3) correspondiente a los 120 días después de la germinación.

3.8. Procesamiento de datos

3.8.1. Diseño estadístico

El experimento fue conducido mediante un diseño completo al azar (DCA) con tres tratamientos y un testigo, con tres repeticiones, haciendo en total 12 unidades experimentales y cada unidad experimental contó con nueve plantones de *Theobroma cacao L*, clon CCN-51, haciendo un total de 108 plantones.

3.8.2. Modelo matemático

El trabajo de investigación utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Cualquier observación en el i- ésimo tratamiento y j- ésimo repetición en estudio.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento en estudio.

E_{ij} = Error experimental en el i- ésimo tratamiento en estudio.

3.8.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico aplicado, correspondió al método estadístico descriptivo, haciendo cálculo de: promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad. Posteriormente los datos fueron procesados mediante el análisis de varianza de acuerdo a un diseño completo al azar (DCA), con un nivel de confianza al 95% y con el 5% de error. Al no existir significancia estadística en los tratamientos, entonces se realizó un análisis descriptivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1. Reducción de la absorción de cadmio (Cd^{+2}) en la raíz.

El análisis de varianza realizado a los datos de la variable absorción de cadmio (Cd^{+2}) por la raíz, resultaron estadísticamente no significativo (P≤ 0,05) ver cuadro 9, 13 y 17 del anexo. por consiguiente, se realizó un análisis matemático, haciendo uso de los promedios, para establecer el comportamiento del contenido de Cadmio en las diferentes dosis de carbonato de calcio $CaCO_3$ a nivel de la raíz.

En el Cuadro 6, se presentan los promedios del contenido de cadmio (Cd^{+2}) en la raíz, sobre los tratamientos durante los 60, 90 y 120 días después de la germinación. El contenido de cadmio (Cd^{+2}) en los plantones del tratamiento testigo (T_0) presentan una disminución del contenido de Cadmio en 4.1% a los 120 días. Así mismo el tratamiento uno (T_1) tuvo una disminución del contenido de Cadmio en 21.5% a los 120 días. Mientras que el tratamiento dos (T_2) disminuyo en cuanto al contenido de Cadmio en 12.9% a los 120 días. Finalmente, el tratamiento (T_3) tuvo una disminución del contenido de Cadmio en 31.7% al finalizar el experimento, tal como se puede verificar en la figura 6.

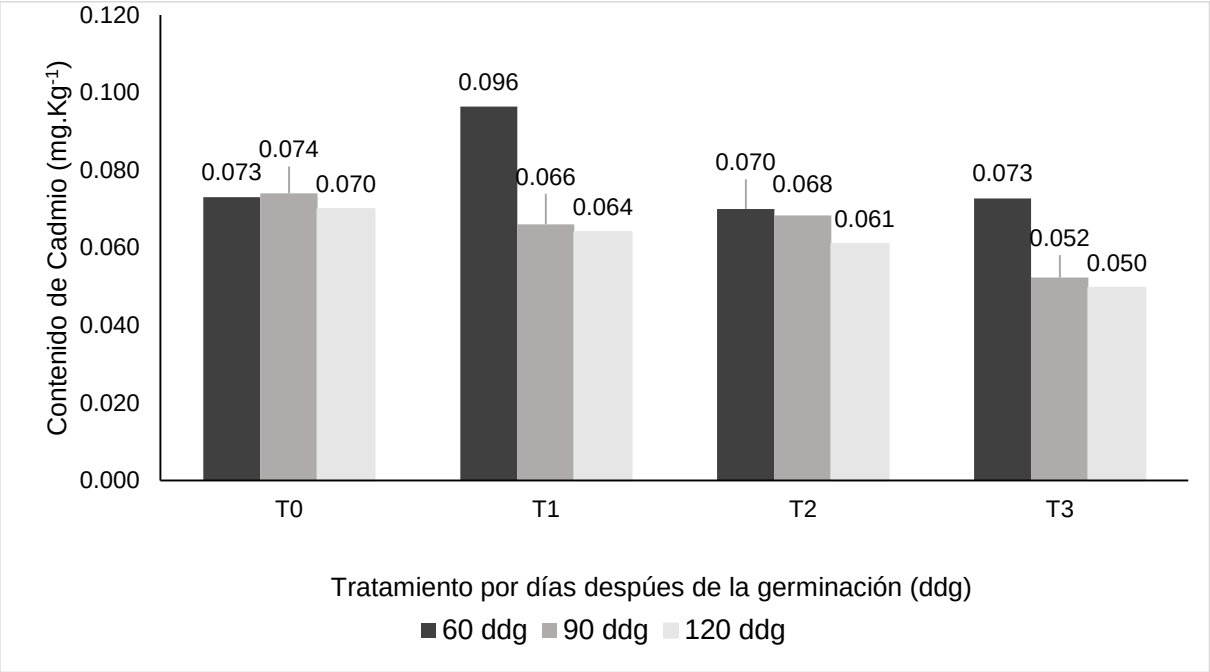
Cuadro 6. Promedios del contenido de cadmio Cd^{+2} ($mg.Kg^{-1}$) en raíces de plantones de cacao y comportamiento del cadmio por efecto de la aplicación de carbonato de calcio

Tratamientos	**Días después de la germinación ddg**			**Comportamiento del Cadmio al finalizar el estudio (%)**
	60	**90**	**120**	
T_0 = 0 kg/ha	0.073	0.074	0.070	+ 4.1
T_1 = 600 kg/ha	**0.096**	0.066	0.064	+ 21.5
T_2 = 800 kg/ha	0.070	0.068	0.061	+ 12.9
T_3= 1000 kg/ha	0.072	0.052	**0.050**	+ 31.7

(+) reducción de Cadmio, (-) incremento de Cadmio

El cadmio (Cd^{+2}) presenta una tendencia descendente desde el momento uno (M1) correspondiente a los 60 días después de la germinación, mostrando variación hasta el

momento tres (M3) asignado a los 120 días después de la germinación en el órgano raíz de los plantones de cacao.



Leyenda: T0 = 0 Kg $CaCO_3$/Ha; T1 = 600 Kg $CaCO_3$/Ha; T2 = 800 Kg $CaCO_3$/Ha; T3 = 1000 Kg $CaCO_3$/Ha.

Figura 6. Contenido de cadmio Cd^{+2} (mg/Kg) en la raíz a los 60, 90 y 120 días después de la germinación por tratamiento.

La absorción del cadmio por efecto de la incorporación de diferentes dosis de carbonato de calcio es representada en la Figura 6, observándose las variaciones entre los 60, 90 y 120 días después de la germinación. Reflejando que el tratamiento dos con la incorporación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) de 800 kg/ha la disminución de cadmio osciló desde 0.70; 0.068 y 0.061 $mg.Kg^{-1}$ en los tres momentos de evaluación, así mismo, el tratamiento tres con la incorporación de 1000 kg/ha de carbonato de calcio ($CaCO_3$) presenta también una disminución del contenido de cadmio a partir de 0.073, 0.052 y 0.050 $mg.Kg^{-1}$). Al llegar el momento tres (120 días después de la germinación), todos los tratamientos en estudio redujeron el contenido de cadmio (Cd), cabe resaltar que en el tratamiento tres las plantas de cacao resulto con disminución de contenido de cadmio (Cd^{+2}) de 0.23 $mg.Kg^{-1}$. Estos resultados presentan niveles por debajo frente a lo que Chupillon (2017) encontró en su estudio, con la aplicación de cadmio (Cd^{+2}) a cinco genotipos de cacao, los cuales son: IMC-67, POUND-12, CCN-51, EET-400 y SCA-6; para el genotipo CCN-51, reporta concentraciones de cadmio (Cd) para la raíz de 2.6 µg $planta^{-1}$; explica también que las plantas han desarrollado distintas estrategias de adaptación con el propósito de reducir los niveles de absorción de metales pesados. Sanitá di Toppi y Gabrielli (1999); respalda que los niveles de

absorción pueden deberse de acuerdo a la concentración del metal en el suelo, el tiempo de exposición y las distintas especies, variedades o genotipos implicadas.

A esto se añade que la finalidad de la aplicación de las enmiendas cálcicas en este caso carbonato de calcio ($CaCO_3$) es neutralizar el pH del suelo, siendo el pH un factor que permite una mayor o menor disponibilidad de los nutrimentos que las plantas requieren para su desarrollo (Hirzel 2011). Del mismo modo la presencia de carbonatos garantiza niveles altos de pH, es así que el cadmio (Cd^{+2}) entre otros metales pesado tienden a precipitarse y quedan absorbidos por los carbonatos (Galán y Romero 2004).

Por otro lado, Wong (2017) realiza un reporte sobre la absorción de cadmio (Cd^{+2}) en plantas de cacao CCN- 51 en los suelos de Guayaquil – Ecuador. Señalando que los suelos Inceptisoles por ser jóvenes en evolución obtienen desde 0,067 a 0,4 mg/kg de Cd^{+2} según sus muestras en estudio, de tal manera que la absorción de cadmio (Cd) en el órgano raíz es de 0.187 mg/kg. Haciendo referencia también a que existe una relación entre las concentraciones de cadmio (Cd^{+2}) de la siguiente manera (suelo > raíz). Sin embargo; la Figura 6, muestra una diferente relación ya que el cadmio (Cd^{+2}) en el suelo es de 0.03 mg/kg y en la raíz valores que osciló entre 0.050 y 0.096 mg/kg dentro los distintos momentos de muestreo por tratamiento. Esto se puede atribuir a que no se tomó en cuenta un periodo de estabilización e incubación de quince días después de la incorporación de carbonato de calcio ($CaCO_3$) para mantener la mezcla a capacidad de campo, tal como refiere Correa (2018) quien realizó un ensayo probando la aplicación de enmiendas cálcicas para determinar la absorción de cadmio en cacao, revelando que la absorción de cadmio es reducida con la incorporación de Hidróxido de sodio.

Asimismo, Aguayo (2015) indica que *Pistia stratiotes,* una planta acuífera sometida a niveles de 5 ppm de cadmio (Cd^{+2}) en un medio acuso, presento un crecimiento normal. Se coincide ya que el cacao CCN-51 en condiciones de vivero y con niveles de cadmio (Cd) en el suelo de 0.03 mg/Kg, presento un desempeño favorable en su crecimiento. De forma fisiológica el cadmio (Cd^{+2}) en el suelo es capturado por las células de la raíz para luego unificarse a la pared celular de las células epidérmicas y ser translocados por intercambio iónico al resto de la planta (Permia et al. 2008). Autores como Serrano et al. (2008) añaden que el cadmio (Cd^{+2}) al ser un metal no esencial carece de un ingreso especifico hacia la planta. Sin embargo, no solo la proteína como la IRT1 pertenecientes a la familia de transportadores de Zn y Fe, es la responsable de que cadmio (Cd^{+2}) penetre las paredes celulares de la raíz; sino también la proteína Nramp ubicado en la membrana de la vacuola por lo que se atribuye forme parte de la movilización de cadmio (Cd^{+2}).

4.1.2. Reducción de la absorción de cadmio (Cd^{+2}) en el tallo.

El análisis de varianza realizado a los datos de la variable absorción de cadmio (Cd^{+2}) en el tallo, resultaron estadísticamente no significativo ($P \leq 0,05$) ver cuadro 21, 24 y 28 del anexo. por consiguiente, se realizó un análisis matemático para establecer el comportamiento de las diferentes dosis de carbonato de calcio $CaCO_3$ en la absorción de cadmio a nivel de tallo.

En el Cuadro 7 se presenta las medias del contenido de cadmio (Cd) en el tallo, sobre los tratamientos durante los 60, 90 y 120 días después de la germinación.

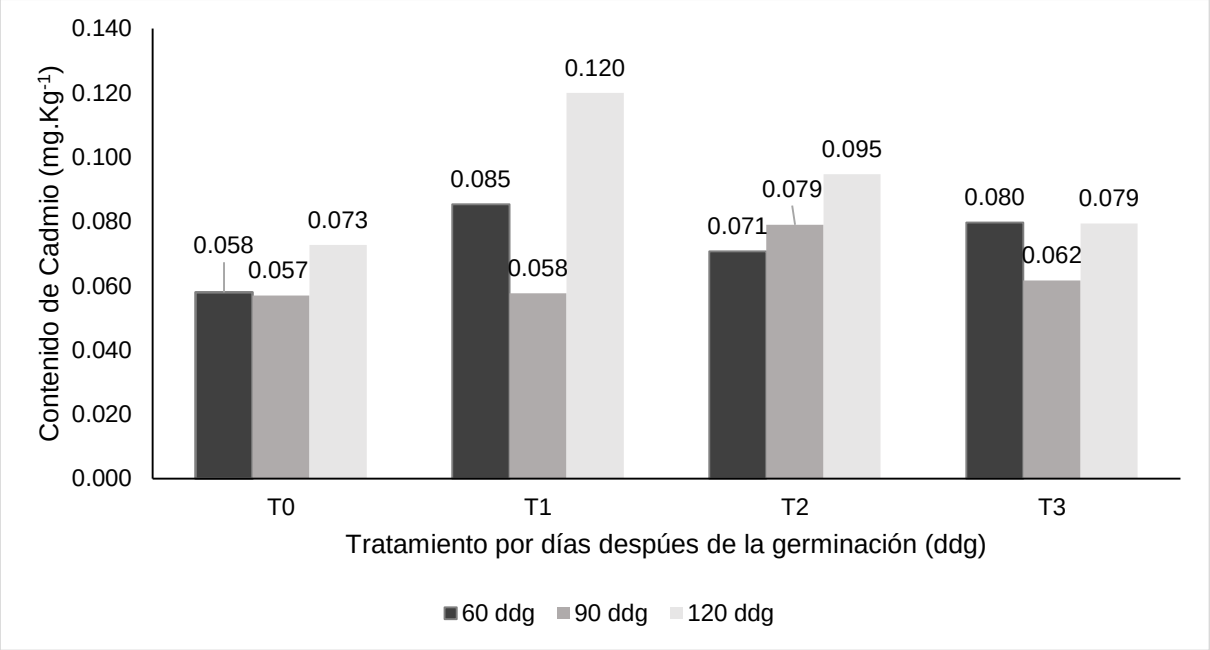
Es así que el Cuadro 7 indica que las dosis de carbonato de calcio ($CaCO_3$) influyen en el contenido de cadmio (Cd^{+2}) en el tallo de los plantones de cacao. El contenido de cadmio (Cd^{+2}) en los plantones del tratamiento testigo (T_0) presentan un incremento del contenido de Cadmio en 25.4% a los 120 días. Así mismo el tratamiento uno (T_1) tuvo un incremento del contenido de Cadmio en 40.6% a los 120 días. Mientras que el tratamiento dos (T_2) incremento en cuanto al contenido de Cadmio en 34.0% a los 120 días. Finalmente, el tratamiento (T_3) tuvo una disminución del contenido de Cadmio en 0.4% al finalizar el experimento, tal como se puede verificar en la figura 7.

Cuadro 7. Promedio del contenido de cadmio^{+2} Cd ($mg.Kg^{-1}$) en tallos de plantones de cacao y el comportamiento del Cadmio al finalizar el estudio

Tratamientos	Días después de la germinación ddg			Comportamiento del Cadmio al finalizar el estudio (%)
	60	90	120	
T_0 = 0 kg/ha	**0.058**	0.057	0.073	- 25.3
T_1 = 600 kg/ha	0.085	0.058	**0.120**	- 40.6
T_2 = 800 kg/ha	0.071	0.079	0.095	- 34.0
T_3= 1000 kg/ha	0.080	0.062	0.079	+ 0.4

(+) reducción de Cadmio, (-) incremento de Cadmio

El cadmio (Cd^{+2}) presenta una tendencia a incrementarse desde el momento uno (M1) correspondiente a los 60 días después de la germinación, mostrando variación hasta el momento tres (M3) asignado a los 120 después de la germinación en la parte del tallo de los plantones de cacao.



Leyenda: T0 = 0 Kg $CaCO_3$/Ha; T1 = 600 Kg $CaCO_3$/Ha; T2 = 800 Kg $CaCO_3$/Ha; T3 = 1000 Kg $CaCO_3$/Ha.

Figura 7. Contenido de cadmio Cd^{+2} (mg.Kg) en el tallo a los 60, 90 y 120 días después de la germinación por tratamiento.

En la Figura 7, se muestra los niveles de contenido de cadmio (Cd^{+2}) en el tallo, observándose una tendencia de aumento del contenido del metal pesado desde los 60 hasta los 120 días después de la germinación en los distintos tratamientos. Se aprecia que los tratamientos en estudio presentan valores entre 0.057 y 0.120 mg.kg a los 60, 90 y 120 días después de la germinación por tratamiento, de la misma manera la tendencia en los tratamientos sostiene un incremento de cadmio a los 120 días después de la germinación. Es notable que el tratamiento cero (0 Kg de $CaCO_3$) y el tratamiento tres (1000 Kg de $CaCO_3$) tuvieron valores de 0.073 y 0.079 mg.Kg de cadmio (Cd^{+2}) en la última evaluación (120 ddg); mientras que el tratamiento uno (600 Kg de $CaCO_3$) alcanza los 0.120 mg.Kg. Estos niveles de cadmio (Cd^{+2}) en el tallo de cacao CCN-51 puede explicarse a la transición de este metal por el xilema hacia la parte área de la planta siendo como órgano de destino las hojas. Del mismo modo Kastori (1992) en su estudio con plantas jóvenes de girasol (*Helianthus annus*) expuestos en solución nutritiva suplementada con Cd, Cu, Pb y Zn, menciona que la acumulación de metales fue especialmente en las raíces y en los tallos y que los aportes por deposición aérea pueden cambiar el orden. Kloke (1994) respalda lo encontrado, aludiendo que los órganos de una planta poseen una capacidad distinta para acumular metales. En la mayoría de plantas las raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesado. Los niveles de metales pesados decrecen en el orden donde raíces > tallos > hojas > frutos > semillas.

4.1.3. Reducción de la absorción de cadmio (Cd^{+2}) en la hoja.

El análisis de varianza realizado a los datos de la variable absorción de cadmio (Cd^{+2}) en la hoja, resultaron estadísticamente no significativo ($P \leq 0,05$) ver cuadro 32, 36, 40 en el anexo. por lo consiguiente se realizó un análisis matemático para establecer el comportamiento de las diferentes dosis de carbonato de calcio $CaCO_3$ en la absorción de cadmio a nivel de la hoja.

En el Cuadro 8 se presenta las medias del contenido de cadmio (Cd^{+2}) en la hoja, sobre los tratamientos durante los 60, 90 y 120 días después de la germinación.

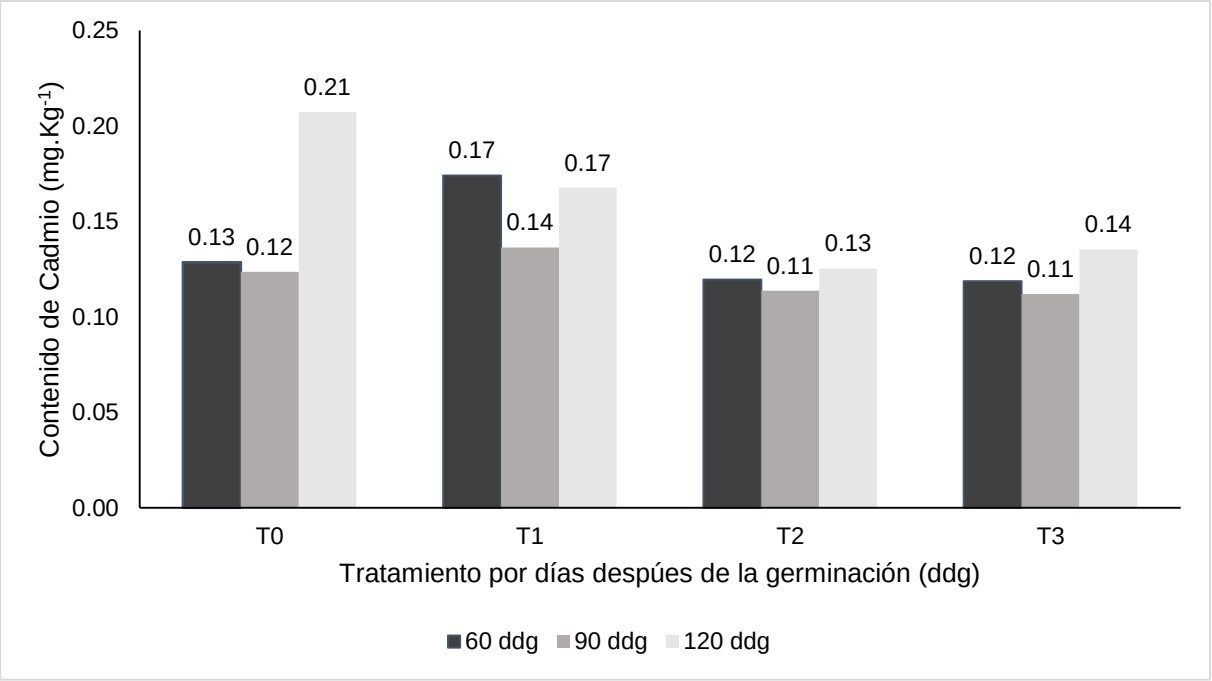
Tal como se puede observar en el Cuadro 8 el contenido de cadmio (Cd^{+2}) en los plantones del tratamiento testigo (T_0) presentan un incremento del contenido de Cadmio en 61.4% a los 120 días. Así mismo el tratamiento uno (T_1) tuvo una disminución del contenido de Cadmio en 3.6% a los 120 días. Mientras que el tratamiento dos (T_2) incremento en cuanto al contenido de Cadmio en 4.7% a los 120 días. Finalmente, el tratamiento (T_3) tuvo un incremento del contenido de Cadmio en 14.0% al finalizar el experimento, tal como se puede verificar en la Figura 8.

Cuadro 8. Promedio del contenido de cadmio Cd^{+2} (ppm) en la hoja de plantones de cacao y el comportamiento del Cadmio al finalizar el estudio

Tratamientos	Días después de la germinación			Comportamiento del Cadmio al finalizar el estudio (%)
	60	90	120	
T_0 = 0 kg/ha	0.13	0.12	0.21	- 61.1
T_1 = 600 kg/ha	0.17	0.14	0.17	+ 3.6
T_2 = 800 kg/ha	0.12	0.11	0.13	- 4.7
T_3= 1000 kg/ha	0.12	0.11	0.14	- 14.0

(+) reducción de Cadmio, (-) incremento de Cadmio

El cadmio (Cd^{+2}) presenta una tendencia ascendente desde el momento uno (M1) correspondiente a los 60 días después de la germinación, mostrando variación hasta el momento tres (M3) asignado a los 120 después de la germinación en la parte de la hoja de los plantones de cacao.



Leyenda: T0 = 0 Kg $CaCO_3$/Ha; T1 = 600 Kg $CaCO_3$/Ha; T2 = 800 Kg $CaCO_3$/Ha; T3 = 1000 Kg $CaCO_3$/Ha.

Figura 8. Contenido de cadmio Cd^{+2} (mg/Kg) en la hoja a los 60, 90 y 120 días después de la germinación por tratamiento.

Tal como se observa en la Figura 8 puede indicar y de acuerdo a los valores que determina el contenido de cadmio en las hojas desde los 60 hasta los 120 días después de la germinación. Los valores de cadmio (Cd^{+2}) concentrados en la hoja se encuentra por encima de 0.1 mg/kg; estas cifras se encuentras por encima del contenido de cadmio (Cd^{+2}) en el suelo correspondiendo a 0.03 mg.Kg, se puede añadir también que en todos los tratamientos la concentración de cadmio tiende a aumentar desde los 60 hasta los 120 días después de la germinación. Los tratamientos que presentan menor concentración de cadmio son el tratamiento dos (800 Kg/ha de $CaCO_3$) y el tratamiento tres (1000 mg/kg de $CaCO_3$) y por el contrario el tratamiento cero (0 Kg/ha de $CaCO_3$) y el tratamiento uno (600 Kg/ha de $CaCO_3$) registran mayores concentraciones de cadmio (Cd^{+2}) en el tiempo. Esta repuesta puede deberse a que la hoja es el órgano de destino que se encuentra en la parte aérea de los plantones de cacao.

Resultados similares fueron reportados por Wong (2017) Se destaca que en las muestras de suelo estudiadas se obtuvieron valores que varían desde 0,067 ppm hasta 4 ppm. En un determinado muestreo denominado (Punto 3), los valores obtenidos en la raíz fueron de 0,187 ppm y hojas de 0,433 ppm de una planta de cacao CCN-51. Obteniendo una relación en las concentraciones de cadmio (Cd^{+2}): 0,189 raíces < 0,4 suelo > 0,433 hojas.

También alude que el cadmio se transfiere del suelo a las hojas a través de las raíces. Estos resultados podrían explicarse por la mayor disponibilidad de cadmio (Cd^{+2}) debido al pH.

Coincidiendo con Llactas (2015) quien registró el contenido de cadmio (Cd^{+2}) en el suelo, se encontraron niveles de 0.63 ppm y en las almendras, 1.42 ppm. En contraste, en los suelos de cultivo orgánico de cacao en las cooperativas de las regiones de Huánuco y Ucayali, los valores promedio de cadmio disponible en los suelos fueron de 0.53 ppm y en las hojas de cacao, 0.21 ppm (Huamani et al. 2012). Se puede atribuir que las plantas tienen tres estrategias básicas para crecer en suelos contaminados (Raskin 1994). La primera estrategia se observa en plantas excluyentes de metales, que previenen la entrada de metales o mantienen su concentración baja y constante en un amplio rango de concentraciones en el suelo, principalmente limitando la acumulación de metales en las raíces. La segunda estrategia se encuentra en plantas indicadoras de metales, que acumulan estos metales en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal presente en el suelo. (Ghosh y Singh. 2005). Finalmente, la tercera estrategia es la de las plantas acumuladoras, que pueden concentrar metales en sus partes aéreas a niveles que superan varias veces la concentración presente en el suelo (Rotkittikhun et al. 2006).

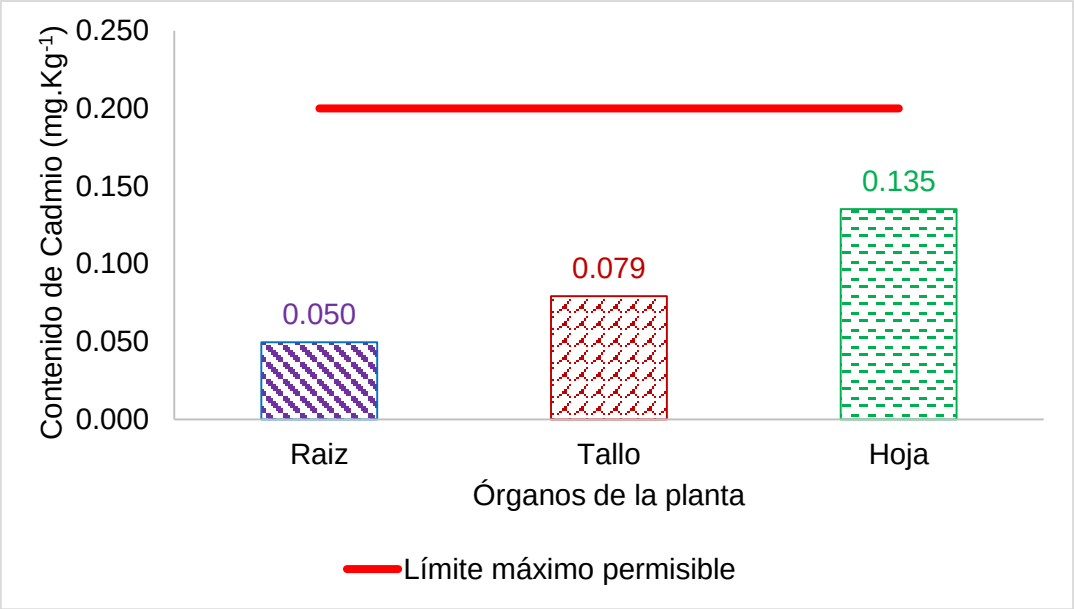


Figura 9. Contenido de cadmio (Cd^{+2}) en los órganos de cacao CCN-51 sobre los niveles permisible de cadmio según la unión europea.

La Figura 9 muestra el comportamiento del contenido de cadmio (Cd^{+2}) en tres partes del plantón de cacao CCN-51 en condiciones de vivero. Se observa que el contenido de este metal pesado incrementa según la ubicación de los órganos en la planta. La raíz reporta un nivel de 0.050 mg.Kg, el tallo 0.079 mg.Kg y la hoja 0.135 mg.Kg; estos niveles de cadmio (Cd^{+2}) expuestos, corresponde al tratamiento tres (T3) con la aplicación de carbonato de calcio ($CaCo_3$) de 1000 Kg/ha, debido a que durante el estudio fue el tratamiento que mostro una mayor reducción del contenido de cadmio (Cd^{+2}). También se aprecia que estos valores encontrados están por debajo del límite permitido correspondiente a 0.2 ppm para vegetales, regulado por Commision Regulation (Europian Comission. European Food Safety Authority 2013)

Coincidiendo con Wong (2017) quien obtuvo valores de cadmio de 0,187 ppm en las raíces y 0,433 ppm en las hojas, este último superando los límites máximos permisibles establecidos por la normativa internacional mencionada anteriormente.

V. CONCLUSIONES

En el órgano de la raíz de los plantones de cacao se remarca el comportamiento de la concentración en el tratamiento tres (1000 kg/ha), ya que la tendencia de la absorción de cadmio se redujo favorablemente.

Para la reducción de absorción de cadmio (Cd) en el órgano del tallo sobre las concentraciones de carbonato de calcio ($CaCO_3$), se resuelve que el tratamiento tres (1000 kg/ha) se encontraron una disminución de cadmio (Cd) en los diferentes momentos; 60, 90 y 120 días después de la germinación.

En la reducción de absorción de cadmio (Cd) en los tratamientos con carbonato de calcio ($CaCO_3$) en el órgano de la hoja; se obtiene que los tratamientos dos (800 kg/ha) y tres (1000 kg/ha) indujeron menores niveles de cadmio (Cd) en la parte área de la planta de cacao.

El comportamiento de cadmio (Cd) bajo las concentraciones de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en los distintos órganos de la planta de cacao muestra tendencia que, a mayores niveles de carbonato de calcio, menor es el contenido de cadmio (Cd). Del mismo modo se muestra la siguiente secuencia en el contenido de cadmio (hojas > tallo > raíz); esto puede deberse a que la planta de cacao pertenece a la clasificación de planta acumuladora de metales pesados.

VI. RECOMENDACIÓN

En base a los resultados recogidos en la presente investigación y al aporte bibliográfico, se recomienda lo siguiente**:**

Extender los estudios sobre dosis más elevadas de carbonato de Calcio ($CaCO_3$) sobre el sustrato y así reducir el contenido de cadmio acumulado en los órganos de la planta de cacao a límites permisibles para no afectar la salud humana.

Considerar un análisis edafológico y de metales pesados en el momento de inicio y final del estudio, mostrando los diferentes componentes existentes en el suelo y determinar la influencia de estos sobre el comportamiento del cadmio (Cd) durante el periodo de la investigación.

Desarrollar estudios similares de concentración de carbonato de Calcio ($CaCO_3$) sobre plantaciones de cacao en producción, con la intención de observar su influencia en los niveles de absorción de cadmio en las almendras.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, C. 2015. Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta *Pistia stratiotes* conocida como lechuga de agua. Universidad Icesi. Santiago de Cali – Colombia. 57 p.

Astolfi, S; Zuchi, S; Passera, C. 2005. Effect of cadmium on H(+)ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of different S-supplied maize (*Zea mays* L.) plants. Plant Science 169:361-368.

Benavides, M; Gallego, S; Tomaro, M. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. 21-34p.

Calva Jiménez, Carla Calixta y Pinedo Fernández, Liliana Valentina. 2021. Uso de enmiendas para la reducción de concentraciones de cadmio en plántulas de cacao. Tesis de graduación. Universidad de Heart. https://repositorio.earth.ac.cr/items/e33a3e65-d75c-451b-9922-48a684f9a1e0 (acceso: 12.09.2024)

Chan, D; Hale, B. 2004. Differential accumulation of Cd in durum wheat cultivars: uptake and retranslocation as sources of variation. Journal of Experimental Botany. 55 p.

Chico, J., et al. Capacidad remediadora de la raíz de girasol, Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. REBIOL. Trujillo, Perú, 2012, vol. 32. N° 2, p.13-19. Consultado el 15 nov. 2016.

Chupillon, J. 2017. Determinación de la absorción de cadmio y plomo en genotipos de cacao (Theobroma cacao L.), para el establecimiento de plantaciones comerciales. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Martin. Tarapoto – Perú. 75 p.

Clemens, S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie 88 p.

Clemens, S; Antosiewicz, D; Ward, J; Schachtman, D; Schroeder, J. 1998. The plant cDNA LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. Proceedings of the National Academy of Sciences. United State of America. 95 p.

Correa, J. 2018. Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plantones de cacao (Theobroma cacao l.) en la Región San Martín. Tesis. Ing. Agr. Universida Nacional de San Martin – Tarapoto. Tarapoto – Perú. 83 p.

EcuRed. 2020. Definición de antropogénico. Disponible en: https://www.ecured.cu/Antropog%C3%A9nico. Consultado el: 30/10/2020.

Estevez, M. 2013. Efectividad de enmiendas en la recuperación de un suelo minero del distrito de 'El Arteal' término municipal de Cuevas del Almanzora (Almería). Tesis. Ing. Agro. Universidad de Almeria. España. 63 p.

Espinoza, J. (1999). Acidez y encalado de los suelos.

Europian Comission. European Food Safety Authority. 2013. COMMISSION REGULATION (EU) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs.

European Union. 2024. Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 1881/2006 (Texto pertinente a efectos del EEE). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.119.01.0103.01.SPA&toc=OJ%3AL%3A2023%3A119%3ATOC (Acceso 08.09.2024)

Fernández Paz, Jéssica Alejandra (2022). Efecto fisiológico de la absorción de cadmio (Cd2+) sobre accesiones de cacao (Theobroma cacao L.). Tesis para optar el grado de maestría. Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81345/Efecto%20fisiologico%20de%20la%20absorci%c3%b3n%20cadmio%20en%20cacao.%20Fern%c3%a1ndez%20J.A%2022032022.pdf?sequence=1&isAllowed=y (acceso: 12.09.2024)

Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria - FONTAGRO. 2023. Plataforma Multiagencia de Cacao (ATN/RF-17235-RG). https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/17235_-_Producto_5.pdf (Acceso: 122.09.2024)

Galán, E. y Romero, A. 2008. Contaminacion de suelos por metales pesados. Revista de la sociedad española de minerologia. Sevilla – España. 13 p.

Goldbol, D; Hutterman, A. 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on Picea abies (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back. Environmental Pollution 38 p.

Gouia, H; Ghorbal, M; Meyer, C. 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. Plant Physiology and Biochemistry. 38 p.

Guerinot, M; 2000. The ZIP family of metal transporters. Biochimica et Biophysica Acta. United State of America.

Hamer, D. 1986. Metallothionein. Annual Review of Biochemistry. 55 p.

Hirzel, J. 2011. Uso de enmiendas calcáreas en recuperación de suelos de uso agrícola. Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación en territorios degradados. 3 p.

Huamani, H; Huauya, M; Mansilla, L; Florida, N y Neira, G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*.) orgánico. Acta Agronómica n° 64(4). Consultado el 10 oct. 2016. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169926831006

INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2019. La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. Quito – Ecuador. 104 p.

Isla, E y Andrade, B. 2009. Propuesta para el Manejo de Cacao Orgánico. Proyecto "Paz y Conservación Binacional en la Cordillera del Cóndor, Ecuador-Perú-Fase II (Componente Peruano)". Lima – Perú. 88 p.

IVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos). 2020. Plan nacional de vigilancia en productos derivados de cacao para exportación 2020. Bogotá - Colombia.

Kastori, R; M. Petrovic & N. Petrovic. (1992) “Effect of excess Pb, Cd, Cu and Zn on water relations in sunflower”. Journal of Plant Nutrition. Consultado el 12 nov 2020. Disponible en:

http://pubget.com/paper/pgtmp7e464b4919e2793b4a2a2bc59b117108/Effectofexcesslead

Kloke, A.; D.R. Sauerbeck & H. Vetter. (1994) “Study of the Transfer Coefficient of Cadmium and Lead in Ryegrass and Lettuce” Berlin.

Llactas, M. 2016. Influencia de la dosis de aplicación de dolomita en la concentración de cadmio en las almendras de cacao en parcelas de la COOPAIN. Tesis Ing. Agr. Universidad Agraria de la Selva. Huánuco – Perú. 97 p.

MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego). 2016. Estudio del Cacao en el Perú y el mundo. Lima – Perú. 90 p.

MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego). 2018. Análisis de la cadena productiva del cacao. Lima - Perú. 85 p.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2024. Observatorio de commodites. Lima, Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6334592/5316298-commodities-cacao-n-01-2024.pdf?v=1715610268

Miñan, Mila. 2024. Definición de Absorción en Plantas: Ejemplos, Tipos y Significado. https://ejemplosverdes.com/definicion-de-absorcion-en-plantas-ejemplos-tipos-significado/#definicion_de_absorcion_en_plantas_segun_stahl (acceso: 15.09.2024)

Moreno, H. 1986. Consideraciones teóricas del transporte de iones en células vegetales. Costa Rica. 3 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud). Cadmium. Environmental health criteria. Geneva (Italy): 2008, 119 p.

Park, S; Cheng, N; Pittman, J; Yoo, K; Park, J; Smith, R.H; Hirschi, K. 2005. Increased Calcium levels and prolonged shelf life in tomatoes expressing Arabidopsis. Plant Physiology 39 p.

Pernía, B; De Sousa, A; Reyes, R y Castrillo, M. 2008. Biomarcadores de contaminacion por cadmio en las plantas. Caracas: Interciencia.

Pinto, A; Mota, A; De Varennes, A; y Pinto, F. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. Science of the Total Environment. 274 p.

Plúas Fernández, María Matilde. 2024. Variación en la biodisponibilidad de cadmio en suelos de cacaotera de la provincia El Oro, tratados con enmiendas del suelo. Tesis para optar el grado de magister. Universidad Técnica Estatal de Quevedo https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6257/1/T695.pdf (Acceso: 12.09.2024).

Plumlee, G. 1994. Environmental geology models of mineral deposits. SEG Newsletter. United State of America. 47 p.

Pomponi, N; Censi, V; Di Girolamo, U; De Paolis, A; Di Toppi, L; Aromolo, R; Constantino, P; Cardarelli, M. 2006. Overexpresion of Arabidopsis phytochelatin synthase in tobacco plants enhances Cd2+ tolerance and accumulation but not translocation to the shoot. 180-190 p.

Prieto, M; González, R; Román, G y Prieto, G. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 44 p

Reátegui, R. 2011.Manual de Cultivo del Cacao. Tingo María – Perú. 2 p.

Revoredo, A. 2018. Efecto del tratamiento con 3 cepas de Estreptomicetos en la acumulación de cadmio en plantas de Theobroma cacao L. Tesis Lic. Blog. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima – Perú. 95 p.

Rodriguez, M; Martinez, N; Romero, R; Del Rio, R y Sandalio, M. 2008. Toxicidad de cadmio en plantas. Asociación española de ecología terrestre. Granada – España. 8 p.

Romero, E. 2005. Las arcillas. Universidad de Madrid. Madrid – España. 3 p.

Rosales Rivera, Jenyfer Massiel. 2022. Efecto de tres enmiendas calcáreas en la reducción de cadmio en suelos cultivados con “cacao” Theobroma cacao L., distrito de Calzada-Moyobamba. Tesis para optar el título de ingeniero agrario con mención forestal, Universidad Católica Sedes Sapientiae.

https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1516/Rosales_Jenyfer_tesis_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y (acceso: 08.09.2024)

Rotkittikhun, R; Kruatrachuem, M; Chaiyarat, R; Ngernsansaruay, C; Pokethitiyook, P; Paijitprapaporn, A y Baker, A. 2006. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. Consultado el 12/11/2020. Disponible en: http://www.researchgate.net/publication/7244141

Salt, D; Prince, R; Pickering, I; Raskin, I. 1995. Mechanism of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. Plant Physiology. 109 p.

Sanitá di Toppi L., Gabbrielli, R. (1999) Respuesta al cadmio en las plantas superiores. Environmental Experimental Botany 41: 105-130

Sistema de Integrado de Estadística Agraria (SIEA). 2024. Perfil Productivo Regional. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiN2U3NTdkYTktOTk5Ny00NjQ5LTg0ZjEtMmIzYzlmZWIwMDhlIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9 (acceso: 08.09.2024)

Shah, K; Nongkynrih, J; 2007. Metal hyperaccumulator and bioremediation. Biologia Plantarum. 51 p.

Shuman, L. 1991. Chemical forms of micronutrients in soils. In 'Micronutrients in Agriculture'. Soil Sciene Society of America, Madison. 113-144 p.

Thomine, S; Wang, R; Ward, J; Crawford, N; Schroeder, J. 2000. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in Arabidopsis with homology to Nramp genes. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA 97 p.

(UE/IICA) Programa regional de investigación e innovación por cadenas de valor agrícola. 2016. Manejo de suelos ácidos de las zonas de Honduras. Tegucigalpa – Honduras. 45 p.

Tan TYC, Lim XY, Yeo JHH, Lee SWH, Lai NM. 2021. Los efectos sobre la salud del chocolate y el cacao: una revisión sistemática. *Nutrientes*. 2021; 13(9):2909. https://doi.org/10.3390/nu13092909

Wong, A. 2017. Determinación de Cadmio (cd) en suelo de cultivo para cacao CCN-51 mediante análisis de espectroscopía de absorción atómica. Tesis Ing. Ambiental. Universidad de Guayalquil. Guayaquil – Ecuador. 64 p.

Zimmermann, B.F.; Ellinger, S. 2020. El cacao, el chocolate y la salud humana. Nutrientes. 12, 698. https://doi.org/10.3390/nu12030698

VIII. ANEXOS

8.1. Análisis estadístico sobre el contenido de cadmio (Cd) en la raíz.

a. Evaluación estadística del contenido de cadmio (cd) en la raíz a los 60 días de germinación.

Cuadro 9. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao, a los 60 días de germinación.

Fuente de variación	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.0014	3	0.0004	1.4700	0.2943
Error experimental	0.0025	8	0.0003		
Total	0.00383	11			

Cuadro 10. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Mediana	Varianza	S.D.	Mínimo	Máximo
T0	3	0.0730	0.064	0.0004	0.0210	0.058	0.097
T1	3	0.0963	0.096	0.0007	0.0265	0.070	0.123
T2	3	0.0700	0.071	0.0001	0.0095	0.060	0.079
T3	3	0.0727	0.073	3.33E-7	0.0006	0.072	0.073
Total	12	0.0780	0.0725	0.0003	0.0187	0.058	0.123

Cuadro 11. Valores promedio con intervalos de confianza para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Casos	Media	S.E.	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.0730	0.0101	0.0565	0.0895
T1	3	0.0963	0.0101	0.0798	0.1129
T2	3	0.0700	0.0101	0.0535	0.0865
T3	3	0.0727	0.0101	0.0561	0.0892
Total	12	0.0780			

Cuadro 12. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	1.201	0.3698

b. Evaluación estadística del contenido de cadmio (cd) en la raíz a los 90 días de germinación.

Cuadro 13. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao, a los 90 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.00076	3	0.00025	1.1400	0.3913
Error experimental	0.00178	8	0.00022		
Total	0.00255	11			

Cuadro 5. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	Recuento	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T0	3	0.0740	0.0770	0.000027	0.005196	0.068	0.077
T1	3	0.0660	0.0620	0.000496	0.022271	0.046	0.09
T2	3	0.0683	0.0630	0.000277	0.016653	0.055	0.087
T3	3	0.0523	0.0540	0.000092	0.009609	0.042	0.061
Total	12	0.0652	0.0625	0.000231	0.015213	0.042	0.09

Cuadro 6. Valores promedio con intervalos de confianza para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	Casos	Media	SE	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.074	0.0086249	0.0599363	0.0880637
T1	3	0.066	0.0086249	0.0519363	0.0800637
T2	3	0.0683333	0.0086249	0.0542696	0.0823971
T3	3	0.0523333	0.0086249	0.0382696	0.0663971
Total	12	0.0651667			

Cuadro 7. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.75664	0.548997

c. Evaluación estadística del contenido de cadmio (cd) en la raíz a los 120 días de germinación.

Cuadro 8. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao, a los 120 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.000655	3	0.000218333	0.55	0.6637
Error experimental	0.00319067	8	0.000398833		
Total	0.00384567	11			

Cuadro 9. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Mediana*	*Varianza*	*Desviación Estándar*	*Mínimo*	*Máximo*
T0	3	0.0700	0.0760	0.000316	0.0177764	0.05	0.084
T1	3	0.0640	0.0580	0.000703	0.0265141	0.041	0.093
T2	3	0.0610	0.0650	0.000336	0.0183303	0.041	0.077
T3	3	0.0497	0.0500	0.000240	0.0155027	0.034	0.065
Total	12	0.0612	0.0615	0.000350	0.0186978	0.034	0.093

Cuadro 10. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en la raíz del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Casos	Media	SE	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.070	0.0115302	0.051199	0.088801
T1	3	0.064	0.0115302	0.045199	0.082801
T2	3	0.061	0.0115302	0.042199	0.079801
T3	3	0.0496667	0.0115302	0.0308657	0.0684677
Total	12	0.0611667			

Cuadro 11. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.166196	0.916188

8.2. Análisis estadístico sobre el contenido de cadmio (Cd) en el tallo.

a. Evaluación Estadística del contenido de cadmio en el tallo a los 60 días de germinación.

Cuadro 12. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao, a los 60 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.00127892	3	0.000426306	1.28	0.3450
Error experimental	0.002662	8	0.00033275		
Total	0.00394092	11			

Cuadro 13. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T0	3	0.05800	0.0580	0.001000	0.057	0.059
T1	3	0.08533	0.0800	0.015695	0.073	0.103
T2	3	0.07067	0.0600	0.020232	0.058	0.094
T3	3	0.07967	0.0740	0.025968	0.057	0.108
Total	12	0.07342	0.0670	0.018928	0.057	0.108

Cuadro 14. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	Casos	Media	SE	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.058	0.0105317	0.0408271	0.0751729
T1	3	0.0853333	0.0105317	0.0681604	0.102506
T2	3	0.0706667	0.0105317	0.0534937	0.0878396
T3	3	0.0796667	0.0105317	0.0624937	0.0968396
Total	12	0.0734167			

Cuadro 15. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.707194	0.57419

b. Evaluación Estadística del contenido de cadmio en el tallo a los 90 días de germinación.

Cuadro 16. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao, a los 90 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.0417103	3	0.0139034	0.93	0.4688
Error experimental	0.119379	8	0.0149224		
Total	0.16109	11			

Cuadro 17. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	Recuento	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T0	3	0.2010	0.0730	0.241895	0.05	0.48
T1	3	0.0577	0.0550	0.018148	0.041	0.077
T2	3	0.0790	0.0780	0.027514	0.052	0.107
T3	3	0.0617	0.0620	0.0093504	0.052	0.071
Total	12	0.0998	0.0665	0.121015	0.041	0.48

Cuadro 18. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	Casos	Media	SE	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.201	0.0705276	0.0859981	0.316002
T1	3	0.0576667	0.0705276	-0.0573353	0.172669
T2	3	0.079	0.0705276	-0.0360019	0.194002

T3	3	0.0616667	0.0705276	-0.0533353	0.176669
Total	12	0.0998333			

Cuadro 19. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.98439	0.447263

c. Evaluación estadística del contenido de cadmio en el tallo a los 120 días de germinación.

Cuadro 20. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao, a los 120 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.00397467	3	0.00132489	1.17	0.3787
Error experimental	0.009034	8	0.00112925		
Total	0.0130087	11			

Cuadro 21. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T0	3	0.0727	0.0910	0.001974	0.0444335	0.022	0.105
T1	3	0.1200	0.1110	0.002413	0.0491223	0.076	0.173
T2	3	0.0947	0.0920	0.000105	0.0102632	0.086	0.106
T3	3	0.0793	0.0770	0.000024	0.00493288	0.076	0.085
Total	12	0.0917	0.0885	0.001183	0.034389	0.022	0.173

Cuadro 22. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en el tallo del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Casos	Media	ES	Límite Inferior	Límite Superior

T0	3	0.0726667	0.0194015	0.0410307	0.104303
T1	3	0.12	0.0194015	0.0883641	0.151636
T2	3	0.0946667	0.0194015	0.0630307	0.126303
T3	3	0.0793333	0.0194015	0.0476974	0.110969
Total	12	0.0916667			

Cuadro 23. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	**Valor-P**
Levene's	1.10101	0.40342

8.3. Análisis estadístico sobre el contenido de cadmio (Cd) en la hoja.

a. Evaluación Estadística del contenido de cadmio en la hoja a los 60 días de germinación.

Cuadro 24. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao, a los 60 días de germinación.

Fuente	**S.C.**	**gl**	**C.M.**	**Fc**	**Pv**
Tratamientos	0.00618825	3	0.00206275	3.30	0.0784
Error experimental	0.004996	8	0.0006245		
Total	0.0111843	11			

Cuadro 25. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	**Recuento**	**Promedio**	**Mediana**	**Varianza**	**Desviación Estándar**	**Mínimo**	**Máximo**
T0	3	0.1287	0.118	0.000446	0.0211	0.115	0.153
T1	3	0.1740	0.195	0.001521	0.0390	0.129	0.198
T2	3	0.1197	0.116	0.000120	0.0110	0.111	0.132
T3	3	0.1187	0.125	0.000410	0.0203	0.096	0.135
Total	12	0.1353	0.127	0.001017	0.0319	0.096	0.198

Cuadro 26. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 60 días de germinación, por tratamiento.

Tratamientos	*Casos*	*Media*	*SE*	*Límite Inferior*	*Límite Superior*
T0	3	0.128667	0.014428	0.10514	0.152193
T1	3	0.174	0.014428	0.150474	0.197526
T2	3	0.119667	0.014428	0.0961405	0.143193
T3	3	0.118667	0.014428	0.0951405	0.142193
Total	12	0.13525			

Cuadro 27. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.259109	0.852912

b. Evaluación Estadística del contenido de cadmio en el tallo a los 90 días de germinación.

Cuadro 28. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao, a los 90 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.00112892	3	0.000376306	0.54	0.6708
Error experimental	0.00562	8	0.0007025		
Total	0.00674892	11			

Cuadro 29. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Recuento	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T0	3	0.1237	0.1060	0.001226	0.035019	0.101	0.164
T1	3	0.1363	0.1220	0.000706	0.026577	0.120	0.167
T2	3	0.1137	0.1110	0.000366	0.019140	0.096	0.134
T3	3	0.1120	0.1180	0.000511	0.022605	0.087	0.131
Total	12	0.1214	0.1190	0.000614	0.024770	0.087	0.167

Cuadro 30. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 90 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	Casos	Media	ES	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0.123667	0.0153025	0.0987145	0.148619
T1	3	0.136333	0.0153025	0.111381	0.161286
T2	3	0.113667	0.0153025	0.0887145	0.138619
T3	3	0.112	0.0153025	0.0870478	0.136952
Total	12	0.121417			

Cuadro 31. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.0738581	0.972347

a. Evaluación estadística del contenido de cadmio en el tallo a los 120 días de germinación.

Cuadro 32. Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos en el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao, a los 120 días de germinación.

Fuente	S.C.	gl	C.M.	Fc	Pv
Tratamientos	0.0123142	3	0.00410475	1.02	0.4316
Error experimental	0.0320547	8	0.00400683		
Total	0.0443689	11			

Cuadro 33. Resumen estadístico para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Mediana*	*Desviación Estándar*	*Mínimo*	*Máximo*	*Rango*
T0	3	0.207333	0.173	0.0839424	0.146	0.303	0.157
T1	3	0.167667	0.125	0.0908534	0.106	0.272	0.166
T2	3	0.125333	0.119	0.0164418	0.113	0.144	0.031

T3	3	0.135333	0.144	0.0213620	0.111	0.151	0.040
Total	12	0.158917	0.144	0.0635101	0.106	0.303	0.197

Cuadro 34. Valores promedio con intervalos de confianza al 95% para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas del plantón de cacao a los 120 días de germinación, por tratamiento.

Tratamiento	**Casos**	**Media**	**ES**	**Límite Inferior**	**Límite Superior**
T0	3	0.207333	0.036546	0.147742	0. 266925
T1	3	0.167667	0.036546	0.108075	0.227258
T2	3	0.125333	0.036546	0.0657416	0.184925
T3	3	0.135333	0.036546	0.0757416	0.194925
Total	12	0.158917			

Cuadro 35. Prueba de verificación de la varianza.

	Prueba	***Valor-P***
Levene's	0.612894	0.62551

Figura 10. Flujograma del protocolo de preparación de muestras.

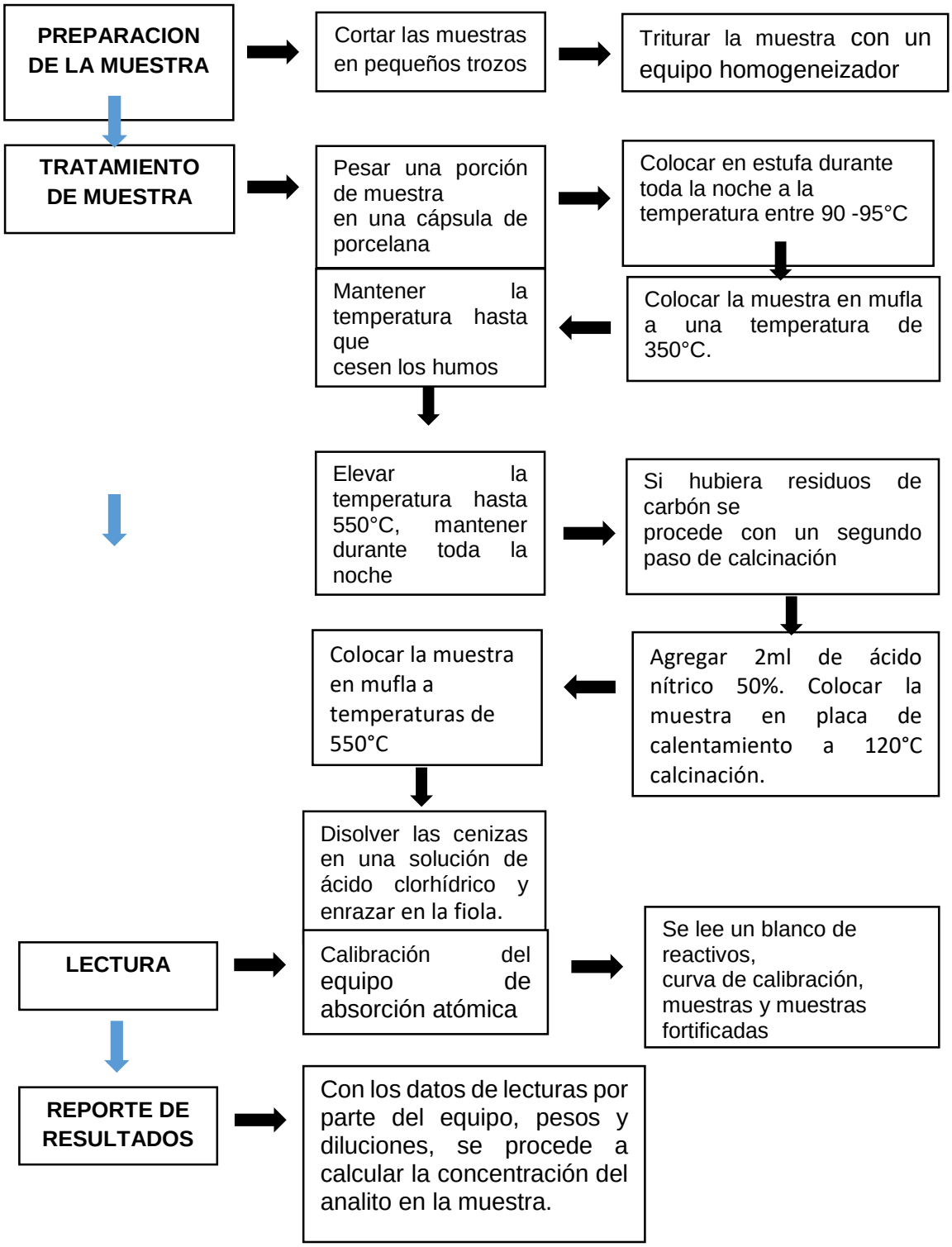


Figura 11. Contenido de cadmio en análisis de suelo.



WORLD SURVEY SERVICES PERU S.A.C.
Av. Elmer Faucett 150 Maranga, San Miguel - Lima 32 - Perú
Phone : (51-1) 5943369 4642170
E-mail : wss@wss.pe
Website : www.wss.pe

WSS Testing and Certification

INFORME DE ENSAYO N° 0136/18-L

Número de OT:	1860		
Cliente:	Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia		
Dirección:	Car. San Jose KM. 0.5 - Coronel Portillo - Yarinacocha - Ucayali		
Laboratorio:	Microbiológico [ ]	**Físico Químico :**	[x]
Muestras:	Suelo		
Tipo de Muestra:	Proporcionada [x]	**De Muestreo :**	[ ]
Tipo de envase:	Bolsa de plástico cerrada en buena condición	**Cantidad de Muestra:**	03 muestras x 500gr. c/u
Fecha de recepción:	24 de Enero del 2018	**Hora:**	15:00
Fecha de inicio de Ensayo:	25 de Enero del 2018	**Fecha de término de ensayo:**	07 de Febrero del 2018

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

Muestra - Descripción	Identificación:	Cadmio (mg/Kg)
Suelo	T = 1	< 0,03
	T = 2	< 0,03
	T = 3	< 0,03

Método de Ensayo:
Cadmio : NCh 2638. Of 2001 Productos hidrobiológicos-Determinación de Cadmio, Método de espectrofotométrico de absorción atómica por llama.

Observaciones:
Los resultados corresponden tan sólo a la(s) muestra(s) sometida(s) a ensayo.
La reproducción total y/o parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio.
Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Lima, 07 de Febrero del 2018

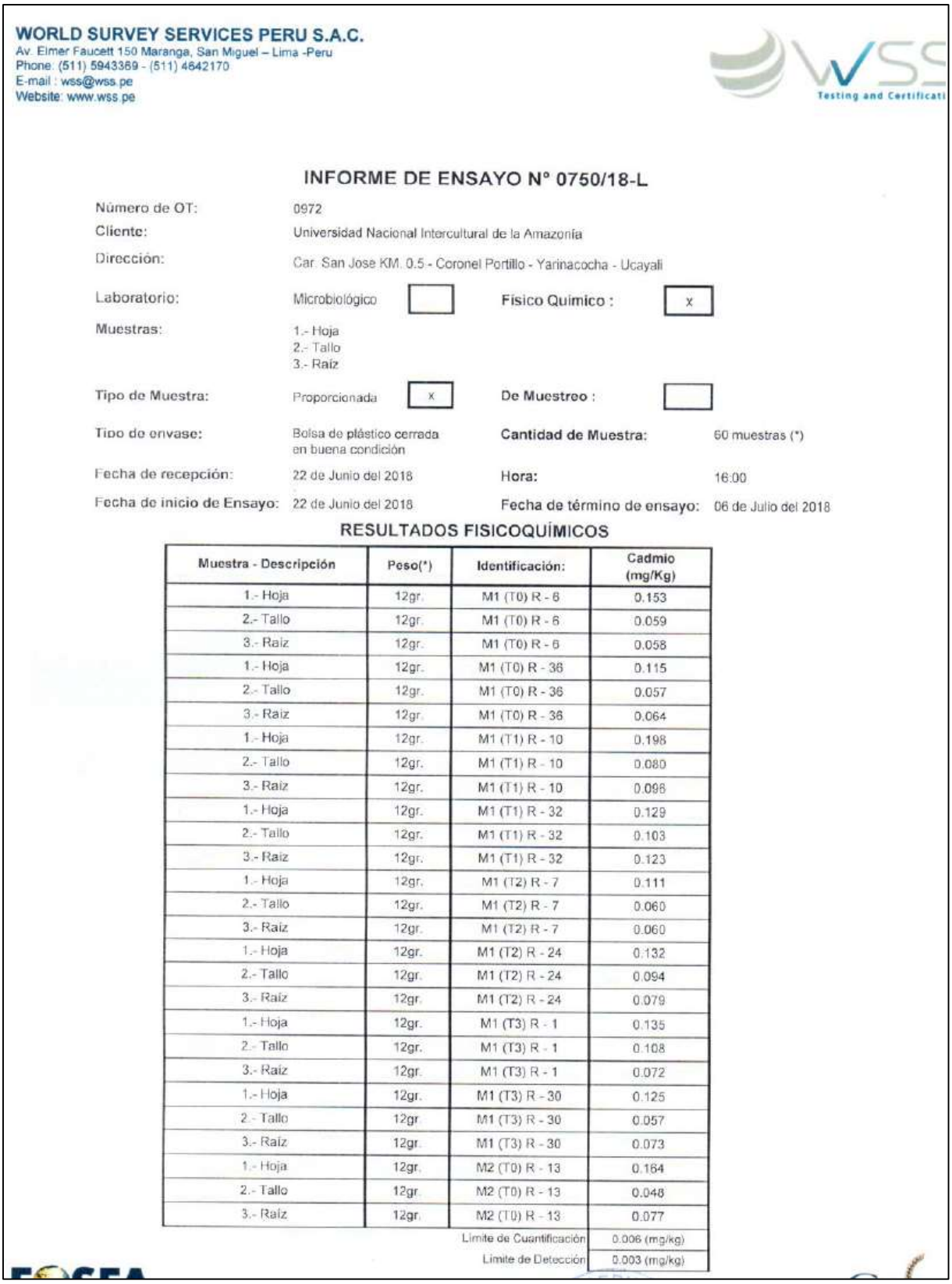
Ing. Elsa Vargas Granados
Jefe de División Laboratorios
WSS PERÚ S.A.C.

FOSFA

R-LB- 15 Rev 02 16.06.2015

Pág. 1/1

Figura 12. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 60 y 90 días después de la germinación.



WORLD SURVEY SERVICES PERU S.A.C.
Av. Elmer Faucett 150 Maranga, San Miguel – Lima -Peru
Phone: (511) 5943369 - (511) 4642170
E-mail : wss@wss.pe
Website: www.wss.pe

WSS Testing and Certificati

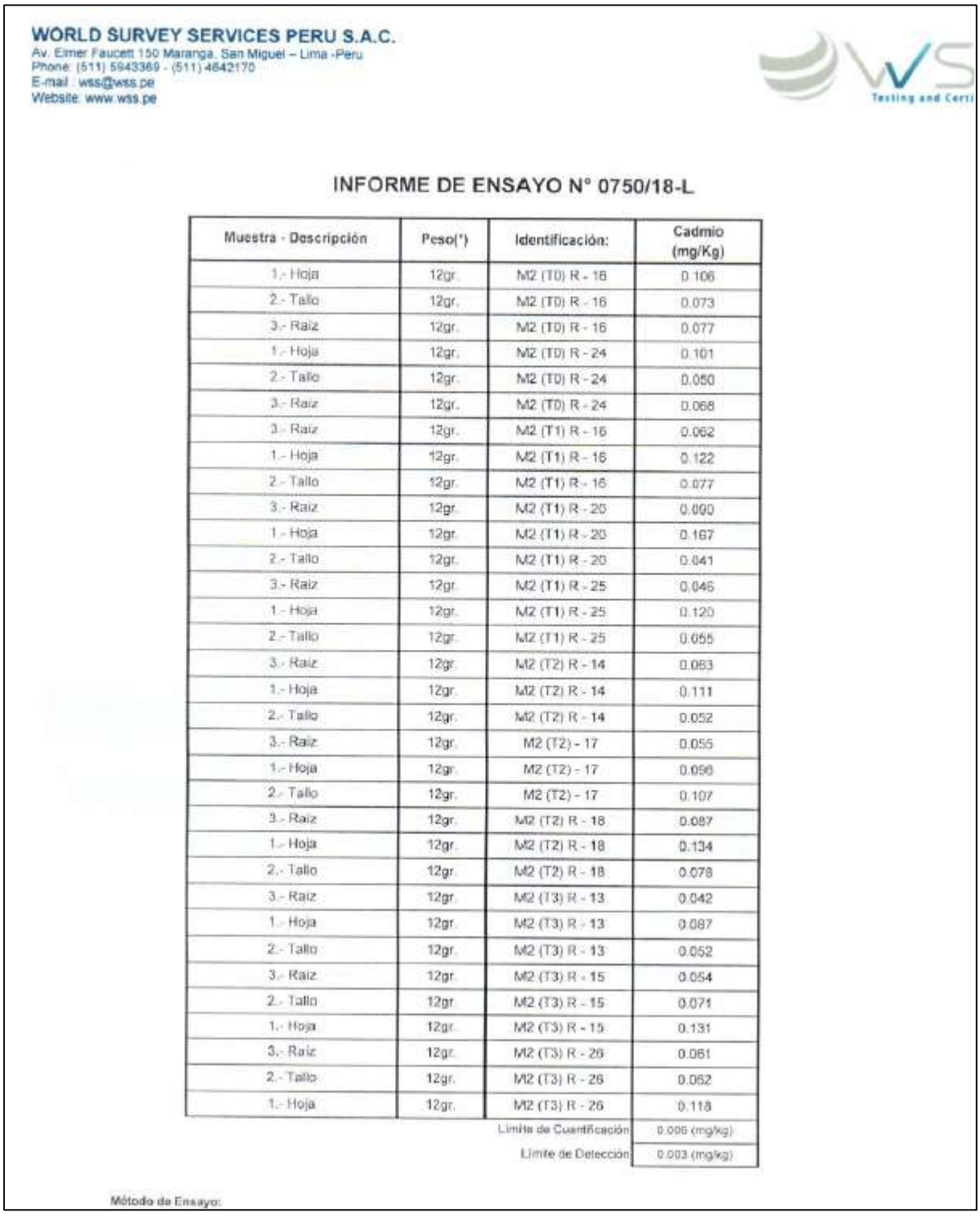
INFORME DE ENSAYO N° 0750/18-L

Número de OT:	0972		
Cliente:	Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía		
Dirección:	Car. San Jose KM. 0.5 - Coronel Portillo - Yarinacocha - Ucayali		
Laboratorio:	Microbiológico [ ]	Físico Químico :	[x]
Muestras:	1.- Hoja 2.- Tallo 3.- Raíz		
Tipo de Muestra:	Proporcionada [x]	De Muestreo :	[ ]
Tipo de envase:	Bolsa de plástico cerrada en buena condición	Cantidad de Muestra:	60 muestras (*)
Fecha de recepción:	22 de Junio del 2018	Hora:	16:00
Fecha de inicio de Ensayo:	22 de Junio del 2018	Fecha de término de ensayo:	06 de Julio del 2018

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

Muestra - Descripción	Peso(*)	Identificación:	Cadmio (mg/Kg)
1.- Hoja	12gr.	M1 (T0) R - 6	0.153
2.- Tallo	12gr.	M1 (T0) R - 6	0.059
3.- Raiz	12gr.	M1 (T0) R - 6	0.058
1.- Hoja	12gr.	M1 (T0) R - 36	0.115
2.- Tallo	12gr.	M1 (T0) R - 36	0.057
3.- Raiz	12gr.	M1 (T0) R - 36	0.064
1.- Hoja	12gr.	M1 (T1) R - 10	0.198
2.- Tallo	12gr.	M1 (T1) R - 10	0.080
3.- Raiz	12gr.	M1 (T1) R - 10	0.098
1.- Hoja	12gr.	M1 (T1) R - 32	0.129
2.- Tallo	12gr.	M1 (T1) R - 32	0.103
3.- Raiz	12gr.	M1 (T1) R - 32	0.123
1.- Hoja	12gr.	M1 (T2) R - 7	0.111
2.- Tallo	12gr.	M1 (T2) R - 7	0.060
3.- Raiz	12gr.	M1 (T2) R - 7	0.060
1.- Hoja	12gr.	M1 (T2) R - 24	0.132
2.- Tallo	12gr.	M1 (T2) R - 24	0.094
3.- Raiz	12gr.	M1 (T2) R - 24	0.079
1.- Hoja	12gr.	M1 (T3) R - 1	0.135
2.- Tallo	12gr.	M1 (T3) R - 1	0.108
3.- Raiz	12gr.	M1 (T3) R - 1	0.072
1.- Hoja	12gr.	M1 (T3) R - 30	0.125
2.- Tallo	12gr.	M1 (T3) R - 30	0.057
3.- Raiz	12gr.	M1 (T3) R - 30	0.073
1.- Hoja	12gr.	M2 (T0) R - 13	0.164
2.- Tallo	12gr.	M2 (T0) R - 13	0.048
3.- Raiz	12gr.	M2 (T0) R - 13	0.077
		Límite de Cuantificación	0.006 (mg/kg)
		Límite de Detección	0.003 (mg/kg)

Figura 13. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 60 y 90 días después de la germinación.



WORLD SURVEY SERVICES PERU S.A.C.
Av. Elmer Faucett 150 Maranga, San Miguel – Lima -Peru
Phone: (511) 5943369 - (511) 4642170
E-mail : wss@wss.pe
Website: www.wss.pe

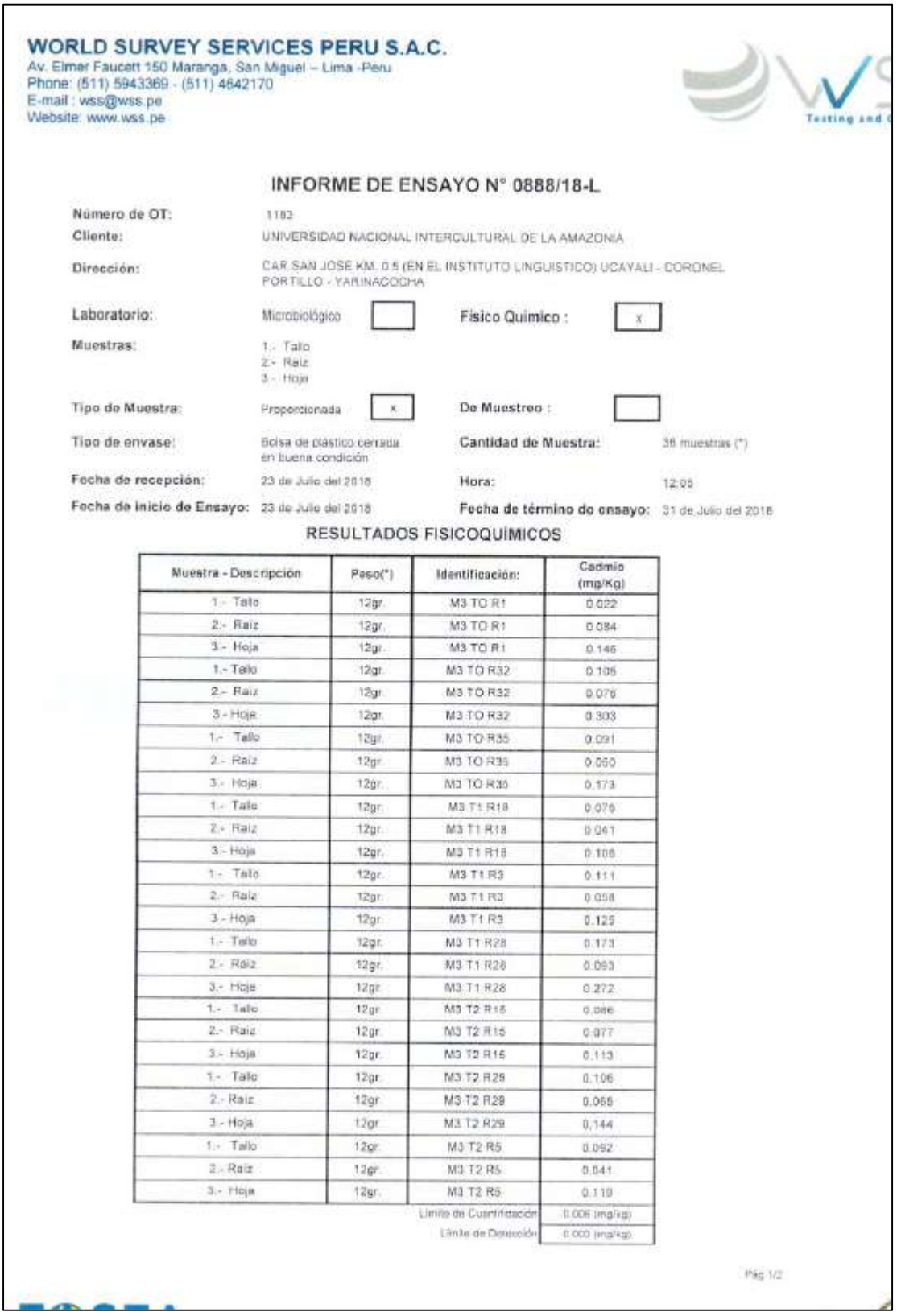
WS Testing and Certi

INFORME DE ENSAYO N° 0750/18-L

Muestra - Descripción	Peso(*)	Identificación:	Cadmio (mg/Kg)
1.- Hoja	12gr.	M2 (T0) R - 16	0.106
2.- Tallo	12gr.	M2 (T0) R - 16	0.073
3.- Raiz	12gr.	M2 (T0) R - 16	0.077
1.- Hoja	12gr.	M2 (T0) R - 24	0.101
2.- Tallo	12gr.	M2 (T0) R - 24	0.050
3.- Raiz	12gr.	M2 (T0) R - 24	0.068
3.- Raiz	12gr.	M2 (T1) R - 16	0.062
1.- Hoja	12gr.	M2 (T1) R - 16	0.122
2.- Tallo	12gr.	M2 (T1) R - 16	0.077
3.- Raiz	12gr.	M2 (T1) R - 20	0.090
1.- Hoja	12gr.	M2 (T1) R - 20	0.167
2.- Tallo	12gr.	M2 (T1) R - 20	0.041
3.- Raiz	12gr.	M2 (T1) R - 25	0.046
1.- Hoja	12gr.	M2 (T1) R - 25	0.120
2.- Tallo	12gr.	M2 (T1) R - 25	0.055
3.- Raiz	12gr.	M2 (T2) R - 14	0.083
1.- Hoja	12gr.	M2 (T2) R - 14	0.111
2.- Tallo	12gr.	M2 (T2) R - 14	0.052
3.- Raiz	12gr.	M2 (T2) - 17	0.055
1.- Hoja	12gr.	M2 (T2) - 17	0.096
2.- Tallo	12gr.	M2 (T2) - 17	0.107
3.- Raiz	12gr.	M2 (T2) R - 18	0.087
1.- Hoja	12gr.	M2 (T2) R - 18	0.134
2.- Tallo	12gr.	M2 (T2) R - 18	0.078
3.- Raiz	12gr.	M2 (T3) R - 13	0.042
1.- Hoja	12gr.	M2 (T3) R - 13	0.087
2.- Tallo	12gr.	M2 (T3) R - 13	0.052
3.- Raiz	12gr.	M2 (T3) R - 15	0.054
2.- Tallo	12gr.	M2 (T3) R - 15	0.071
1.- Hoja	12gr.	M2 (T3) R - 15	0.131
3.- Raiz	12gr.	M2 (T3) R - 26	0.061
2.- Tallo	12gr.	M2 (T3) R - 26	0.062
1.- Hoja	12gr.	M2 (T3) R - 26	0.118
		Limite de Cuantificación	0.006 (mg/kg)
		Limite de Detección	0.003 (mg/kg)

Método de Ensayo:

Figura 14. Contenido de cadmio en los órganos (raíz, tallo y hoja) de la planta de cacao a los 120 días después de la germinación.



WORLD SURVEY SERVICES PERU S.A.C.
Av. Elmer Faucett 150 Maranga, San Miguel – Lima -Peru
Phone: (511) 5943369 - (511) 4642170
E-mail : wss@wss.pe
Website: www.wss.pe

INFORME DE ENSAYO N° 0888/18-L

Número de OT:	1183		
Cliente:	UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA		
Dirección:	CAR SAN JOSE KM. 0.5 (EN EL INSTITUTO LINGUISTICO) UCAYALI - CORONEL PORTILLO - YARINACOCHA		
Laboratorio:	Microbiológico [ ]	**Fisico Quimico :**	[x]
Muestras:	1.- Tallo 2.- Raiz 3.- Hoja		
Tipo de Muestra:	Proporcionada [x]	**De Muestreo :**	[ ]
Tipo de envase:	Bolsa de plástico cerrada en buena condición	**Cantidad de Muestra:**	36 muestras (*)
Fecha de recepción:	23 de Julio del 2018	**Hora:**	12:05
Fecha de inicio de Ensayo:	23 de Julio del 2018	**Fecha de término de ensayo:**	31 de Julio del 2018

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

Muestra - Descripción	Peso(*)	Identificación:	Cadmio (mg/Kg)
1.- Tallo	12gr.	M3 TO R1	0.022
2.- Raiz	12gr.	M3 TO R1	0.084
3.- Hoja	12gr.	M3 TO R1	0.146
1.- Tallo	12gr.	M3 TO R32	0.105
2.- Raiz	12gr.	M3 TO R32	0.076
3.- Hoja	12gr.	M3 TO R32	0.303
1.- Tallo	12gr.	M3 TO R35	0.091
2.- Raiz	12gr.	M3 TO R35	0.060
3.- Hoja	12gr.	M3 TO R35	0.173
1.- Tallo	12gr.	M3 T1 R18	0.079
2.- Raiz	12gr.	M3 T1 R18	0.041
3.- Hoja	12gr.	M3 T1 R18	0.108
1.- Tallo	12gr.	M3 T1 R3	0.111
2.- Raiz	12gr.	M3 T1 R3	0.058
3.- Hoja	12gr.	M3 T1 R3	0.125
1.- Tallo	12gr.	M3 T1 R28	0.173
2.- Raiz	12gr.	M3 T1 R28	0.093
3.- Hoja	12gr.	M3 T1 R28	0.272
1.- Tallo	12gr.	M3 T2 R16	0.086
2.- Raiz	12gr.	M3 T2 R16	0.077
3.- Hoja	12gr.	M3 T2 R16	0.113
1.- Tallo	12gr.	M3 T2 R29	0.106
2.- Raiz	12gr.	M3 T2 R29	0.065
3.- Hoja	12gr.	M3 T2 R29	0.144
1.- Tallo	12gr.	M3 T2 R5	0.092
2.- Raiz	12gr.	M3 T2 R5	0.041
3.- Hoja	12gr.	M3 T2 R5	0.119
		Limite de Cuantificación	0.006 (mg/kg)
		Limite de Detección	0.003 (mg/kg)

Pág 1/2



Figura 15. Colección de la muestra orgánica.



Figura 16. Mezcla de la muestra orgánica para sustrato.



Figura 17. Incorporación de carbonato de calcio $CaCO_3$.



Figura 18. Llenado de bolsa con el sustrato preparado.



Figura 19. Acondicionamiento de bolsas por tratamiento y repetición.



Figura 20. a) Lavado de las semillas y b) Tratamiento pregerminativo de las semillas de cacao *Theobroma cacao L*.



Figura 21. Siembra de semillas de cacao por tratamiento y repetición.



Figura 22. Evaluación de las variables en estudio.



Figura 23. Extracción de plantón de cacao *Theobroma cacao* L.



Figura 24. Mediciones de los órganos de la planta a) Tallo, b) Raíz y c) Hoja.

Figura 25. Mapa de ubicación geográfica.

