



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA QUÍMICA

“EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS Y RAICILLAS DE PLANTACIONES DE CACAO, NAPO, ECUADOR.”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICA

AUTORAS: GÉNESIS TAHIS PALACIOS VELOZ

JOSELYN MICHELLE TORRES GALLO

DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRIA GUADALUPE

Riobamba-Ecuador

2023

© 2023, Joselyn Michelle Torres Gallo & Génesis Tahís Palacios Veloz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Joselyn Michelle Torres Gallo y Génesis Tahís Palacios Veloz, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de abril del 2023



Joselyn Michelle Torres Gallo

CI: 180439400-3

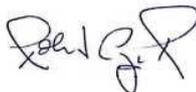
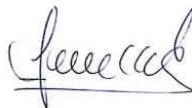


Génesis Tahís Palacios Veloz

CI: 080270870-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación “**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS Y RAICILLAS DE PLANTACIONES DE CACAO, NAPO, ECUADOR.**”, realizado por las señoritas: **JOSELYN MICHELLE TORRES GALLO Y GÉNESIS TAHÍS PALACIOS VELOZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-04-04
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-04-04
Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval, PhD. MIEMBRO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-04-04

DEDICATORIA

No existen palabras para describir la emoción que siento al cumplir una meta más es por ello que este trabajo de Integración Curricular se la dedico en primer lugar a Dios, quien fue el que guio mis pasos, y cada día me llena de sabiduría para adquirir nuevos conocimientos. A mis personas favoritas en el mundo, mis padres Manuel y Fani que son un ejemplo intachable de perseverancia, los cuales con su paciencia, cariño y apoyo han estado a mi lado para nunca rendirme y así lograr todos mis objetivos. A mis abuelitos, mis segundos padres que siempre han estado pendientes de mi bienestar y me llenan de cariño, en especial a papá Fausto, quien es el que celebro mis alegrías, triunfos y fue el apoyo fundamental para ser la persona que soy hoy en día y que desde el cielo me está cuidando. A mis hermanos David y Nicole que son mis mejores amigos, sin lugar a dudas nunca me han defraudado porque con su apoyo y ayuda han estado siempre disponibles para mí. Al mejor confidente, Wilson que sin dudarle siempre está a mi lado apoyándome, inclusive en momentos malos y me motiva a ser mejor persona cada día; y a mis amigos, Paola, Dany, David, Henry y Vanesa por brindarme su valiosa amistad, quienes con sus locuras siempre me han sacado una sonrisa, sobre todo por sus buenos consejos y apoyo.

Joselyn

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios, que me ha permitido un día más de vida, mis padres Roxana y Segundo por siempre estar para mí en todo momento, por ser mi apoyo incondicional, por formar la mujer que hoy en día soy, a mis hermanos Sergio y Carlos que estuvieron presentes en el trayecto brindándome su apoyo, a mi Profesora de Química del colegio la cual hizo que me inclinara por la Ciencia; a mis amigos Vanesa, Adriana, Estefanía por su incondicional amistad y especial mención a David y Melany por estar para mí en los buenos momentos pero sobre todo nunca dejarme sola en los malos momentos. Sin dejar de lado a la honorable Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que junto con sus docentes me han dado las herramientas claves para mi formación profesional para el futuro.

Tahís

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios quien con su amor y bondad es el que guía nuestros caminos, y nos llena de fuerzas para culminar cada meta propuesta, también a nuestros padres quienes nos han enseñado desde pequeñas que la constancia es la clave fundamental para el éxito, a nuestros familiares y amigos que están presentes en cada paso que damos. A nuestra querida institución la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH” o como nosotros le decimos de cariño “la Poli”, quien nos acogió de primera instancia para llenarnos de conocimientos y aprendizajes. A nuestros queridos profesores, en especial a la Ing. Erika Cazorla, Doc. Mauricio Álvarez, Químico. Jefferson Batista, Ing. Gina Álvarez, Dra. Norma Erazo, Ing Franklin Carbo quienes han sido nuestros guías en este proceso de aprendizaje, finalmente queremos agradecer a la Dra. Magdy Echeverría que es nuestra directora, por confiar en nosotras, por ser nuestra guía, consejera, y apoyo fundamental para la realización de este Trabajo de Integración Curricular.

Joselyn & Tahís

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO 1

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Marco teórico	5
1.2.1. <i>Cacao</i>	5
1.2.2. <i>Cacao Fino de Aroma</i>	6
1.2.3. <i>Contaminación de suelo por metales pesados</i>	7
1.2.4. <i>Biodisponibilidad de metales pesados</i>	8
1.2.5. <i>Simbiosis</i>	9
1.2.6. <i>Cadmio</i>	10
1.2.7. <i>Toxicidad de cadmio</i>	11
1.2.8. <i>Mecanismos de absorción del Cadmio</i>	12
1.2.9. <i>Presencia de cadmio en cacao ecuatoriano</i>	13
1.2.10. <i>Contenido de Cadmio en las raicillas de las plantas de cacao</i>	15
1.2.11. <i>Contenido de Cadmio en los suelos de las plantas de cacao</i>	16
1.2.12. <i>Fuentes de acumulación de cadmio en el suelo</i>	17
1.2.13. <i>Espectroscopía de absorción atómica</i>	18
1.2.14. <i>Humedad del suelo</i>	18
1.2.15. <i>pH del suelo</i>	19
1.2.16. <i>Conductividad eléctrica</i>	20
1.2.17. <i>Carlos Julio Arosemena Tola</i>	21

CAPÍTULO 2

2. MARCO METODOLÓGICO	22
2.1. Diseño experimental	22
2.1.1. Tipo de investigación	22
2.1.1.1. <i>Por el método de investigación: cuantitativa</i>	22
2.1.1.2. <i>Según el objetivo: aplicada</i>	22
2.1.1.3. <i>Según el nivel de profundización en el objeto de estudio: explicativa</i>	22
2.1.1.4. <i>Según la manipulación de variables: pre-experimental</i>	23
2.1.1.5. <i>Según el tipo de inferencia: deductiva</i>	23
2.1.1.6. <i>Según el periodo temporal: transversal</i>	23
2.1.1.7. <i>Por la condición de estudio: laboratorio / campo</i>	23
2.1.2. Unidad de análisis	23
2.2. Metodología	24
2.2.1. <i>Localización del estudio</i>	24
2.2.2. <i>Población de estudio</i>	24
2.2.3. <i>Tamaño de la muestra</i>	25
2.2.4. <i>Método de muestreo</i>	25
2.3. Técnicas	25
2.3.1. <i>Materiales y reactivos</i>	25
2.3.1.1. <i>Reactivos</i>	25
2.3.1.2. <i>Materiales</i>	25
2.3.1.3. <i>Equipos</i>	26
2.4. Humedad del suelo	26
2.5. Densidad aparente del suelo	26
2.6. Porosidad del suelo	27
2.7. pH del suelo	27
2.8. Conductividad eléctrica del suelo	28
2.9. Contenido de Cadmio en suelos y raicillas de plantaciones de cacao	28

CAPÍTULO 3

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. Parámetros fisicoquímicos del suelo	30
3.1.1. <i>Humedad</i>	30

3.1.2. <i>Densidad aparente</i>	34
3.1.3. <i>Porosidad del suelo</i>	38
3.1.4. <i>Conductividad eléctrica</i>	42
3.1.5. <i>pH</i>	45
3.2. Contenido de Cadmio en el suelo de las plantaciones de Cacao	50
3.3. Contenido de Cadmio en raicillas de las plantaciones de cacao	55
3.3.1. <i>Suelos Vs Raicillas</i>	60

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Densidad aparente del suelo según la textura.....	27
Tabla 2-2: Clasificación de la densidad aparente en los suelos.	27
Tabla 3-2: Clasificación de la porosidad del suelo.	27
Tabla 1-3: Porcentaje de humedad.	30
Tabla 2-3: Porcentaje de humedad por diseño de bloques.....	31
Tabla 3-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) del porcentaje de humedad.	32
Tabla 4-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.....	32
Tabla 5-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad en las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.	32
Tabla 6-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.	32
Tabla 7-3: Cálculo de la densidad aparente del suelo.....	34
Tabla 8-3: Densidad aparente por diseño de bloques.	35
Tabla 9-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la densidad aparente.....	36
Tabla 10-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo en los cuatro conglomerados.....	36
Tabla 11-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo en dos profundidades.	36
Tabla 12-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo.....	36
Tabla 13-3: Cálculo de la porosidad total del suelo.....	38
Tabla 14-3: Porosidad total del suelo por diseño de bloques.....	39
Tabla 15-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la porosidad total, del suelo.....	40
Tabla 16-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.	40
Tabla 17-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.	40
Tabla 18-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo.....	40
Tabla 19-3: Conductividad eléctrica.	42
Tabla 20-3: Conductividad eléctrica por diseño de bloques.	43
Tabla 21-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la conductividad eléctrica en las muestras de suelo.	43
Tabla 22-3: Prueba: LSD Fisher de la CE. en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.....	44

Tabla 23-3: Prueba: LSD Fisher de la CE. suelo en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.....	44
Tabla 24-3: Prueba: LSD Fisher de la CE en las muestras de suelo en los conglomerados C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.....	44
Tabla 25-3: pH del suelo.....	46
Tabla 26-3: Determinación de pH por diseño por bloques.....	47
Tabla 27-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) del pH.....	47
Tabla 28-3: Prueba: LSD Fisher del pH en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.....	48
Tabla 29-3: Prueba: LSD Fisher del pH en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	48
Tabla 30-3: Prueba: LSD Fisher del pH en los conglomerados C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	48
Tabla 31-3: Valores de la lectura de cadmio en el equipo de espectroscopía de absorción atómica de las muestras de suelos.....	50
Tabla 32-3: Contenido de Cd presente en suelos.....	50
Tabla 33-3: Determinación del contenido de cadmio en los suelos por diseño de bloques.....	51
Tabla 34-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la concentración de cadmio en el suelo.....	52
Tabla 35-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo conglomerados C1, C2, C3 y C4.....	53
Tabla 36-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	53
Tabla 37-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo en cuatro conglomerados a dos profundidades.....	53
Tabla 38-3: Gramos de raicillas tomados para la digestión ácida.....	55
Tabla 39-3: Valores de la lectura de cadmio en el equipo de espectroscopía de absorción atómica de las muestras de raicillas.....	55
Tabla 40-3: Contenido de cadmio en raicillas.....	56
Tabla 41-3: Determinación del contenido de cadmio en raicillas por diseño de bloques.....	57
Tabla 42-3: Cuadro de análisis de varianza (sc tipo III) del contenido de cadmio en raicillas.....	58
Tabla 43-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.....	58
Tabla 44-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	58
Tabla 45-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en los conglomerados C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.....	59
Tabla 46-3: Prueba T para muestras apareadas suelo y raicillas.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Disponibilidad de cadmio en las plantas de cacao.	9
Ilustración 2-1: Origen del Cd en las plantaciones de cacao.....	11
Ilustración 3-1: Procesos de las raicillas para un metal pesado de un ion divalente.....	13
Ilustración 4-1: Circulación del cadmio en el medio.	14
Ilustración 5-1: Estructura de las raicillas/raíz de las plantas de cacao.....	15
Ilustración 6-1: Trayectoria que recorre el cadmio desde el suelo hacia el fruto.	17
Ilustración 1-2: Localización del estudio.....	24
Ilustración 1-3: Coordenadas de los puntos de estudio. Finca Estrella del Oriente-Napo- Ecuador.....	29
Ilustración 2-3: Porcentaje de humedad de muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.....	33
Ilustración 3-3: Densidad aparente del suelo.	37
Ilustración 4-3: Porosidad del suelo	41
Ilustración 5-3: Conductividad eléctrica en las muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.....	45
Ilustración 6-3: pH de las muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.....	49
Ilustración 7-3: Contenido de cadmio en suelos de plantaciones de cacao en diferentes conglomerados a diferentes profundidades.....	54
Ilustración 8-3: Contenido de cadmio en raicillas de plantaciones de cacao en cada conglomerado a diferentes profundidades.	59
Ilustración 9-3: Comparación del contenido de cadmio de muestras de suelo y raicillas.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO DE SUELOS Y RAICILLAS

ANEXO B: HUMEDAD DEL SUELO

ANEXO C: pH DEL SUELO

ANEXO D: CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO

ANEXO E: CONTENIDO DE CADMIO EN RAICILLAS

ANEXO F: CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS

ANEXO G. EQUIPO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

ANEXO H. ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL EQUIPO DE
ELECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LAS MUESTRAS DE
RAICILLAS Y SUELOS DDE LAS PLANTACIONES DE CACAO.

LISTA DE ABREVIATURAS

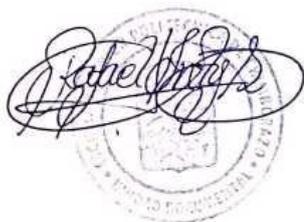
Cd	Cadmio
OMS	Organización Mundial de la Salud
ppm	Partes por millón
UE	Unión Europea
AAS	Espectroscopia de absorción atómica
CE	Conductividad Eléctrica
CEa	Conductividad eléctrica del suelo
CEe	conductividad eléctrica del extracto saturado
PEA	Población económicamente activa
M.H	Muestra Húmeda
M.S	Muestra Seca
%H	Porcentaje de Humedad
H_a	Hipótesis alternativa
H_o	Hipótesis nula
Da	Densidad aparente

RESUMEN

El contenido de Cadmio en las plantaciones de cacao es un problema que actualmente aqueja a las regiones cacaoteras del país, debido a que este es un metal de alta peligrosidad tanto para la salud de los seres humanos como también para las plantas y animales. En el presente estudio se determinó la concentración de cadmio de suelos y raicillas de plantaciones de cacao por el método de espectroscopia de absorción atómica (AAS) a partir de digestión ácida en la finca “Estrella del Oriente”, Carlos Julio Arosemena Tola, Napo, Ecuador, con la variedad fino de aroma (*Theobroma Cacao L.*). Se recolectaron un total de 24 muestras compuestas de suelo y 24 de raicillas, tomadas a dos diferentes profundidades. Los parámetros fisicoquímicos llevados a cabo en las muestras de suelo se realizaron mediante métodos gravimétricos. Los resultados indican que existe mayor concentración de cadmio en raicillas con una media obtenida de 0,55 mg/Kg en el conglomerado 4 a la profundidad de 0-15 cm y menor concentración con una media de 0,45 mg/Kg en el conglomerado 3 a la profundidad 15-30 cm, considerando que este se encontraba en simbiosis con cítricos, mientras que para el suelo, con mayor concentración de cadmio en el conglomerado 4 a la profundidad 0-15 cm con una media de 0,41 mg/Kg y menor concentración con una media de 0,35 mg/Kg en el conglomerado 3 a la profundidad 15-30 cm, concluyendo así que las concentraciones de cadmio tanto para suelos y raicillas se encuentran dentro del rango establecido por la Normativa de la Unión Europea N°2021/133, para los suelos agrícolas. Se recomienda ampliar las evaluaciones del contenido de cadmio en suelos de plantaciones de cacao a nivel Nacional con el fin de mantener actualizados los valores de concentraciones de cadmio de cada región.

Palabras clave: <PLANTACIONES DE CACAO>, < CACAO FINO DE AROMA>, < CONCENTRACIÓN DE CADMIO>, <RAICILLAS>, <SUELO>.

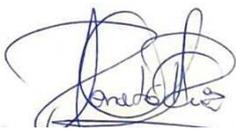
0704-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The content of Cadmium in cocoa plantations is a problema that currently afflicts the cocoa regions of the contry because this is a metal of high danger to the health of human beings, plants, and animals. In the present study, the concentration of cadmium in soils and rootlest of cocoa plantations was determinated by the atomic absorption spectroscopy (AAS) method from acid digestión on the farm “Estrella del Oriente”, Carlos Julio Arosemena Tola, Napo, Ecuador, with the fine aroma variety (*Theobroma cacao* L.). a total of 24 composite soil and 24 rootlet samples are collected, taken at two different depths. The physicochemical parameters carried out in the soil samples were performed by gravimetric methods. The results indicate that there is a higher concentration of cadmium in rootlets with an average obtained of 0.55 mg/Kg in cluster 4 at the depth of 0-15 cm and a lower concentration with an average of 0.45 mg/Kg in cluster 3 at depth 15-30 cm, considering that this was in symbiosis with citrus, while for soil, with a higher concentration of cadmium in conglomerate 4 at depth 0-15 cm with an average of 0.41 mg/Kg and lower concentration with an average of 0.35 mg/Kg in cluster 3 at depth 15-30 cm, thus conclunding thad cadmium concentrations for both soils an rootlets are within the range established by European Union Regulation No. 2021/133, for agricultural soils. It is recommended to expand the assessments of cadmium content in cocoa plantation soils at the national level to keep each region’s cadmium concentration values up to date.

Keywords: <COCOA PLANTATIONS>, < FINE AROMA COCOA>, < CADMIUM CONCENTRATION>, <ROOTLETS>, <SOIL>.



Lic. Edison Renato Ruiz López

CI: 0603957044

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

El cadmio es un contaminante de alta peligrosidad cuya movilidad depende de varios factores, como el pH, el potencial redox y la cantidad de materia orgánica, este varía según el entorno local (Sánchez, G. 2016: p.1) y a su vez tiene poder bioacumulativo (Florida, N. 2021: p. 117). En general, el cadmio se une fuertemente a la materia orgánica del suelo; de esta forma, puede ser absorbido por las plantas e incorporado a la cadena alimentaria (Sánchez, G. 2016: p.1).

Enunciado del problema

El cadmio en el suelo es el resultado de una combinación de procesos naturales y humanos. Los procesos naturales incluyen la meteorización de las rocas, la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos, mientras que los procesos humanos incluyen la minería y la actividad industrial, así como otras actividades como la agricultura, el riego y la fertilización (Rodríguez, N., et al. 2019: p. 6-15).

Los niveles más altos de cadmio reportados en los granos de cacao, en diferentes regiones, así como la diversidad en la topografía, indican que los suelos en algunas regiones pueden ser naturalmente ricos en cadmio. El aumento del nivel de cadmio en el suelo aumenta la absorción de cadmio en las plantas; por lo tanto, la exposición humana a través de los cultivos es susceptible a niveles elevados de cadmio en el suelo. El pH es considerado un indicador primordial para la absorción del cadmio, cuando el pH del suelo es bajo, Huaraca, J. (2020) menciona que la planta va a absorber más cadmio debido a que se encuentra en una relación lineal indirecta. Sin embargo, la normativa de la Unión Europea para los suelos agrícolas dictamina que las concentraciones máximas de metales pesados es 3 ppm en el caso del Cadmio (Huamaní, H., et al. 2012: p. 339-344).

Formulación del problema

¿Cómo difiere el contenido de Cd en suelos y raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad de fino aroma (*THEOBROMA CACAO L.*) en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola-Napo-Ecuador?

Justificación

El Cadmio es considerado por la OMS como un contaminante de alta peligrosidad para la salud de los seres humanos así también como para las mismas plantas y animales, a pesar de encontrarse en bajas concentraciones puede causar efectos tóxicos al ambiente (López, M., et al. 2021: p. 1-20). La absorción de metales pesados por las plantas de cacao en general son el primer paso para que estos sean incorporados a la cadena alimenticia, posteriormente su acumulación dependerá de la movilidad de dichos metales desde el suelo a la raíz de la planta (Prieto, J., et al. 2009: p. 29-30).

El cacao tiene mayor sensibilidad de absorción del cadmio (Cd^{2+}), este metal se moviliza mediante el jugo y la pulpa hasta la almendra del cacao, dándose la contaminación en cultivos cercanos (Reinoso, K. 2021: p.1-65). La presencia de metales pesados en frutos presenta una relación directa con la composición del suelo, disponibilidad de estos elementos y por procesos metabólicos intrínsecos de los cultivos (Araujo, L. 2016: p. 56-75).

En Ecuador, la norma NTE INEN 621:2010 establece los requisitos para el chocolate cuyos niveles máximos permitidos para algunos metales son: As (0,5 mg/kg); Cu (15 mg/kg); Pb (1 mg/kg), sin embargo, no se ha establecido ningún nivel para la presencia del cadmio (INEN, 2010). La normativa de la Unión Europea N° 2021/133 establece que los niveles máximos del contenido de cadmio en el fruto del cacao son de 0,5 ppm y 0,8 ppm por la CODEX Alimentarium y en el suelo agrícola establece que las concentraciones máximas de metales pesados es 3 ppm en el caso del Cadmio (Huamaní, H., et al. 2012: p. 339-344; Comisión de la Unión Europea. 2021: p. 1-6). La presencia de cadmio en la planta causa la reducción en la fotosíntesis, la absorción de agua y la absorción de nutrientes provocando clorosis, inhibición del crecimiento, pardeamiento de las puntas de las raíces y, finalmente, la muerte (Santander W. et al., 2021: p. 39-49).

La finalidad del presente trabajo es determinar la bioacumulación del cadmio en las raicillas y suelo de las plantaciones de cacao por la técnica de espectroscopia de absorción atómica, y comparar con la normativa de la Unión Europea, mismo que tiene el aval del proyecto “Medios de vida como estrategias para la planificación y gestión en la adaptación basada en ecosistemas - PACHA”, y la supervisión del “Grupo de Investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático “(GIDAC) y la Universidad de Santiago de Compostela, España.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Evaluar la concentración de cadmio en el suelo y raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad de fino aroma (*Theobroma Cacao L.*) en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola -Napo-Ecuador.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelos de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (*Theobroma Cacao L.*) recolectadas en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola-Napo-Ecuador.
- Cuantificar las concentraciones de cadmio en las muestras de suelo y raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad fino aroma (*Theobroma Cacao L.*) por medio de la técnica de espectroscopía de absorción atómica.
- Comparar el contenido de Cadmio en el suelo y raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad fino aroma (*Theobroma Cacao L.*) de acuerdo con la normativa de la Unión Europea.

Hipótesis

H_0 = No existe diferencia en el contenido de cadmio en suelos y raicilla de plantas de cacao de la variedad fino de aroma (*Theobroma Cacao L.*) del cantón Carlos Julio Arosemena Tola-Napo-Ecuador.

H_a = Existe diferencia en el contenido de cadmio en suelos y raicillas de plantas de cacao de la variedad fino de aroma (*Theobroma Cacao L.*) del cantón Carlos Julio Arosemena Tola-Napo-Ecuador.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Guevara, G. (2021) desarrollo diversos ensayos fisicoquímicos en suelos y en almendras de cacao. La caracterización del suelo presente tubo una textura areno francosa, con valores de pH moderadamente ácidos, el contenido de materia orgánica del suelo de la variedad CCN51 fue catalogada de clase alta y en el suelo de la variedad Fino de Aroma es clase media, los minerales que se encuentran en el mismo fueron determinados clase alta y finalmente el nivel de cadmio fue normal, sin embargo, el contenido de Cd en las almendras presentó concentraciones inferiores a 0,80 mg/kg obtenido en el equipo de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito.

Zambrano, D. (2018), utilizó el diseño AxBxC con 48 tratamientos y 2 repeticiones, donde las muestras fueron sometidas a un análisis de mineralización por vía seca y espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito, los resultados obtenidos evidenciaron que los niveles máximos fueron de 0,28 mg/Kg en el sistema de secado asfalto, para la variedad CCN51 y la Nacional, en cambio hubo valores mínimos de 0,10 mg/Kg en la variedad Nacional en el sistema de secado en tendal de cemento. Por lo cual no se sobrepasa el límite de 0,80 mg/kg estableció la UE para chocolate.

Blommaert, H (2019) menciona que el cadmio esta acumulado en el suelo, específicamente en la capa superior a una profundidad de 0-15 cm y en la capa subsuperficial a la profundidad de 15-30 cm de las plantaciones de cacao. Sin embargo, cuando se realiza prácticas agrícolas el suelo suele modificarse de los 12 cm a los 18 cm de la capa superior, esta parte es la zona principal donde se desarrollan las raicillas de las plantas y de las cuales absorbe la mayor cantidad de nutrientes y humedad del agua.

Reinoso, K. (2021) realizó un estudio recolectando tres muestras de suelo y tres de almendras de cacao en las comunidades Pimampiro, Los Ángeles y Amarun Mesa, el cual analizo el pH, CE, tipología y textura en las muestras compuestas de suelo; además, de la cantidad de ceniza y humedad en las muestras compuestas de almendras de cacao, y determinó la concentración de Cd en el suelo mediante el equipo de espectroscopía de absorción atómica. Como resultado se concluyó que la mayor parte de las muestras presentaron pH ácidos y la concentración de cadmio cumplió con lo establecido en la normativa de calidad que es 0.5 mg/kg.

Mite et al. (2010) realizó el análisis de suelo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica el cual tuvo como resultado que en dos localidades de la provincia de Esmeraldas existen valores a 0,88 mg kg⁻¹ en los primeros 5 cm, en Los Ríos y Manabí, presentan mayor contenido de Cd en la primera capa, en la provincia del Guayas, existe mayor contenido de cadmio en los primeros centímetros de profundidad, en la provincia de El Oro se encuentra contaminación por este metal en la capa superficial con valores que sobrepasan los 2,00 mg/kg, de concentración crítica, finalmente en las provincias del oriente los valores se encuentran dentro del límite permisible.

Bravo, I., et al (2014) menciona que la mayor parte del cadmio proviene de suelos que son afectados por interperismo y actividades antropogénicas por ello se ve asociado a las diversas formas absorbentes, como son: la movilidad y la alta solubilidad, por lo cual existen niveles bajos de cadmio y su biodisponibilidad depende de factores antropogénicos.

Prieto, J., et al (2009) en su investigación mencionó que el cadmio tiene carácter no biodegradable produciendo toxicidad en los cultivos, y la biodisponibilidad puede llegar a ser peligrosa, siendo esta relaciona con algunas características fisicoquímicas del suelo, así como también la fitotoxicidad de los metales. También indica que en Ecuador existen valores medios más altos los cuales han sido reportados por revistas científicas indexadas y arbitradas cuyos niveles de Cd fueron comparados con los límites que propone la UE.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Cacao

La palabra "cacao" se deriva del olmeca y del maya "kakaw" (Waizel, S., 2012: p. 237). La domesticación de la misma data alrededor del año 2000 A.C, sin embargo, algunas investigaciones han indicado que la existencia del cacao original se utilizó desde hace más de 5.500 años (Vidal, G., 2018: p. 24-45). Desde la antigüedad ha sido comercializado como materia prima, cuyo origen principal fue en América del Sur, encontrándose mayor diversidad genética donde sus semillas son usadas principalmente para la elaboración de chocolate (Waizel, S., 2012: p. 38-239). Las plantas de cacao se cultivan en bosques y selvas tropicales de las regiones cálidas y húmedas (Wuellins, D., et al., 2019: p. 1-104). Los tipos de suelos para las plantaciones de cacao son: i) arcillosos muy erosionados; ii) arenas volcánicas; iii) limosos (pH: 4-7). Para que la planta de cacao tenga un crecimiento óptimo es necesario que el suelo sea franco arcilloso con alto contenido de materia orgánica (Blommaert, H. 2019: p 20).

El cacao en grano se clasifica de la siguiente manera: i) Fino de aroma, cacao arriba o conocido también como Nacional.; ii) Común o CCN-51. La variedad de cacao fino de aroma es la causante de que Ecuador sea denominado como el primer país productor y exportador, se distingue por su aroma y sabor debido las condiciones geográficas y climáticas del Ecuador, según los expertos, otorga pureza a los aromas y notas frutales y florales (Vidal, G., 2018: p. 24-45).

El fruto del cacao es comúnmente conocido como nuez, es una baya acanalada, oblonga, de color amarillo rojo, de hasta 20 cm de largo, que contiene externamente 30-40 semillas de color marrón rojizo y está cubierta con una pulpa comestible de color blanco dulce. Esta planta da muchas flores en racimos a lo largo del tallo y las ramas, mide de 3 a 4 metros de alto, es de color rosa, morado y blanco, de tamaño pequeño, de 0,5-1 cm de diámetro, 2-2,5 cm de largo, en forma de estrella (Salas, S., 2015: p. 32-39).

El cacao es una planta con fines de alimentación, que se aprovecha particularmente su semilla como especie y sustancias aromáticas, se lo utiliza en la industria alimenticia, cosmética, farmacéutica, entre otras. A partir de las almendras fermentadas y secas se prepara el licor de cacao, manteca de cacao, polvo de cacao y el chocolate, etc. Por otra parte, está asociado con numerosos beneficios para la salud, sobre todo la mejora de los factores que afectan el sistema cardiovascular (Waizel, S. 2012: p. 236-245).

1.2.2 Cacao Fino de Aroma

El cacao fino de aroma o también denominado cacao nacional es la variedad más importante a nivel internacional y representa del 6-8% de la producción mundial, convirtiéndose así en el principal reto para la producción cacaotera del Ecuador aportando en su mayoría con un 54% del rubro. De este modo el cacao se convirtió en el principal producto exportable de la canasta ecuatoriana y aporta el 5% del PEA (Cedeño, E., & Dilas, J. 2021: p. 8-11).

En el Ecuador de 21 a 24 provincias se da la producción del cacao y existen aproximadamente 590000 hectáreas plantadas a nivel nacional (Cedeño, E., & Dilas, J. 2021: p. 8-11).

Este cacao es un forastero autóctono del bosque húmedo ecuatoriano, produce almendras de gran tamaño, con semillas ligeramente marrones que se desarrollan si tienen un correcto proceso de siembra y cosecha, presenta un aroma a chocolate delicado acompañado por un sabor floral este se lo describe como sabor Arriba (Sosa, A. 2019: p. 1-48).

En la actualidad, la comercialización del Cacao Fino de Aroma se da hacia el mercado interno y externo en distintas presentaciones: en grano (crudo, tostado, residuos), o industrializado (pasta de cacao, manteca, cacao en polvo, chocolate etc.) En el mercado externo el cacao industrializado se comercializa bajo cuatro presentaciones: licor, manteca, polvo y torta. El cacao en grano se comercializa bajo los siguientes parámetros de calidad (Sosa, A. 2019: p. 1-48).

1.2.3 Contaminación de suelo por metales pesados

La contaminación del suelo por metales pesados se considera ahora muy importante debido a la presencia de concentraciones que son nocivas y altera negativamente sus propiedades químicas, físicas y biológicas, provocando la autodepuración en sus horizontes superficiales (Morocho, J., & Puente, B. 2019: p.85-91). Los metales pesados se encuentran presentes en el suelo como componentes naturales o también como consecuencia de la actividad antropogénica como son industria minera o geológicas naturales de los desgastes de los cerros y volcanes. Este tipo de metales se encuentran presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Prieto, J., et al., 2009: p. 30).

Los metales pesados son denominados oligoelementos suelen ser aprovechados como micronutrientes para cultivos, también suelen ser necesarios para que los organismos concluyan con su etapa vital, por eso si sobrepasan cierto límite son tóxicos. Del mismo modo, existen metales pesados que no cumplen una función biológica específica, que al encontrarse presente en los seres vivos en ciertas cantidades conducen a un mal funcionamiento del organismo. El Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl son metales extremadamente tóxicos y exhiben la propiedad de almacenarse en los organismos vivos (Prieto, J., et al., 2009: p. 30).

Dichos metales pesados tienen la tendencia de acumularse en la superficie del suelo el cual queda accesible para que las raíces de los cultivos los absorban. Por lo cual las plantas que se encuentran cultivadas en los suelos contaminados absorben más oligoelementos, y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está relacionados con frecuencia con la abundancia en los suelos, y especialmente cuando estos son húmedos, la excesiva concentración de metales pesados en el suelo logra que la calidad de los alimentos, la salud medioambiental, la seguridad en la producción de cultivos, provocando que esto se incorpore en la cadena alimenticia por medio del consumo de plantas, animales y estos a su vez por humanos (Puga, S., et al. 2006: p. 149-150).

Los factores que predominan en la dispersión de dichos metales son propios del suelo, como son el pH, el potencial redox, la composición iónica de la solución del suelo, la capacidad de

intercambio iónico, carbonatos, etc. La índole de la contaminación y la procedencia de los metales, al igual que la manera de su deposición y condiciones medio ambientales generan acidificación, alteraciones en las propiedades redox, alteración de temperatura y humedad en los suelos (Prieto, J., et al., 2009: p. 31). Por ello la contaminación del suelo a menudo no se puede evaluar o percibir directamente a simple vista, lo que la convierte en un peligro potencial y a su vez reduce la seguridad alimentaria al disminuir la productividad agrícola debido a los niveles tóxicos de contaminantes haciendo que los cultivos que crecen en suelos contaminados no sean aptos para el consumo humano y animal. Los contaminantes también dañan directamente a los microorganismos del suelo y a los organismos más grandes del suelo afectando así la biodiversidad del suelo y los servicios proporcionados por los organismos afectados (Rodríguez, N., et al. 2019: p. 20-22).

1.2.4 Biodisponibilidad de metales pesados

La biodisponibilidad se encuentra sujeta a la solubilidad y movilidad de los metales en la solución del suelo. Solo los metales asociados a las fracciones solubles e intercambiables están realmente disponibles para las plantas. En el suelo, los metales trazan se encuentran en diversas formas químicas y físicas, de las cuales no todas están disponibles, o biodisponibles, para la absorción por parte de organismos vivos. El contenido de cadmio del suelo puede ser seccionado en tres fracciones anidados en función de la biodisponibilidad: total, cadmio intercambiable y cadmio en la solución de suelo (González, E., et al., 2011: p. 298).

La fracción total es aquella que abarca cadmio intercambiable, en la solución de suelo y no intercambiable, por esa razón este metal pesado no está disponible y es poco probable que ingrese a la fracción intercambiable durante décadas, siglos o incluso más (Vila, M. 2018: p. 34-40).

La fracción intercambiable consiste en iones de cadmio adsorbidos en las superficies reactivas de la materia orgánica del suelo, también en óxidos metálicos hidratados ordenados de corto alcance, finalmente partículas de arcilla, y a su vez están potencialmente disponibles para la absorción por parte de la planta (Vila, M. 2018: p. 34-40).

La fracción en la solución de suelo se encuentra compuesta por los iones de cadmio libres o totalmente disueltos en la solución del suelo que están dispuestos a ser absorbidos (Vila, M. 2018: p. 34-40).

El movimiento desde el intercambiable hacia la solución del suelo muchas veces se ve perjudicado por el pH del mismo, el contenido de materia orgánica, también el contenido de arcilla, la

reactividad, la competencia de intercambio de cationes, la presencia de hidróxidos metálicos, la conductividad eléctrica, el contenido de macro y micronutrientes catiónicos y la presencia de microorganismos. Estas condiciones varían en espacio y tiempo y con la profundidad del suelo (Mite, F., et al., 2010: p. 18).

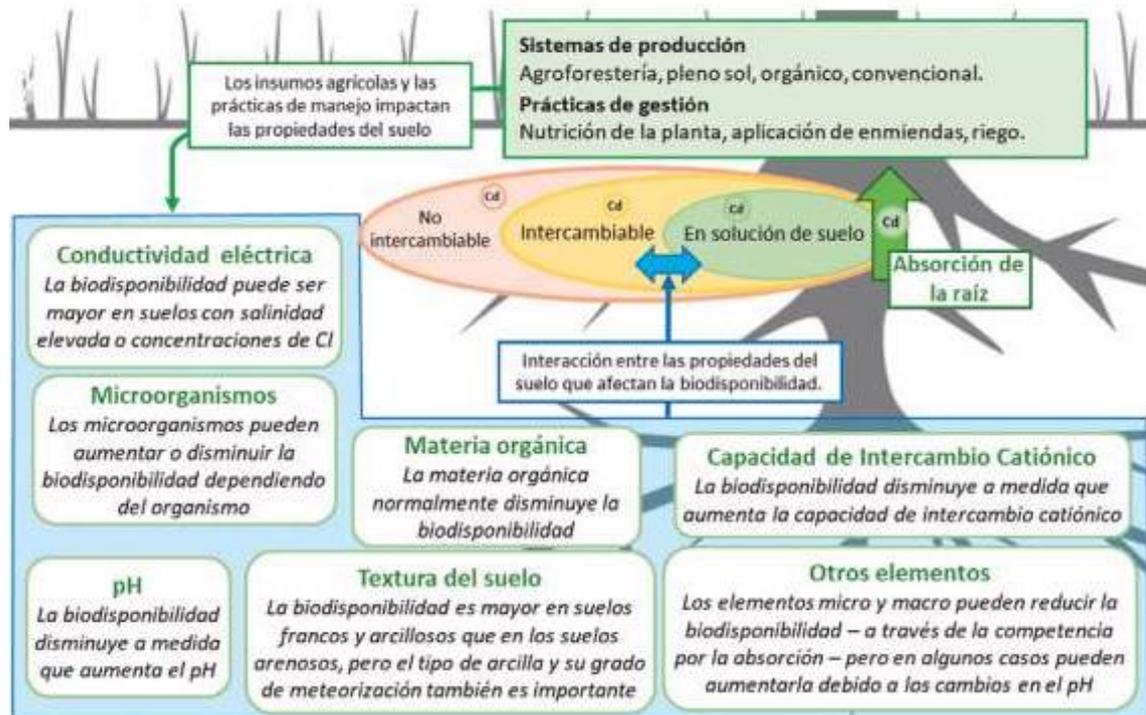


Ilustración 1-1: Disponibilidad de cadmio en las plantas de cacao.

Fuente: Meter et al. 2019.

1.2.5 Simbiosis

La simbiosis es un proceso exógeno esporádico que aumenta la complejidad genómica y la aparición de nuevos puntos en la evolución. La simbiosis bien establecida generalmente implica variación genética e intercambio entre entidades asociativas. El establecimiento de una coexistencia estable a largo plazo de entidades genéticas capaces de satisfacer requisitos independientes y ha jugado un papel importante en las células eucariotas, así como en el origen de las especies (Moya, A. 1997: p. 329-339). Este se emplea para describir un tipo de relación entre distintas especies que viven en asociación física cercana donde ninguna de ellas se ve afectada (Ochoa, J. 2020: p. 1-106).

En el sistema agrícola cacaotero se ha encontrado un conjunto de simbiosis y sinergias que regulan su actividad y funcionamiento (Arevalo, M., et al., 2017: p. 44). Existen diversos autores que describen a la simbiosis de los cultivos cítricos con efectos positivos, uno de ellos es el crecimiento de las

raíces por el aporte de los microorganismos en simbiosis (Aguirre, J., et al. 2007: p.541-546), también realizan un gran aporte los insectos y microorganismos que viven, coexisten de manera beneficiosa como pueden ser los polinizadores naturales de las plantas que son promotores de la absorción de nutrientes, el control de plagas, en algunos casos controlan los hongos (Arevalo, M., et al., 2017: p: 45-50).

1.2.6 Cadmio

El Cadmio viene del latín *cadmia* y del griego *kadmeia*, que significa “calamina”, y antiguamente recibía este nombre el carbonato de cinc (Sánchez, G. 2016: p.3).

Este metal es considerado no esencial para los seres vivos puesto que es un contaminante muy peligroso para la salud (humanos, vegetales y animales) por ello para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos es considerado como uno de los agentes tóxicos que son asociados a la contaminación industrial y ambiental puesto que tiene cuatro características: i) Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, ii) Bioacumulación, iii) Persistencia en el medio ambiente y iv) Dispersión (Romero, A., et al., 2008: p. 3-11). Su exposición puede provenir de los alimentos si están contaminados, en el agua o por inhalación de aerosoles de compuestos de cadmio y si están en excesiva cantidad producen efectos a la salud, es principalmente a nivel de riñón, cáncer y osteoporosis, por lo que el cumplimiento del tratamiento local o regulaciones internacionales es necesario para reducir o eliminar el riesgo de estas enfermedades (Pernía, B., et al., 2008: p.112-119). El contenido de cadmio en el suelo está entre 1 y 3 mg/kg. Específicamente en suelo no contaminado, el contenido de cadmio debe ser inferior a 1 mg/kg (Romero, A., et al., 2008: p. 3-11).

La movilidad de este metal pesado en el ambiente depende de varios factores físicos y químicos, entre ellos pH, óxido de hierro, potencial redox, cantidad de materia orgánica, presencia de arcilla, y cuando se libera al ambiente proviene de diversas actividades relacionadas con la minería, metalurgia, fertilización con fosfatos, fuentes industriales, incineración de residuos municipales, etc. (Pernía, B., et al., 2008: p.112-119). Una vez dentro de la raíz, la capacidad para moverse de un metal y su sitio de depósito en la planta dependerá de las características del metal, de la especie vegetal y de la edad de la planta al momento de la exposición. Generalmente, en las raíces se acumula la mayor cantidad del metal; la alta movilidad de muchos metales les permite moverse rápidamente hacia la parte aérea de la planta. El cinc y el cadmio son dos ejemplos de elementos móviles (Azpilicueta, C., et al., 2010: p. 12-16).

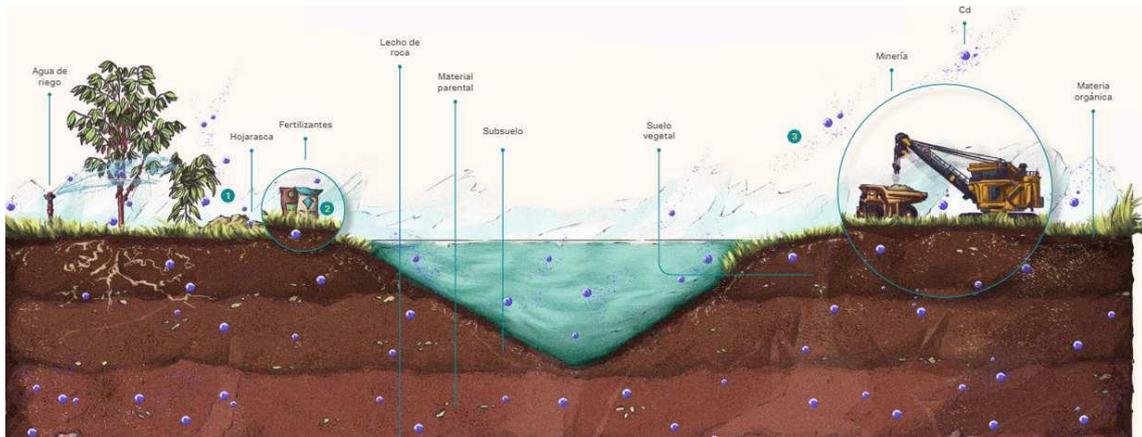


Ilustración 2-1: Origen del Cd en las plantaciones de cacao.

Fuente: Bravo, D. 2021: p. 13

1.2.7 Toxicidad de cadmio

La presencia de cadmio en el suelo es el resultado de una combinación de procesos naturales y humanos. Los procesos naturales incluyen la meteorización de las rocas, la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos, mientras que los procesos humanos incluyen la minería y la actividad industrial, así como otras actividades, como la agricultura, el riego y la fertilización (Chancay, L., et al., 2022: p. 97).

La toxicidad de metales pesados está dada en parte al estrés oxidativo que es producido por especies de oxígeno reactivo (ROS) generadas a través de diferentes mecanismos que dependen del metal que se trate. El estrés oxidativo producido por el cadmio se manifiesta por daños oxidativos a membranas tales como peroxidación lipídica, también por proteínas por formación de grupos carbonilo (Rodríguez, M., et al., 2008: p. 139-146).

Los metales pesados son un riesgo considerado para la salud y también para el ambiente (Romero, A., et al. 2008: p. 3-11), en particular el Cadmio en todos los seres humanos genera niveles altos de toxicidad, debido a esto los riñones y el hígado son los órganos principalmente afectados que presentan las concentraciones de este metal prominentes, con un contenido de alrededor el 50% de la carga corporal de este metal (Gunnar, N. 2012: p.11).

El cadmio se encuentra en forma de partículas dispersas en el ambiente y en productos químicos suministrados continuamente en la agricultura tal el caso de fertilizantes (Martínez, G., & Palacio, C. 2010: p. 28). Este metal es conocido por que tiene mayor probabilidad de acumularse en las plantas por ello se considera como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal en plantas (Reyes, Y., et al. 2016: p.68).

El cadmio provoca un grave desequilibrio en los procesos de transporte de nutrientes y agua en la planta (Reyes, Y., et al. 2016: p.68). La absorción de este metal por las plantas en suelos contaminados y su incorporación a la cadena alimenticia tiene mucho interés dado el desplazamiento de que este elemento puede alterar el metabolismo humano compitiendo con el hierro, cobre, cinc, manganeso, y selenio por poseer la condición de ligantes en los sistemas biológicos (Martínez, G., & Palacio, C. 2010: p. 28).

1.2.8 Mecanismos de absorción del Cadmio

El cadmio es un elemento no esencial para las plantas y su absorción se debe al transporte mediante procesos específicos y no específicos utilizados para iones como el Fe^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} y Mg^{2+} . Luego de ser absorbido por el sistema radicular, Cd^{2+} es transportado al xilema para llegar a las hojas. En las hojas Cd^{2+} se transporta activamente al floema desde donde llega al fruto (Meter, A., et al. 2019. p: 22-27). La absorción del cadmio en las plantaciones de cacao no solo dependerá del suelo, sino también de la planta (tipos de cacao) y de los factores de gestión (Blommaert, H. 2019: p 20).

El cadmio también puede llegar a fructificar directamente del xilema. La absorción de cadmio a través de las hojas es mucho menos notoria que con las raíces. Aunque se sugiere que la absorción de cadmio por las hojas puede ser importante para algunas especies, en el cacao es poco probable que sea significativa (Meter, A., et al., 2019. p: 22-27).

Se han identificado varias familias importantes de genes de transporte de membrana (incluidos NRAMP, ZIP, HMA) que pueden desempeñar un papel en la absorción de cadmio de la raíz y la carga, la transporta al xilema de las plantas. En muchas de las especies estudiadas, el transportador ZIP asistido por Zn^{2+} a través de la membrana celular epidérmica de la raíz es responsable de la absorción de cadmio. Además, las células de la raíz tienen un transportador HMA3 que bombea Cd^{2+} hacia la vacuola de la célula de la raíz, lo que limita el transporte de cadmio al xilema. Se observaron plantas con HMA3 mutante en arroz, soja y trigo, que fueron menos eficientes en el bombeo de Cd^{2+} en la vacuola. La sobreexpresión del mismo transportador HMA3 redujo el transporte de Cd^{2+} al germoplasma de arroz y cereales. Estas familias de genes están muy conservadas en las familias de plantas y parecen tener similitudes identificables en el genoma del cacao. Se identificaron y secuenciaron cinco genes de la familia NRAMP en cacao y se encontró que NRAMP5 codifica una proteína capaz de transportar iones Cd^{2+} en levadura. Sin embargo, aunque se ha demostrado que la proteína NRAMP es importante en la absorción de cadmio en el arroz, hasta la fecha no ha sido implicada en ningún otro cultivo. Una mejor comprensión del

papel de estos genes transportadores en la absorción y división del cadmio ayudará en la identificación de genotipos de cacao de baja acumulación para las pruebas de campo (Meter, A., et al., 2019. p: 22-27).

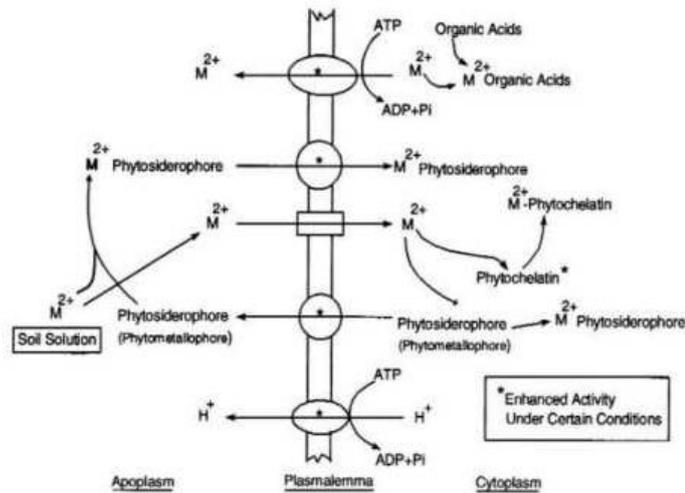


Ilustración 3-1: Procesos de las raicillas para un metal pesado de un ion divalente.

Fuente: Welch, R., Novell, W. 1999: p. 126

1.2.9 Presencia de cadmio en cacao ecuatoriano

El cacao ecuatoriano es uno de los productos con mayor significancia en el país debido a que es uno de las principales fuentes económicas y sociales. La producción del mismo en el Ecuador se encuentra en tres regiones las principalmente provincias son: i) Costa: el Guayas, Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, El Oro y Santo Domingo de los Tsáchilas; ii) Sierra: Cotopaxi, Bolívar, Cañar; iii) Amazonia: Orellana, Napo y Zamora Chinchipe (López, A. 2017: p. 4).

El contenido de metales pesados en los tejidos vegetales de algunas plantas está relacionado con la abundancia de estos metales en el suelo, especialmente el contenido de metales de la fracción soluble. Los suelos con altas concentraciones de metales pesados pueden afectar la calidad y productividad de la producción agrícola, así como la salud del medio ambiente, ya que se mueven a lo largo de la cadena alimenticia a través del consumo de plantas por parte de animales y plantas a su vez, por humanos (Zambrano, D. 2018: p.6).

Las actividades agrícolas y las actividades de origen urbano e industrial son factores principales antropogénicos para la contaminación del suelo por cadmio. La actividad agrícola contribuye a la contaminación a través del uso de fertilizantes fosfatados con un porcentaje del 3% de la contaminación, seguida de las fuentes naturales con el 21% y también el 21% con la quema de

fósiles. Además, el uso de pesticidas, estiércol, lodos, compost y lodos de plantas de tratamiento son actividades que contaminan el suelo con metales pesados (Rodríguez, N., et al. 2019: p. 10-23).

La contaminación del mismo por cadmio se evidencia en los 5 cm superiores del suelo. La gran cantidad de hojarasca es uno de los factores que facilita la presencia de este metal en la capa superior. Se encontró que, en la estación seca, el contenido de cadmio en el suelo era más alto que en la estación lluviosa, pero el cadmio en la almendra de cacao tenía más alto su concentración en la estación lluviosa. En estudios recientes también se encontró que la mayor cantidad de cadmio se encuentra en el mucílago, por lo que se deben tomar medidas postcosecha. Se estima que la mucosidad contiene ,5 veces más cadmio que la testa y 5,7 veces más que las almendras (Zambrano, D. 2018: p.6).

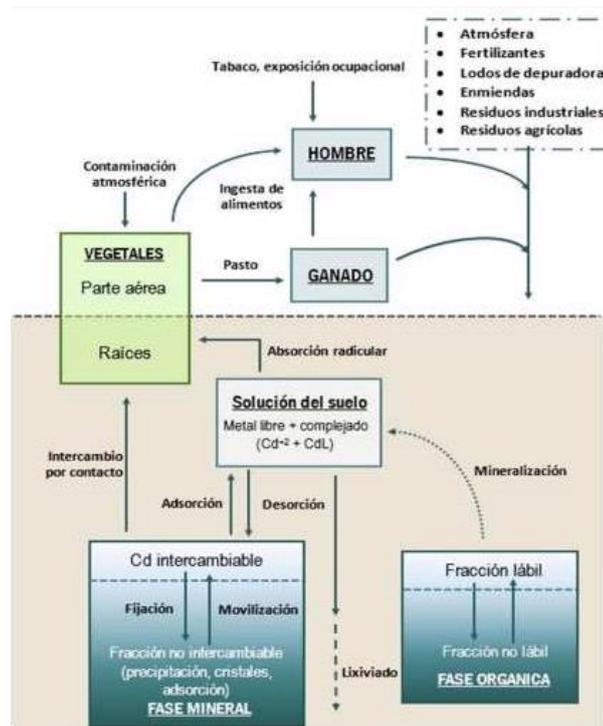


Ilustración 4-1: Circulación del Cadmio en el medio.

Fuente: Sánchez, G. 2016

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, no es muy móvil, este se convierte del 20 a 30% en fosfato dentro del primer año. El resto es fijado en el suelo mediante la formación de compuestos poco solubles que son difíciles de eliminar para las raíces a corto plazo, mejorando la situación en un tiempo más prolongado. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo y quedan disponibles para ser absorbidos por las raíces de las plantas (Rodríguez, N., et al. 2019: p. 10-23).

1.2.10 Contenido de Cadmio en las raicillas de las plantas de cacao

Las raicillas tienen carácter funcional similar que difieren normalmente en el tamaño, forma y desarrollo con distintas características jugando un papel importante en la absorción de nutrientes para la planta (Blommaert, H. 2019: p. 16-17).

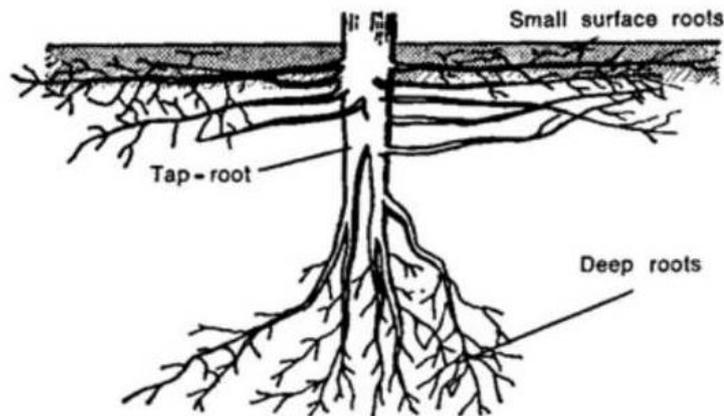


Ilustración 5-1: Estructura de las raicillas/Raíz de las plantas de cacao.

Fuente: FAO, 1970

Algunos estudios realizados en los años 2017 y 2018 determinaron que el cadmio está presente en las raicillas de las plantas de cacao debido a que estas se bioacumulan porque lo absorben del suelo y del agua, por ello este metal móvil que se halla en el suelo, es transportado desde las raicillas de la planta hacia los tallos, las hojas y los frutos (Chancay, L., et al., 2022: p. 92).

Existen transportadores catiónicos CAX los cuales intervienen en el transporte de calcio y cadmio a la vacuola; ya en las raicillas el cadmio puede transportarse mediante la xilema a través del apoplasto y del simplasto (Chancay, L., et al., 2022: p. 93).

La diferencia entre la actividad de Cd^{2+} en el citoplasma y la actividad de las raicillas en el apoplasma del potencial electroquímico es el que impulsa que las raicillas absorban el cadmio. Este potencial de membrana es negativo, relativamente grande y también es el que produce suficiente energía que impulsa que el Cd^{2+} sea captado e incluso cuando la actividad de este metal en el apoplasma es baja. La difusión de sitios de absorción de la superficie de las raicillas es el factor que limita la absorción del cadmio debido a que la concentración de este metal también puede afectar a que sea absorbido. Las raicillas de las plantas muchas veces excretan sustancias que pueden cambiar completamente la química de la solución del suelo cerca de las raicillas, alteran los efectos interiónicos y la especiación de Cadmio (Blommaert, H. 2019: p. 16-17).

1.2.11 Contenido de Cadmio en los suelos de las plantas de cacao

Generalmente, el cadmio del cacao procede del suelo. Todos los suelos del mundo poseen cadmio de manera natural, sin embargo, algunos contienen mayor cantidad que otros (Vanderschueren, R. 2021: p.2).

Las concentraciones de Cadmio en América Latina son relativamente superiores a las de África, las cuales oscilan debajo de 1 mg/Kg Cd²⁺, en gran parte de zonas cacaoteras. Esto hace referencia a que se encuentra dentro de los rangos considerados como suelos no contaminados. Algunos estudios han señalado que el cadmio en el cacao latinoamericano en su mayoría proviene de manera natural y no antropogénica, es decir, no se debe a la contaminación del suelo, aunque los insumos antropogénicos que incrementan la contaminación de cadmio en suelos suelen ser notables en casos puntuales (Vanderschueren, R. 2021: p.3-5).

La contaminación del suelo consiste en la degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo tras la acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones que superan la capacidad amortiguadora natural del suelo y alterando negativamente sus propiedades (Ortiz, B., et al., 2017: p. 12-14). Por ello las plantas expuestas a suelos contaminados con cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración (Rodríguez, S., et al. 2008: p. 143). La presencia de metales pesados en el suelo donde se cultiva el cacao altera significativamente la calidad de las almendras disponibles comercialmente (Wuellins, D., et al., 2019: p.25). La Unión Europea establece que los suelos agrícolas las concentraciones máximas de metales pesados es 3 ppm en el caso del Cadmio (Huamaní, H., et al. 2012: p. 340).

El tiempo de cadmio retenido en la capa superficial del suelo puede durar cientos de años, por ello el flujo de cadmio que suele salir a la capa superior de este metal es pequeño en comparación al contenido del mismo en el suelo. El balance de masa del cadmio también puede depender del tipo de cultivo y de las concentraciones de fertilizantes que son utilizados. Por ello se indica que el cadmio no se acumula mucho en los suelos si se realiza la correcta aplicación de este metal en los fertilizantes (Blommaert, H. 2019: p. 6).

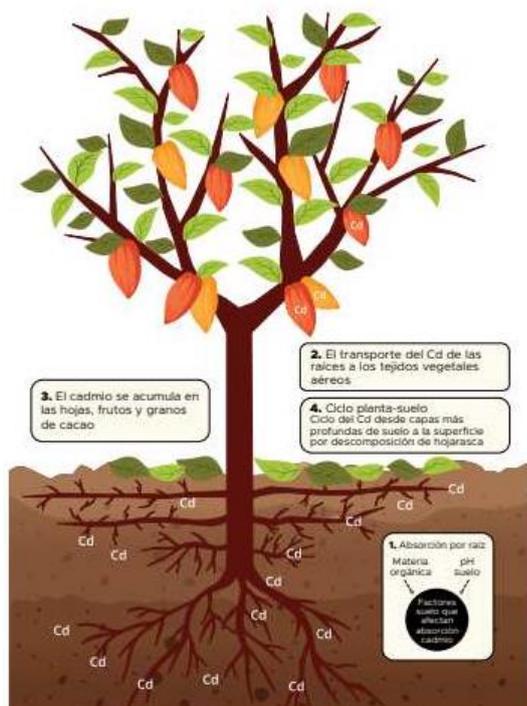


Ilustración 6-1: Trayectoria que recorre el Cadmio desde el suelo hacia el fruto.

Fuente: Vanderschueren, R. 2021

El agua de riego o inundaciones de zonas que se encuentren cercanas a riberas pueden formar parte fundamental de fuentes de cadmio en el ámbito local, en áreas afectadas por actividad industrial o minera. También se puede mencionar que existen otras propiedades primordiales del suelo para explicar el grado de acumulación de cadmio como son el pH y la materia orgánica, estos pueden cambiar mucho entre y dentro de las fincas, de esta manera se explica porque la concentración de cadmio en el cacao presenta variaciones espaciales, inclusive dentro de la misma finca (Vanderschueren, R. 2021: p. 4-5).

1.2.12 Fuentes de acumulación de cadmio en el suelo

Chancay, L., et al. (2022) Menciona que la capacidad de los cultivos de cacao de fitoacumular el cadmio en el producto final es un problema latente, debido a que se ha determinado que la sucesión de acumulación de este elemento en los tejidos de cacao se da en orden, comenzando desde la raíz, sigue el tallo, las hojas, cáscara y por último termina en el grano de cacao.

La presencia de cadmio en el suelo es el resultado de una combinación de procesos naturales y humanos. Los procesos naturales incluyen la meteorización de las rocas, la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos, mientras que los

procesos humanos incluyen la minería y la actividad industrial, así como otras actividades, como la agricultura, el riego y la fertilización (Meter, A., et al., 2019. p: 1-7).

En suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, haciéndolo disponible para las plantas. La naturaleza de la superficie adsorbente y de los ligandos orgánicos también son importantes. Se ha observado que la energía de unión para el cadmio a la materia orgánica es mayor que la de la arcilla. También hay que mencionar que el cadmio tiene una gran afinidad por los oxihidróxidos de hierro y los silicatos de aluminio como el alofán y la imogolita (Sánchez, G. 2016: p.1).

El aumento de las concentraciones de cadmio en el suelo en los últimos años a nivel mundial muestra la importancia de los procesos antropogénicos. Sin embargo, en ALC se reportaron niveles más altos de cadmio en granos de cacao en comparación con otras regiones, lo que, junto con la variación en los loci, implica que los suelos en algunas regiones pueden ser naturalmente ricos en cadmio, aunque esto no descarta el papel de fuentes hechas por el hombre, ni es una interacción entre los dos. Las fuentes se explican con más detalle en la siguiente sección (Meter, A., et al., 2019. p: 1-7).

La concentración habitual de cadmio en el suelo es de 0,07 a 1,1 mg/kg. Por otro lado, la concentración de Cd en la solución del suelo es relativamente baja y ronda los 0,26 µg/L. Un valor de 300-400 µg/L corresponde a suelo contaminado (Sánchez, G. 2016: p.1).

1.2.13 Espectroscopía de absorción atómica

La teoría de la espectroscopia de absorción atómica fue propuesta por Kirchhoff y Bunsen en 1859, basándose en sus investigaciones sobre la auto absorción en los espectros de metales alcalinos y alcalinotérreos. Esta técnica es aplicable en la detección de metales traza, tales como drogas, alimentos (pescado y carne), productos industriales, así como en agua potable y acuíferos, para la determinación de la presencia de Cu, Cd, Pb, As, Hg, etc. (Araujo, L. 2012: p. 14-16).

La espectroscopia de absorción atómica (AAS) de llama es un método muy sensible para determinar metales pesados debido a que sus líneas de absorción atómica son estrechas midiendo valores desde 0,002 nm a 0,005nm, esta técnica cuenta con una energía de transmisión electrónica única para cada metal (Gallegos, W., et al. 2012: p. 18-21).

1.2.14 Humedad del suelo

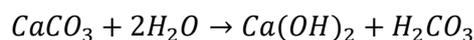
El suelo es la cubierta superficial de la mayor parte de la superficie continental de la Tierra. Es una colección no combinada de minerales y elementos orgánicos producidos por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de descomposición orgánica. Este varía mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar determinado están definidos por el tipo de material geológico en el que se forma, por la cubierta vegetal, por la meteorización, por la topografía y los cambios en el suelo causados artificialmente por las actividades humanas. El cambio de suelo en la naturaleza se produce de forma gradual, salvo los cambios provocados por catástrofes naturales. La estructura del suelo le permite actuar como soporte físico, proporcionando agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas (Schweizer, S. 2011: p. 11).

Los suelos contienen cantidades variables de agua dependiendo de su textura, estructura y contenido de materia orgánica. Una vez que el suelo está saturado por el riego o la lluvia, se produce un rápido movimiento hacia abajo (drenaje) del suelo debido a la acción de la gravedad. Durante el drenaje, la humedad del suelo se reduce continuamente y la velocidad a la que ocurre está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. Los suelos con estructura granular o suelta (no estructurada) exhiben una permeación rápida, mientras que los suelos a granel o prismáticos exhiben velocidades moderadas; y suelo estratificado y suelo grande con tasa de infiltración lenta (Alata, N. 2006: p. 13).

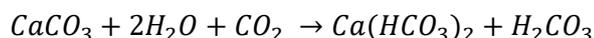
1.2.15 pH del suelo

EL pH del suelo es el primordial factor que modera la disponibilidad de los metales para las plantas. Gran parte de los metales tienden a encontrarse disponibles a pH ácido, a excepción del As, Mo, Se, Cr, los cuales tienden a permanecer disponibles a pH alcalino. En expresión de movilidad, los suelos ácidos (pH 4,2- 6,6) presentan alta movilidad para el Cd, Hg, Ni y Zn, movilidad para As y Cr y movilidad reducida para Cu y Pb. Estudios de incorporación de metales en las plantas se ha evidenciado un descenso en la medida que el pH incrementa de 5 a 8 (Zubieta, A. 1995: p.11).

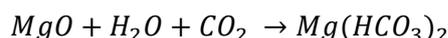
Otros estudios mencionan que, al aumentar el pH, la sorción del suelo llega a aumentar de 3 a 5 veces teniendo una superficie negativa, sin embargo, si se adiciona carbonatos, óxidos de calcio y magnesio puede llegar a reducir la acidez del suelo. La cantidad de cal que se requiere se determina por el pH requerido, la capacidad de amortiguar el suelo, la composición de materia orgánica y la tosquedad de la cal. Reacción de hidrólisis cuando se aplica cal al suelo húmedo (Blommaert, H. 2019: p. 8):



Cuando la base fuerte de hidróxido de calcio reacciona con dióxido de carbono forma bicarbonato de calcio.



Aplicación del óxido de magnesio



La mayoría de los estudios acerca del cacao existen correlaciones significativas y negativas entre pH del suelo y el cadmio biodisponible. Sin embargo, el entorno de pH en el suelo no es homogéneo debido a que las plantas exudan ácidos de sus raíces para aumentar la solubilidad de nutrientes y iones. Esto hace referencia a que inclusive en suelos neutros o alcalinos, aún puede ocurrir acumulación de cadmio en los tejidos de las plantas (Meter, A., et al., 2019. p: 17).

Los árboles de cacao se desarrollan de manera óptima en suelos con niveles de pH que oscilan entre 5.0 a 7,5. El empleo de ciertas enmiendas a los suelos ácidos que incrementan el pH quizá reduzca la proporción de cadmio biodisponible, por lo que, disminuir la absorción de cadmio por las plantas (Meter, A., et al., 2019. p: 17).

Un factor decisivo para la validez de las enmiendas de suelo que varían el pH es afianzar que sean añadidas en el suelo. En las plantaciones de cacao definidas esto puede ser un desafío ya que el riesgo de perjudicar a las raíces superficiales. A pesar de ello, se ha comprobado que si se mezcla con materia orgánica (compost, abono, biosólidos o abonos verdes), y es colocada en la superficie, la degradación de la materia orgánica ocasiona la formación de sales de Ca las cuales son solubles y se filtran en el suelo (Meter, A., et al., 2019. p: 17).

1.2.16 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad para conducir la corriente eléctrica y mide las sales solubles que están presentes en la solución de un sustrato (Barbaro, L., et al. 2018: p. 9-10).

La cuantificación de conductividad eléctrica generalmente usada en la agricultura de precisión es la conductividad del suelo (CEa). Esta se encuentra correlacionada con diferentes propiedades del suelo, ya sea su textura al igual que su capacidad de retención de agua. Los suelos arenosos

arrojaron en su lectura valores de conductividad eléctrica aparente menor que los suelos arcillosos (Sela, G. 2018: p.1).

Las propiedades eléctricas de los suelos son influenciadas por la porosidad y el grado de saturación, además, dependen de la salinidad de agua que está contenida en los poros (Lemeillet, F., et al. 2016: p. 59). El mapeo de la conductividad aparente, en un campo, facilita información extra acerca de la variabilidad del suelo dentro de ese campo, además de las tendencias en el suelo de un año a otro, como la salinización y compactación del suelo (Sela, G. 2018: p.1). La conductividad eléctrica (Cea), por tanto, es un instrumento más, que se usa para la comprensión de la variabilidad del suelo en el campo. En cambio, no se puede sustituir los análisis de suelos tradicionales (Sela, G. 2018: p.1).

Otros métodos para la evaluación de la conductividad eléctrica del suelo se centran en la medición de la conductividad eléctrica de la solución del suelo, en otras palabras, su salinidad. La diferencia entre estos métodos es básicamente el estado de humedad del suelo. La humedad más confiable para la medición de la conductividad eléctrica es la de “pasta saturada”, más conocida como “conductividad eléctrica del extracto saturado” (CEe). La diferencia entre la CEa y la CEe es que la segunda no puede ser medida directamente en el campo utilizando sensores, debe ser medida en laboratorio. A pesar de esto, encontramos modelos matemáticos los cuales interrelacionan estas variables (Sela, G. 2018: p.1). La CE incrementa por diferentes motivos i) presencia de fertilizantes insolubles; ii) incorporación de fertilizantes en mayores cantidades; iii) alta capacidad de intercambio catiónico (Barbaro, L., et al. 2018: p. 9-10).

1.2.17 Carlos Julio Arosemena Tola

Carlos Julio Arosemena Tola es un cantón de la provincia de Napo perteneciente a la región Amazónica en Ecuador, se encuentra situada en la vía Puyo-Tena en el Km 54, cuenta con una población aproximada de 3664 habitantes de los cuales el 65% se dedican a la producción del cacao. Es el cantón más pequeño de la provincia de Napo con una extensión de 502 km² (GADM Carlos Julio Arosemena Tola. 2022). El tipo de suelo de Arosemena Tola es de tipo Entisol e Inceptisol, el cual es utilizado y corresponde a unidades puras que son de bosques intervenidos, naturales, cultivos y pastos. Este cantón es una zona muy rica en recursos minerales metálicos, debido a que sus ríos son reservas de oro, petróleo, caliza, gravas, y diversos materiales para la construcción (GADMCJAT, 2015: p. 32-35,65).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño experimental

2.1.1 *Tipo de investigación*

El trabajo comienza con una búsqueda continua de información bibliográfica sobre temas afines a la investigación, donde se tuvo en cuenta fuentes confiables como artículos científicos, tratados y sitios web de bases de datos científicas. Estos métodos se consideran medios ordenados que permiten a los investigadores alcanzar los objetivos planteados y, en consecuencia, alcanzar los resultados esperados.

2.1.1.1 *Por el método de investigación: cuantitativa*

Esta investigación es de tipo cuantitativa debido a que se van a plantear hipótesis tomando en cuenta datos numéricos de normativas preestablecidas para comparar el contenido de cadmio de los suelos y raíces de las plantaciones de cacao.

2.1.1.2 *Según el objetivo: aplicada*

Esta investigación es de tipo aplicada debido a que se va a evaluar el contenido de cadmio en el suelo y raíces de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (*Theobroma Cacao L.*) con el fin de registrar datos para conocer la cantidad biodisponible de este metal.

2.1.1.3 *Según el nivel de profundización en el objeto de estudio: explicativa*

Es considerada explicativa debido a que se va a comprobar que cantidad de cadmio está presente en el suelo y las raíces de las plantaciones de cacao de Carlos Julio Arosemena Tola mediante el proceso de espectroscopia de absorción atómica y también se determinara los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo.

2.1.1.4 Según la manipulación de variables: pre-experimental

En el diseño cuasi experimental, se va a estudiar el contenido de cadmio en las raíces y suelos de las plantaciones de cacao. Los factores fisicoquímicos que son considerados para el estudio del suelo pH, humedad y conductividad eléctrica. En este caso se analizará el contenido de cadmio manteniendo el resto de variables constantes sin considerar el principio de aleatoriedad, tanto para el suelo y las raíces de las plantas de cacao.

Para la elección de cada muestra se realizó una división del terreno en 4 conglomerados, estos a su vez se subdividieron en 3 parcelas (en forma de L) y se realizó en dos profundidades diferentes de 0-15 cm y de 15-30 cm. En cada conglomerado se tomó el pH y coordenadas.

2.1.1.5 Según el tipo de inferencia: deductiva

Es de tipo deductiva debido a que se formula el problema de estudio y se utilizan métodos inductivos para plantear la hipótesis, partiendo de las variables, después para la resolución del problema se llega a una conclusión mediante la interpretación los datos obtenidos.

2.1.1.6 Según el periodo temporal: transversal

Esta investigación es de tipo transversal debido a que el periodo de tiempo con el que se determina el cambio de las variables se encuentra previamente establecido.

2.1.1.7 Por la condición de estudio: laboratorio / campo

Esta investigación es de dos tipos de laboratorio y de campo. De laboratorio debido a que la concentración de cadmio en las raíces y suelos se determinará por espectroscopia de absorción atómica tomando estándares de concentraciones de Cd^{+2} como un referente para su análisis, además de la preparación de las muestras. Y de campo debido a que la medición de la temperatura y el pH del suelo fueron medidos en el lugar de muestreo.

2.1.2 Unidad de análisis

La Unidad de análisis para esta investigación corresponde a muestras compuestas de suelo y raicillas de plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (*Theobroma cacao L.*) recolectadas

en la finca estrella del Oriente en el Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, en la provincia de Napo-Ecuador.

2.2 Metodología

2.2.1 Localización del estudio

Esta investigación es realizada con muestras de raíces y suelos de las plantaciones de cacao que fueron recolectadas en la finca “Estrella del Oriente” la cual se encuentra ubicada en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola en la provincia de Napo- Ecuador con coordenadas $1^{\circ}10'00''S$ $77^{\circ}51'00''O$. Cada muestra fue identificada por conglomerado y parcela (CP) de acuerdo con el sitio en el cual se obtuvo la misma. La parte práctica se realizó en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo Ambiental (GIDAC) y los Laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), ubicada en la Panamericana Sur Km 1 1/2 vía a la Costa en la ciudad de Riobamba, Chimborazo- Ecuador.



Ilustración 1-2: Localización del estudio

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

2.2.2 Población de estudio

La población de estudio de este trabajo de investigación es considerada finita debido a que corresponde a la extensión de terreno de la finca que es de aproximadamente 2 hectáreas en el cual se encuentran las plantaciones de cacao.

2.2.3 *Tamaño de la muestra*

Para la realización de la parte experimental del análisis de contenido de cadmio, se dividió el terreno en 4 conglomerados del cual se subdividió en 3 parcelas cada uno, y de cada parcela se obtuvo 2 muestras a distintas profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm según explica Blommaert, H (2019). Esto se aplicó tanto para la recolección de muestras de suelo y raicillas. El total de muestras para suelo es de 24 muestras y raíces es de 24 muestras.

Esto se aplicó tanto para la recolección de muestras de suelo y raicillas. El total de muestras para suelo es de 24 muestras y raicillas es de 24 muestras.

2.2.4 *Método de muestreo*

El método de muestreo es de tipo probabilístico, debido a que el terreno donde se obtuvieron las muestras se dividió en conglomerados, después este mismo se subdividió en parcelas, tomando en cuenta 2 profundidades distintas según bibliografía para la determinación de la concentración de cadmio.

2.3 *Técnicas*

2.3.1 *Materiales y reactivos*

2.3.1.1 *Reactivos*

- 100 ml HNO₃ con.
- 120 ml solución 1:1 HNO₃
- 1 ml estándar de Cd
- Agua destilada
- Agua ultrapura

2.3.1.2 *Materiales*

- Balón de aforo 25 ml, 50ml, 100ml
- Bomba para pipeta
- Cilindros de volumen conocido
- Embudo simple
- Frascos de plástico 100 ml
- Fundas ziplo
- Pipeta 1ml, 5ml, 10 ml
- Pipeta volumétrica de 2 ml
- Pizeta
- Tamiz 0,8 nm

- Frascos Ámbar de 30 ml
- Micropipeta de 200 μ L
- Papel filtro
- Crisol 50 ml
- Termómetro digital
- Vaso de precipitación 50 ml, 100 ml
- Vidrio reloj
- Varilla de agitación

2.3.1.3 Equipos

- Plancha de calentamiento
- Balanza analítica
- Barreno
- pH metro
- Conductímetro
- Sorbona
- Equipo de Espectroscopia de absorción atómica

2.4 Humedad del suelo

Según Sevrük, B (2014), para calcular el porcentaje de humedad se utiliza el método gravimétrico. Este método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su secado a temperatura constante de 105°C durante 24 h, finalmente calcular el contenido de humedad de la muestra a analizar con la siguiente formula:

$$\%H = \left(\frac{M.H - M.S}{M.H} \right) \times 100$$

2.5 Densidad aparente del suelo

Según Castillo, C. (2005) La densidad aparente o también conocida como densidad volumétrica del suelo está determinada por la masa del suelo seco y el volumen total del cual es aparente. Para realizar su cálculo primero se tomó en cuenta la masa del suelo aparente el cual previamente estuvo secado con peso constate a la temperatura de 105° C, dividido para el volumen del cilindro en el cual estaba contenida.

$$Da = \left(\frac{M.S}{\pi r^2 h} \right)$$

Tabla 1-2: Densidad aparente del suelo según la textura.

Textura	Densidad aparente (gcm-3)
Arenas	1.6 a 1.7
Francos	1.3 a 1.4
Arcillas	1.0 a 1.2
Suelos orgánicos	0.7 a 1.0

Fuente: Castillo, C. 2005: p. 14

Tabla 2-2: Clasificación de la densidad aparente en los suelos.

Clasificación	Densidad aparente (gcm-3)
Muy bajo	<1.0
Bajo	1.0-1.2
Medio	1.2-1.45
Alto	1.45-1.60
Muy alta	>1.60

Fuente: Castillo, C. 2005: p. 14

2.6 Porosidad del suelo

Para la determinación de la porosidad total se toma cuenta los valores de la densidad aparente dividido para la densidad real del suelo el cual se encuentra establecido como una constante con valor de $2,6 \text{ g/cm}^3$ teniendo como resultado el volumen total de poros los cuales estaban contenidos en la muestra (Villaseñor, O. 2016: p.52-68).

Tabla 3-2: Clasificación de la porosidad del suelo.

Clasificación	Densidad aparente (gcm-3)
Muy bajo	<40
Bajo	40-45
Medio	45-55
Alto	55-65
Muy alta	>65

Fuente: Castillo, C. 2005: p. 14

2.7 pH del suelo

Según Kloster, N., et al. (2008) para la determinación del pH se pesa 10 g de suelo, se coloca 10 ml de agua destilada, se debe agitar durante 10 min para lograr que sea homogénea, después se deja en reposo durante 1 hora y se procede a medir el pH sumergiendo el electrodo en la pasta.

2.8 Conductividad eléctrica del suelo

Según Gallart, F. (2017) para evaluar la conductividad eléctrica del suelo se debe pesar 10 g de la muestra en un vaso, a continuación, se coloca 10 ml de agua destilada, se agita durante 10 min para lograr una muestra homogénea, y se deja reposar durante 1 hora para que la muestra de suelos sedimente. Después del tiempo transcurrido se procede a medir la conductividad eléctrica de la muestra con ayuda del conductímetro.

2.9 Contenido de Cadmio en suelos y raicillas de plantaciones de cacao

Según Zubieta, A. (1995) para obtener el contenido de cadmio se debe realizar una digestión ácida, para suelos y raicillas se debe pesar 1 g de muestra seca, posteriormente se coloca en un crisol de 50 ml, luego se adiciona 10 mL de HNO₃ concentrado y se tapa con un vidrio de reloj. A continuación, las muestras de suelo y la de raicillas se coloca en la plancha calefactora a una temperatura de 80-90°C durante 4 h. El residuo que se obtiene se filtra, al mismo se le agrega 1 ml de HNO₃ al 1% y finalmente se afora a 25 mL.

Para la lectura en el equipo de espectroscopia de absorción atómica, se realiza una curva estándar, se prepara una solución madre (solución primaria) de 100 ml tomando 0,2 ml del estándar de Cd⁺² puro. A continuación, se preparan las soluciones secundarias tomando 1, 2, 3, 5, 10 ml de la solución madre en 100 ml de agua ultrapura.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de suelo y raicillas fueron obtenidas de la finca Estrella del Oriente, ubicada en el cantón Calor Julio Arosemena Tola en la provincia de Napo- Ecuador, como se observa en la figura 7-2.

El total de muestras recolectadas para raicillas y suelo fue de 24 cada una, este último con un peso de 1 kg cada muestra.

Para trasladar las muestras al laboratorio se utilizó fundas Ziploc evitando que se queden con aire en su interior con el fin de que las mismas no se contaminen con moho o con algún microorganismo.

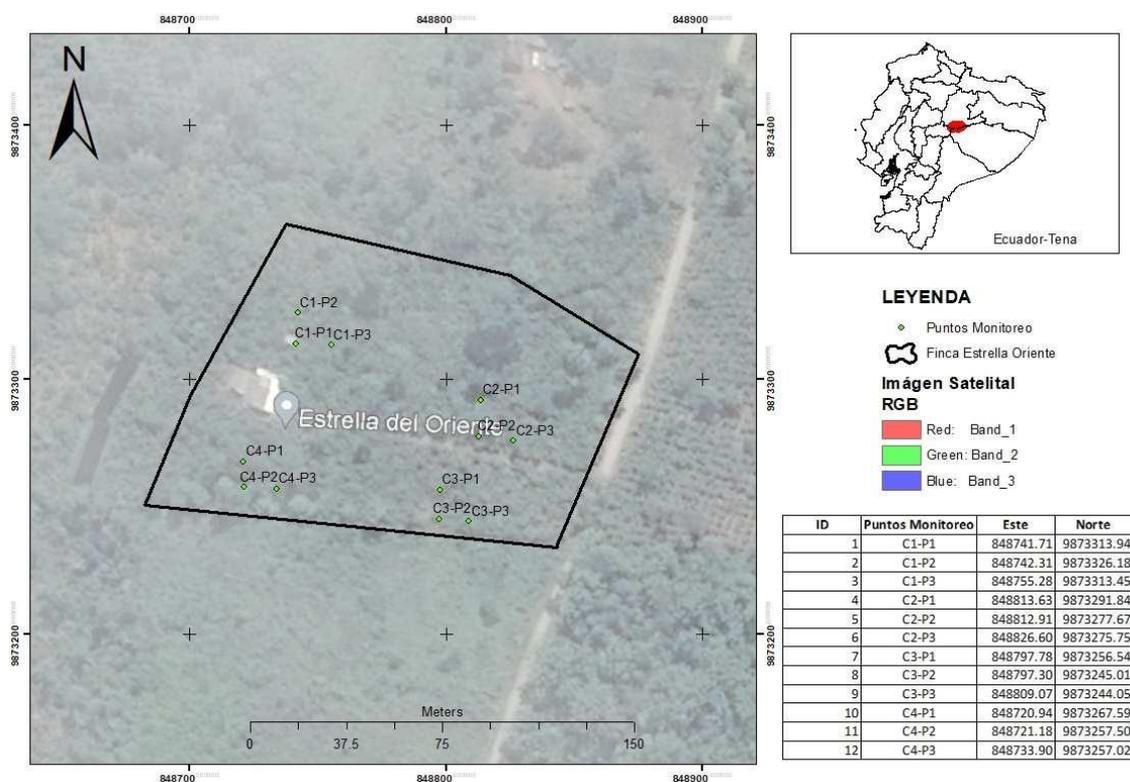


Ilustración 1-3: Coordenadas de los puntos de estudio. Finca Estrella del Oriente- Napo-Ecuador.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

3.1 Parámetros fisicoquímicos del suelo

3.1.1 Humedad

Se utilizó el método gravimétrico para ello, se tomó una muestra de suelo la cual fue previamente pesada, se desecó a temperatura constante de 105°C por 24h y se volvió a pesar. Finalmente se realizaron los cálculos del porcentaje de humedad con la fórmula: $\%H = \left(\frac{M.H-M.S}{M.H}\right) \times 100$.

Tabla 1-3: Porcentaje de Humedad.

Código	Profundidad (cm)	Humedad (%)			
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	\bar{X}
C1P1	0-15	60	59	59	59
	15-30	59	58	58	58
C1P2	0-15	64	62	62	62
	15-30	61	61	61	61
C1P3	0-15	63	62	63	63
	15-30	62	63	62	62
C2P1	0-15	61	59	59	60
	15-30	60	60	60	60
C2P2	0-15	64	64	63	64
	15-30	60	62	61	61
C2P3	0-15	60	59	60	60
	15-30	59	58	59	59
C3P1	0-15	58	57	62	59
	15-30	61	58	58	59
C3P2	0-15	61	60	60	60
	15-30	60	59	60	60
C3P3	0-15	55	55	55	55
	15-30	58	57	58	58
C4P1	0-15	65	65	65	65
	15-30	63	62	63	63
C4P2	0-15	65	66	66	66
	15-30	60	62	60	61
C4P3	0-15	66	65	66	66
	15-30	63	63	63	63

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

C:	Número de Conglomerado
P:	Número de parcela
M.H:	Muestra Húmeda
M.S:	Muestra Seca
%H:	Porcentaje de humedad $\%H = \left(\frac{M.H - M.S}{M.H} \right) \times 100$

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre el porcentaje de humedad de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa:

H_a = Existe diferencia entre el porcentaje de humedad de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 2-3: Porcentaje de humedad por diseño de bloques

Conglomerado	Profundidad (cm)	% Humedad
C1	0-15	62,33
C1	0-15	61,00
C1	0-15	61,33
C1	15-30	42,99
C1	15-30	42,77
C1	15-30	42,39
C2	0-15	61,67
C2	0-15	60,67
C2	0-15	63,00
C2	15-30	59,67
C2	15-30	60,00
C2	15-30	60,00
C3	0-15	58,00
C3	0-15	57,33
C3	0-15	59,00
C3	15-30	59,67
C3	15-30	58,00
C3	15-30	58,67
C4	0-15	65,33

C4	0-15	65,33
C4	0-15	65,67
C4	15-30	62,00
C4	15-30	62,67
C4	15-30	62,00

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 3-3: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de humedad.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	444,14	3	148,05	331,28	<0,0001
Profundidad	203,18	1	203,18	454,64	<0,0001
Conglomerado*Profundidad	350,64	3	116,88	261,54	<0,0001
Error	7,15	16	0,45		
Total	1005,1	23			
CV	1,14%				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 4-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C4	63,83
C2	60,84
C3	58,45
C1	52,14

Alfa=0,05 DMS=0,81820 Error: 0,4469 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 5-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad en las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Profundidad	Medias
0-15	61,72
15-30	55,9

Alfa=0,05 DMS=0,57855 Error: 0,4469 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 6-3: Prueba: LSD Fisher del porcentaje de humedad de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a las profundidades 0-15 cm y 15-30 cm.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C4	0-15	65,44
C4	15-30	62,22
C2	0-15	61,78
C1	0-15	61,55

C2	15-30	59,89
C3	15-30	58,78
C3	0-15	58,11
C1	15-30	42,72

Alfa=0,05 DMS=1,15710 Error: 0,4469 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

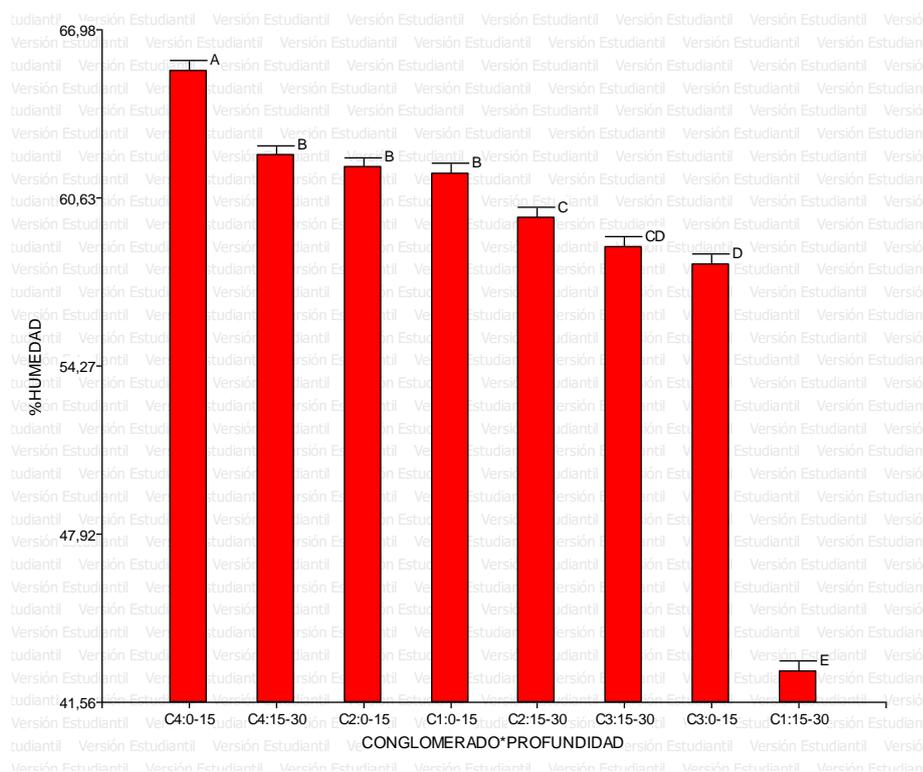


Ilustración 2-3: Porcentaje de Humedad de muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

El cadmio en el suelo depende de varios factores físicos, uno de ellos es la humedad. Este factor es el que facilita la biodisponibilidad del cadmio en el suelo, lo que hace, que el contenido de la materia orgánica, tenga mayor probabilidad para que el metal migre por el suelo y se acumule en la parte superior del mismo (Chancay, L., et al., 2022: p. 102).

Después del análisis realizado se determinó que, no existe diferencia entre el porcentaje de humedad de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (Tabla 6-3), de la misma manera el coeficiente de variación es de 1,14%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 4 a la profundidad de 0-15 cm existe mayor porcentaje humedad con

65,44%, mientras que en el conglomerado 1 a la profundidad de 15-30 cm existe menor porcentaje de humedad con 42,72% (Tabla 6-3, Gráfico 1-3.) cabe recalcar que las muestras fueron tomadas después de un día lluvioso.

3.1.2 Densidad aparente

Para calcular la densidad aparente se consideró la masa del suelo seco aparente dividido al volumen del cilindro en el que se encontraba contenido.

Tabla 7-3: Cálculo de la densidad aparente del suelo.

Código	Profundidad (cm)	M.S	Diámetro	Altura (h)	Densidad aparente (g cm ⁻³)
C1P1	0-15	81,0573	4,7	5,4	0,8652
	15-30	82,0078	4,8	6	0,7553
C1P2	0-15	83,0053	4,8	5,4	0,8495
	15-30	80,0167	4,6	6,2	0,7766
C1P3	0-15	81,0028	4,9	6,1	0,7042
	15-30	80,1034	5	5,6	0,7285
C2P1	0-15	81,9456	4,7	6	0,7872
	15-30	80,6425	5	5,7	0,7205
C2P2	0-15	81,1529	4,9	5,2	0,8276
	15-30	83,0142	4,7	5,5	0,8700
C2P3	0-15	81,4526	4,8	5,4	0,8336
	15-30	80,1876	4,9	5,3	0,8023
C3P1	0-15	82,0384	5,1	5,3	0,7577
	15-30	82,0198	5	6,3	0,6631
C3P2	0-15	80,2846	4,6	5,5	0,8783
	15-30	81,0326	4,8	5	0,8956
C3P3	0-15	82,0045	5	6,2	0,6736
	15-30	82,0145	4,7	6	0,7879
C4P1	0-15	82,1572	4,7	5,5	0,8610
	15-30	81,1298	4,9	5,5	0,7822
C4P2	0-15	81,0379	4,8	6,2	0,7223
	15-30	80,0175	5	5	0,8151
C4P3	0-15	81,4863	4,6	5,4	0,9080
	15-30	82,0965	4,6	5,7	0,8667

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Código Significado

Da: Densidad aparente = $\left(\frac{M.S}{V. cilindro}\right)$ normalmente oscila entre $< 1 \text{ g.cm}^{-3}$ en suelos orgánicos

M.S: Muestra Seca

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre la densidad aparente de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa:

H_a = Existe diferencia entre la densidad aparente de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 8-3: Densidad aparente por diseño de bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g/cm^3)
C1	0-15	0,8652
C1	0-15	0,8495
C1	0-15	0,7042
C1	15-30	0,7553
C1	15-30	0,7766
C1	15-30	0,7285
C2	0-15	0,7872
C2	0-15	0,8276
C2	0-15	0,8336
C2	15-30	0,7205
C2	15-30	0,8700
C2	15-30	0,8023
C3	0-15	0,7577
C3	0-15	0,8783
C3	0-15	0,6736
C3	15-30	0,6631
C3	15-30	0,8956
C3	15-30	0,7879
C4	0-15	0,8610
C4	0-15	0,7223

C4	0-15	0,9080
C4	15-30	0,7822
C4	15-30	0,8151
C4	15-30	0,8667

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 9-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la densidad aparente.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	0,01	3	3,30E-03	0,53	0,6663
Profundidad	1,70E-03	1	1,70E-03	0,28	0,6048
Conglomerado*Profundidad	3,30E-03	3	1,10E-03	0,18	0,9105
Error	0,1	16	0,01		
Total	0,11	23			
CV	9,91 %				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 10-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo en cuatro conglomerados.

Conglomerado	Medias
C4	0,83
C2	0,81
C1	0,78
C3	0,78

Alfa=0,05 DMS=0,09672 Error: 0,0062 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 11-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo en dos profundidades.

Profundidad	Medias
0-15	0,81
15-30	0,79

Alfa=0,05 DMS=0,06839 Error: 0,0062 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 12-3: Prueba: LSD Fisher de la densidad aparente del suelo.

Conglomerado	Profundidad	Medias	n	E.E.
C4	0-15	0,83	3	0,05
C4	15-30	0,82	3	0,05
C2	0-15	0,82	3	0,05
C1	0-15	0,81	3	0,05
C2	15-30	0,8	3	0,05
C3	15-30	0,78	3	0,05

C3	0-15	0,77	3	0,05
C1	15-30	0,75	3	0,05

Alfa=0,05 DMS=0,13679 Error: 0,0062 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

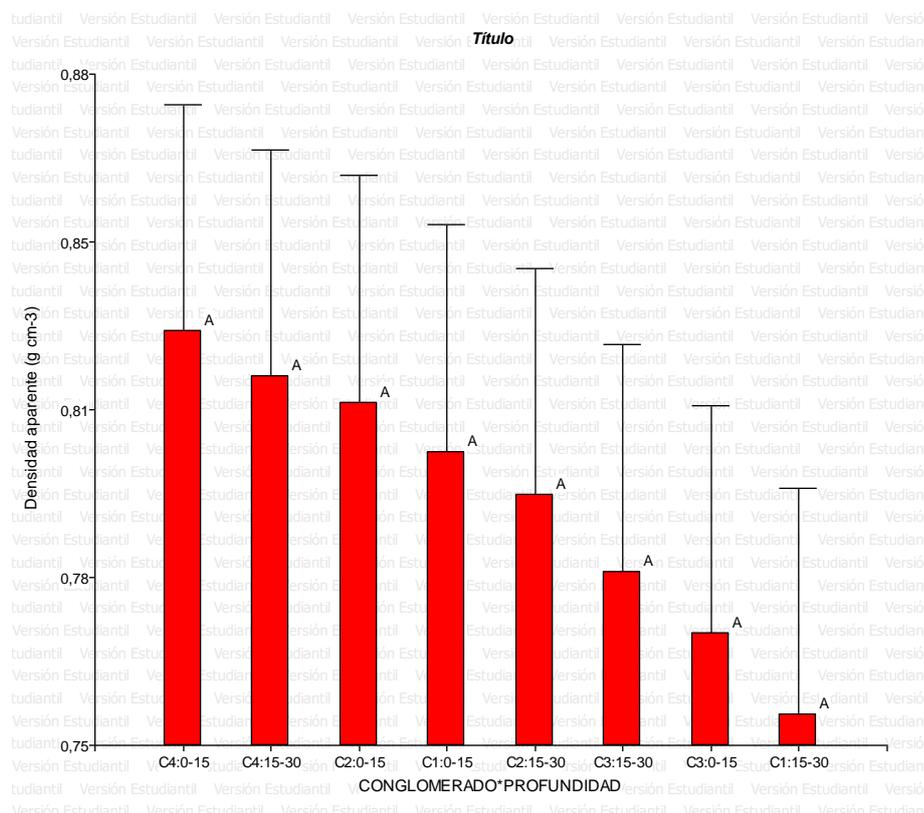


Ilustración 3-3: Densidad aparente del suelo.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

La densidad aparente es una medida necesaria para evaluar la calidad del suelo, muchas veces llega a afectar al crecimiento de las plantas porque la resistencia y la porosidad del mismo tienen efecto sobre las raicillas. Existen valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces que llegan a variar según la textura que presenta el suelo y la especie (Rubio, A. 2010: p. 20-24).

A partir del análisis realizado se determinó que, si existe diferencia entre la densidad aparente de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma. (**Tabla 9-3**), de la misma manera el coeficiente de variación es de 9,91%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 4 a la profundidad de 0-15 cm existe mayor densidad aparente de 0,83

g/cm³, mientras que el conglomerado 1 existe menor densidad aparente en la profundidad de 15-30 cm de 0,75 g/cm³ (Tabla 12-3, Gráfico 2-3). Mediante revisión bibliográfica Castillo, C. (2005) menciona que la densidad aparente del suelo según la textura debe ser menor a 1g.cm⁻³ para suelos orgánicos (Tabla 1-2), como lo data este análisis, de la misma manera que su clasificación es muy baja (Tabla 2-2).

3.1.3 Porosidad del suelo

Para el cálculo de la porosidad se consideró los valores de la densidad aparente dividida para la densidad real del suelo considerada con valor constante de 2,66 g/cm³ como menciona Villaseñor, O. (2016: p.52-68).

Tabla 13-3: Cálculo de la porosidad total del suelo.

Código	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Porosidad Total (%)
C1P1	0-15	0,8652	2,66	67
	15-30	0,7553	2,66	72
C1P2	0-15	0,8495	2,66	68
	15-30	0,7766	2,66	71
C1P3	0-15	0,7042	2,66	74
	15-30	0,7285	2,66	73
C2P1	0-15	0,7872	2,66	70
	15-30	0,7205	2,66	73
C2P2	0-15	0,8276	2,66	69
	15-30	0,8700	2,66	67
C2P3	0-15	0,8336	2,66	69
	15-30	0,8023	2,66	70
C3P1	0-15	0,7577	2,66	72
	15-30	0,6631	2,66	75
C3P2	0-15	0,8783	2,66	67
	15-30	0,8956	2,66	66
C3P3	0-15	0,6736	2,66	75
	15-30	0,7879	2,66	70
C4P1	0-15	0,8610	2,66	68
	15-30	0,7822	2,66	71
C4P2	0-15	0,7223	2,66	73
	15-30	0,8151	2,66	69
C4P3	0-15	0,9080	2,66	66
	15-30	0,8667	2,66	67

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

<i>Código</i>	<i>Significado</i>
Da:	Densidad aparente
Dr:	Densidad real (constante)
PT (%):	Porcentaje porosidad total = $\left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre la porosidad total de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa

H_a = Existe diferencia entre la porosidad total de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 14-3: Porosidad total del suelo por diseño de bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	Porosidad Total (%)
C1	0-15	67
C1	0-15	68
C1	0-15	74
C1	15-30	72
C1	15-30	71
C1	15-30	73
C2	0-15	70
C2	0-15	69
C2	0-15	69
C2	15-30	73
C2	15-30	67
C2	15-30	70
C3	0-15	72
C3	0-15	67
C3	0-15	75
C3	15-30	75
C3	15-30	66
C3	15-30	70

C4	0-15	68
C4	0-15	73
C4	0-15	66
C4	15-30	71
C4	15-30	69
C4	15-30	67

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 15-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la porosidad total, del suelo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	14,83	3	4,94	0,5	0,6843
Profundidad	1,50	1	1,5	0,15	0,7007
Conglomerado*Profundidad	8,83	3	2,94	0,3	0,8244
Error	156,67	16	9,79		
Total	181,83	23			
CV	4,46%				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 16-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C1	70,83
C3	70,83
C2	69,67
C4	69,00

Alfa=0,05 DMS=3,82987 Error: 9,7917 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 17-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

Profundidad	Medias
15-30	70,33
0-15	69,83

Alfa=0,05 DMS=2,70813 Error: 9,7917 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 18-3: Prueba: LSD Fisher de la porosidad total del suelo.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C1	15-30	72,00
C3	0-15	71,33

C3	15-30	70,33
C2	15-30	70,00
C1	0-15	69,67
C2	0-15	69,33
C4	15-30	69,00
C4	0-15	69,00

Alfa=0,05 DMS=5,41625 Error: 9,7917 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

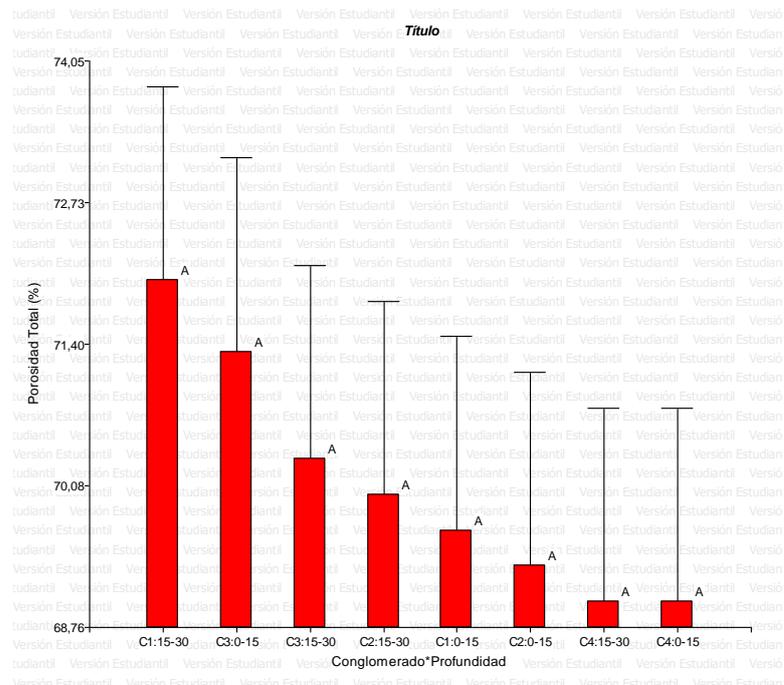


Ilustración 4-3: Porosidad total del suelo.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

La granulación del suelo aumenta el espacio poroso haciendo que disminuya la densidad aparente, además si la textura del suelo es fina, tiende a tener mayor porosidad que el de textura gruesa, como lo data este análisis, mediante revisión bibliográfica Castillo, C. (2005) menciona que la porosidad del suelo según su clasificación es muy alta (**Tabla 3-2**).

A partir del análisis realizado se determinó que, si existe diferencia entre la porosidad total de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (**Tabla 15-3**), de la misma manera el coeficiente de variación es de 4,46%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 1 a la profundidad de 15-30 cm existe mayor porcentaje de porosidad con 72%, mientras que el conglomerado 4 existe menor porcentaje de porosidad en la profundidad de 0-15 cm con 69% (**Tabla 18-3, Gráfico 3-3**).

3.1.4 Conductividad eléctrica

Para la valoración de la conductividad eléctrica se tomó 10 g de muestra con 10 ml de agua destilada, teniendo una muestra homogénea y previamente reposada con el conductímetro sumergido en la pasta.

Tabla 19-3: Conductividad eléctrica.

Código	Profundidad (cm)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
C1P1	0-15	36,77	35,70	37,40
	15-30	21,38	21,31	21,19
C1P2	0-15	94,11	94,61	95,29
	15-30	40,00	39,77	37,27
C1P3	0-15	53,14	53,80	52,51
	15-30	33,11	33,21	36,41
C2P1	0-15	34,62	34,37	34,72
	15-30	29,14	28,88	27,59
C2P2	0-15	54,17	57,71	56,02
	15-30	37,25	37,32	38,33
C2P3	0-15	98,68	95,77	96,37
	15-30	31,45	30,17	30,66
C3P1	0-15	57,56	57,88	57,37
	15-30	32,25	33,32	34,34
C3P2	0-15	26,14	26,87	26,58
	15-30	37,2	37,11	37,40
C3P3	0-15	43,71	42,75	42,70
	15-30	33,25	32,35	32,31
C4P1	0-15	20,37	20,17	20,05
	15-30	59,24	57,88	57,54
C4P2	0-15	110,00	111,90	111,4
	15-30	67,57	68,70	68,28
C4P3	0-15	98,39	98,79	98,91
	15-30	58,80	58,16	58,63

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

H_0 = No existe diferencia entre la conductividad eléctrica de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa:

H_a = Existe diferencia entre la conductividad eléctrica de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 20-3: Conductividad eléctrica por diseño de bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	CE (mS/cm)
C1	0-15	61,34
C1	0-15	62,70
C1	0-15	61,73
C1	15-30	31,50
C1	15-30	31,43
C1	15-30	31,62
C2	0-15	62,49
C2	0-15	62,62
C2	0-15	62,37
C2	15-30	32,61
C2	15-30	32,12
C2	15-30	32,19
C3	0-15	42,47
C3	0-15	42,50
C3	0-15	42,22
C3	15-30	34,23
C3	15-30	34,26
C3	15-30	34,68
C4	0-15	76,25
C4	0-15	76,95
C4	0-15	76,79
C4	15-30	61,87
C4	15-30	61,58
C4	15-30	61,48

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 21-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la conductividad eléctrica en las muestras de suelo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	3110,33	3	1036,78	9780,54	<0,0001

Profundidad	2622,11	1	2622,11	24735,95	<0,0001
Conglomerado*Profundidad	566,15	3	188,72	1780,27	<0,0001
Error	1,7	16	0,11		
Total	6300,29	23			
CV	0,65%				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 22-3: Prueba: LSD Fisher de la CE. en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C4	69,15
C2	47,4
C1	46,72
C3	38,39

Alfa=0,05 DMS=0,39849 Error: 0,1060 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 23-3: Prueba: LSD Fisher de la CE. suelo en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

Profundidad	Medias
0-15	60,87
15-30	39,96

Alfa=0,05 DMS=0,28177 Error: 0,1060 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 24-3: Prueba: LSD Fisher de la CE en las muestras de suelo en los conglomerado C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C4	0-15	76,66
C2	0-15	62,49
C1	0-15	61,92
C4	15-30	61,64
C3	0-15	42,4
C3	15-30	34,39
C2	15-30	32,31
C1	15-30	31,52

Alfa=0,05 DMS=0,56355 Error: 0,1060 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

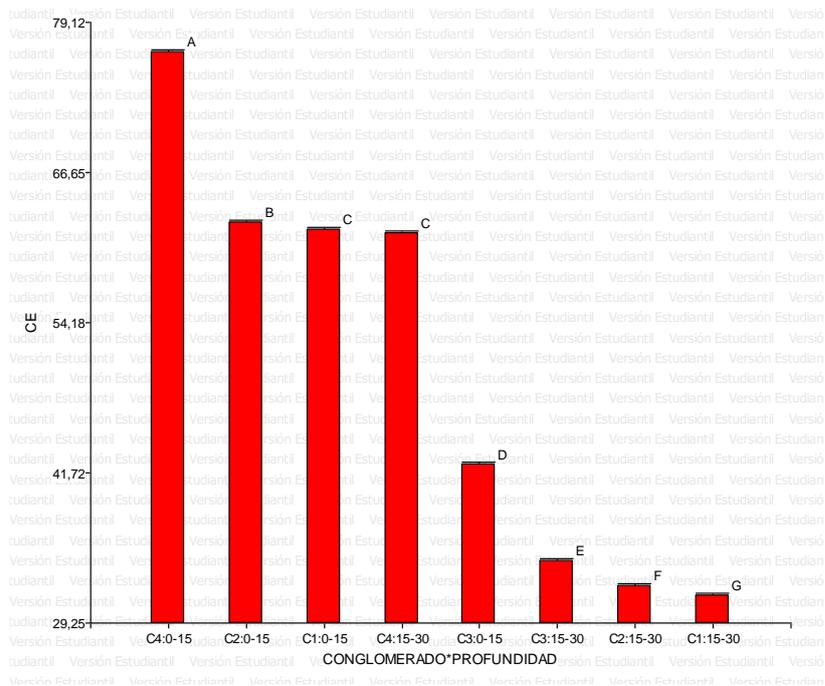


Ilustración 5-3: Conductividad eléctrica en las muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

La conductividad eléctrica por lo general se utiliza en la agricultura debido a que se encuentra relacionada con las propiedades del suelo (Sela, G. 2018: p.1), muchas veces son influenciadas por la porosidad, el grado de saturación y la salinidad del mismo (Lemeillet, F., et al., 2016: p. 59).

De acuerdo con el análisis realizado se determinó que, si existe diferencia entre la conductividad eléctrica de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (**Tabla 21-3**), de esta manera el coeficiente de variación es de 0,65%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 4 a la profundidad de 0-15 cm existe mayor conductividad eléctrica on una media de 76,66 mS/cm, y en el conglomerado 3 existe menor conductividad eléctrica en la profundidad de 15-30 cm de 31,52 mS/cm (**Tabla 24-3, Gráfico 4-3**).

3.1.5 pH

Para la medición del pH se tomó 10 g de muestra junto con 10 ml de agua destilada, con la muestra previamente homogénea y reposada introducir el pH metro en la mezcla.

Tabla 25-3: pH del suelo.

Código	Profundidad (cm)	pH		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
C1P1	0-15	5,81	5,13	5,40
	15-30	4,96	4,30	4,16
C1P2	0-15	5,43	5,41	5,12
	15-30	5,53	5,33	5,55
C1P3	0-15	5,03	5,05	5,04
	15-30	4,93	4,13	4,99
C2P1	0-15	5,66	5,40	5,87
	15-30	5,50	5,36	5,31
C2P2	0-15	4,88	5,12	5,15
	15-30	5,45	5,59	5,57
C2P3	0-15	5,71	5,49	5,19
	15-30	6,01	5,66	5,67
C3P1	0-15	5,98	5,32	5,42
	15-30	5,07	5,24	5,33
C3P2	0-15	5,92	5,16	4,96
	15-30	5,83	5,22	5,16
C3P3	0-15	5,70	5,13	5,38
	15-30	5,69	5,13	5,09
C4P1	0-15	5,83	5,14	5,94
	15-30	5,53	5,24	5,21
C4P2	0-15	5,60	5,41	5,19
	15-30	4,63	4,93	4,89
C4P3	0-15	5,53	5,32	5,81
	15-30	4,78	4,50	4,46

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre el pH de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa

H_a = Existe diferencia entre el pH de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 26-3: Determinación de pH por diseño por bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	pH
C1	0-15	5,42
C1	0-15	5,20
C1	0-15	5,19
C1	15-30	5,14
C1	15-30	4,59
C1	15-30	4,90
C2	0-15	5,42
C2	0-15	5,34
C2	0-15	5,40
C2	15-30	5,65
C2	15-30	5,54
C2	15-30	5,52
C3	0-15	5,87
C3	0-15	5,20
C3	0-15	5,25
C3	15-30	5,53
C3	15-30	5,20
C3	15-30	5,19
C4	0-15	5,65
C4	0-15	5,29
C4	0-15	5,65
C4	15-30	4,98
C4	15-30	4,89
C4	15-30	4,85

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 27-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) del pH.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	0,57	3	0,19	4,66	0,0159
Profundidad	0,35	1	0,35	8,65	0,0096
Conglomerado*Profundidad	0,54	3	0,18	4,46	0,0186
Error	0,65	16	0,04		
Total	2,11	23			
CV	3,81%				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 28-3: Prueba: LSD Fisher del pH en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C2	5,48
C3	5,37
C4	5,22
C1	5,07

Alfa=0,05 DMS=0,24629 Error: 0,0405 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 29-3: Prueba: LSD Fisher del pH en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Profundidad	Medias
0-15	5,41
15-30	5,17

Alfa=0,05 DMS=0,17415 Error: 0,0405 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 30-3: Prueba: LSD Fisher del pH en los conglomerados C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C2	15-30	5,57
C4	0-15	5,53
C3	0-15	5,44
C2	0-15	5,39
C3	15-30	5,31
C1	0-15	5,27
C4	15-30	4,91
C1	15-30	4,88

Alfa=0,05 DMS=0,34830 Error: 0,0405 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

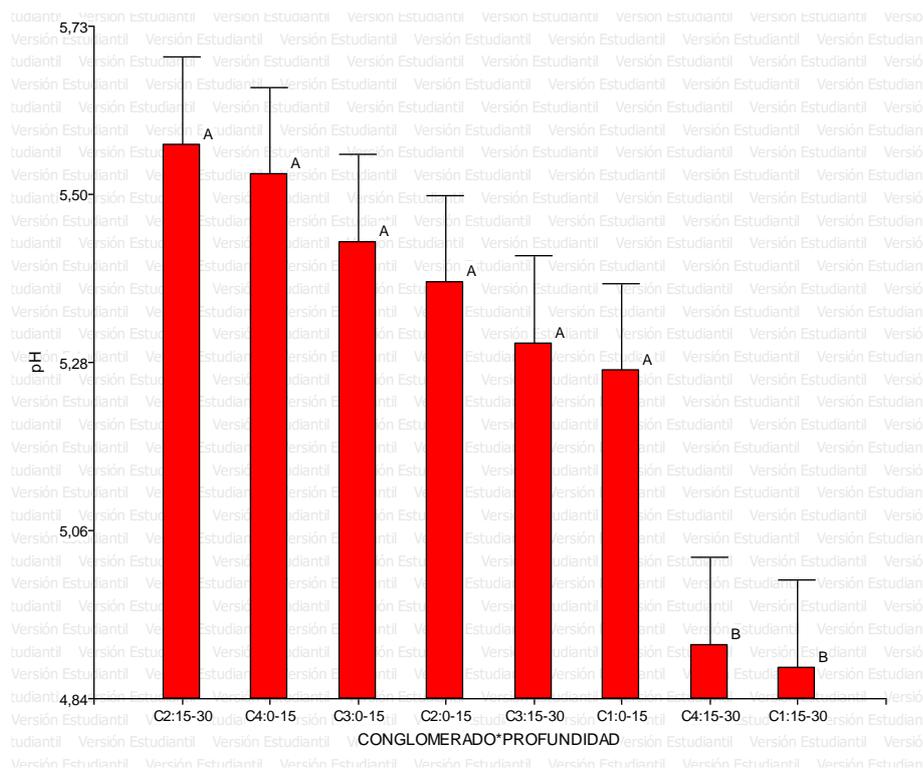


Ilustración 6-3: pH de las muestras de suelo en cada conglomerado a diferente profundidad.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

La presencia de cadmio en el suelo llega a alterar las propiedades químicas del mismo como es el pH. Si el pH es neutro (<6,5) se encuentra en contaste con la fijación típica de los metales pesados, si el pH del mismo es mayor la retención del cadmio también aumenta. Esto se debe por la formación de especies que tienen menor densidad de carga negativa dada por la unión de un ion metálico con iones hidroxilo (OH⁻), el incremento de las cargas negativas en la superficie de óxidos o de materiales que tengan la carga variable y donde el ion pueda absorberse (Chancay, L., et al., 2022: p. 98).

De acuerdo con el análisis realizado se determinó que, no existe diferencia entre el pH de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (**Tabla 27-3**), de esta manera el coeficiente de variación es de 3,81%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 2 en la profundidad de 15-30 existe mayor pH de 5,57 mS/cm, mientras que en el conglomerado 1 a la profundidad de 15-30 cm existe menor pH de 4,88 mS/cm (**Tabla 30-3, Gráfico 5-3**).

3.2 Contenido de Cadmio en el suelo de las plantaciones de Cacao

Se realizó la medición del contenido de cadmio presente en suelo pesando 1 g de muestra junto con 10 mL de HNO₃ concentrado, se realizó digestión ácida, finalmente se leyó las muestras en el equipo de espectroscopia absorción atómica

Tabla 31-3: Valores de la lectura de cadmio en el equipo de espectroscopia de absorción atómica de las muestras de suelos.

Código	Profundidad (cm)	Contenido de Cd ⁺² en suelos (mg/L)		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
C1P1	0-15	0,0135	0,0139	0,013
	15-30	0,0125	0,0127	0,0128
C1P2	0-15	0,0135	0,014	0,0136
	15-30	0,0132	0,0138	0,0136
C1P3	0-15	0,0134	0,0133	0,0131
	15-30	0,0123	0,013	0,0127
C2P1	0-15	0,0141	0,0144	0,0139
	15-30	0,0139	0,0136	0,0132
C2P2	0-15	0,0134	0,0139	0,0135
	15-30	0,0126	0,0124	0,0124
C2P3	0-15	0,0139	0,0145	0,0140
	15-30	0,0132	0,0138	0,0134
C3P1	0-15	0,0137	0,0135	0,0139
	15-30	0,0122	0,0126	0,0124
C3P2	0-15	0,0120	0,0126	0,0124
	15-30	0,0104	0,0103	0,0103
C3P3	0-15	0,0149	0,0151	0,0153
	15-30	0,0126	0,0134	0,0131
C4P1	0-15	0,0158	0,0161	0,0163
	15-30	0,0138	0,0142	0,0144
C4P2	0-15	0,0162	0,0163	0,016
	15-30	0,0124	0,0126	0,013
C4P3	0-15	0,0166	0,0163	0,0166
	15-30	0,0143	0,0143	0,0149

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 32-3: Contenido de Cd presente en suelos.

Código	Profundidad (cm)	Contenido de Cd ⁺² en suelos (mg/Kg)		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
C1P1	0-15	0,3375	0,3475	0,3250

	15-30	0,3125	0,3175	0,3200
C1P2	0-15	0,3375	0,3500	0,3400
	15-30	0,3300	0,3450	0,3400
C1P3	0-15	0,3350	0,3325	0,3275
	15-30	0,3075	0,3250	0,3175
C2P1	0-15	0,3525	0,3600	0,3475
	15-30	0,3475	0,3400	0,3300
C2P2	0-15	0,3350	0,3475	0,3375
	15-30	0,3150	0,3100	0,3100
C2P3	0-15	0,3475	0,3625	0,3500
	15-30	0,3300	0,3450	0,3350
C3P1	0-15	0,3425	0,3375	0,3475
	15-30	0,3050	0,3150	0,3100
C3P2	0-15	0,3000	0,3150	0,3100
	15-30	0,2600	0,2575	0,2575
C3P3	0-15	0,3725	0,3775	0,3825
	15-30	0,3150	0,3350	0,3275
C4P1	0-15	0,3950	0,4025	0,4075
	15-30	0,3450	0,3550	0,3600
C4P2	0-15	0,4050	0,4075	0,4000
	15-30	0,3100	0,3150	0,3250
C4P3	0-15	0,4150	0,4075	0,4150
	15-30	0,3575	0,3575	0,3725

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Código	Significado
Volumen de aforación:	25 mL
Valor del contenido de Cd medido en el equipo:	$Cd \frac{mg}{1000 ml}$
Masa Muestra:	1g
Concentración de Cd ($\frac{mg}{Kg}$):	contenido de Cd $\frac{mg}{1000 ml} \times 25 ml \times \frac{1}{1g} \times \frac{1000 g}{1Kg}$

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 33-3: Determinación el contenido de cadmio en los suelos por diseño de bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	Cd ⁺² Suelos
C1	0-15	0,33667
C1	0-15	0,34333
C1	0-15	0,33083
C1	15-30	0,31667
C1	15-30	0,32917

C1	15-30	0,32583
C2	0-15	0,34500
C2	0-15	0,35667
C2	0-15	0,34500
C2	15-30	0,33083
C2	15-30	0,33167
C2	15-30	0,32500
C3	0-15	0,33833
C3	0-15	0,34333
C3	0-15	0,34667
C3	15-30	0,29333
C3	15-30	0,30250
C3	15-30	0,29833
C4	0-15	0,40500
C4	0-15	0,40583
C4	0-15	0,40750
C4	15-30	0,33750
C4	15-30	0,34250
C4	15-30	0,35250

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa

H_a = Existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 34-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) de la concentración de cadmio en el suelo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	0,01	3	3,40E-03	114,49	<0,0001
Profundidad	0,01	1	0,01	244,84	<0,0001
Conglomerado*Profundidad	2,30E-03	3	7,70E-04	25,78	<0,0001
Error	4,80E-04	16	3,00E-05		

Total	0,02	23
CV	1,6%	

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 35-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C4	0,38
C2	0,34
C1	0,33
C3	0,32

Alfa=0,05 DMS=0,00668 Error: 0,0000 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 36-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Profundidad	Medias
0-15	0,36
15-30	0,32

Alfa=0,05 DMS=0,00472 Error: 0,0000 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 37-3: Prueba: LSD Fisher de la concentración de cadmio en el suelo en cuatro conglomerados a dos profundidades.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C4	0-15	0,41
C2	0-15	0,35
C4	15-30	0,34
C3	0-15	0,34
C1	0-15	0,34
C2	15-30	0,33
C1	15-30	0,32
C3	15-30	0,3

Alfa=0,05 DMS=0,00945 Error: 0,0000 gl: 16

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

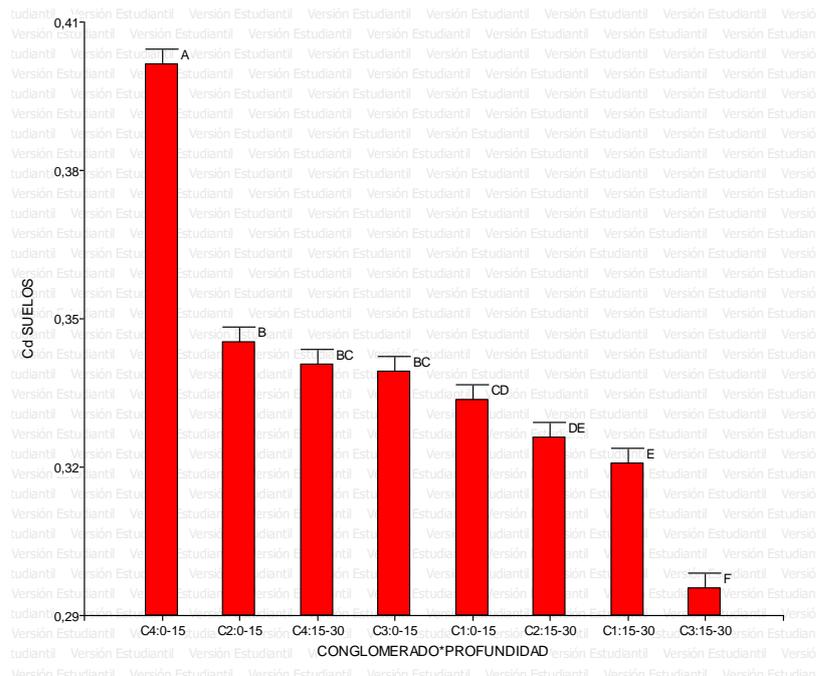


Ilustración 7-3: Contenido de Cadmio en suelos de plantaciones de cacao en diferentes conglomerados a diferentes profundidades.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

De acuerdo con el análisis realizado se determinó que, no existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 y de 15-30 de las muestras de suelo de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma. (**Tabla 34-2**), con un coeficiente de variación de 1,60%.

Las muestras compuestas de suelo de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 4 en la profundidad de 0-15 cm existe mayor contenido de cadmio con 0,41 ppm, y en el conglomerado 3 a la profundidad de 15-30 cm existe menor contenido de cadmio con 0,3 ppm (**Tabla 37-3, Gráfico 6-3.**), cabe recalcar que en el conglomerado 3 excité simbiosis con plantas de cítricos como eran: limón y toronja.

La normativa de la Unión Europea para los suelos agrícolas N° 2021/133 de la comisión del 10 de agosto del 2021 estableció que las concentraciones máximas de metales pesados es 3 ppm en el caso del Cadmio (Huamaní, H., et al., 2012: p. 339-344; Comisión de la Unión Europea. 2021: p. 1-6) por consiguiente el suelo de las plantaciones de cacao del cantón Carlos Julio Arosemena Tola está dentro del rango establecido.

3.3 Contenido de Cadmio en raicillas de las plantaciones de cacao

Se realizó la medición del contenido de cadmio presente en suelo pesando 1 g de muestra junto con 10 mL de HNO₃ concentrado, se realizó digestión ácida seguido se leyó las muestras en el equipo de espectroscopia absorción atómica.

Tabla 38-3: Gramos de raicillas tomados para la digestión ácida.

Código	Profundidad (cm)	Repetición 1 (gr)	Repetición 2 (gr)
C1P1	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C1P2	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C1P3	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C2P1	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C2P2	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C2P3	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C3P1	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C3P2	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C3P3	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C4P1	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C4P2	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000
C4P3	0-15	1,000	1,000
	15-30	1,000	1,000

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 39-3: Valores de la lectura de cadmio en el equipo de espectroscopia de absorción atómica de las muestras de raicillas.

Código	Profundidad (cm)	Contenido de Cd ⁺² en raicillas (mg/Kg)	
		Repetición 1	Repetición 2
C1P1	0-15	0,0194	0,0198
	15-30	0,0184	0,0186

C1P2	0-15	0,0194	0,0199
	15-30	0,0191	0,0197
C1P3	0-15	0,0193	0,0192
	15-30	0,0182	0,0189
C2P1	0-15	0,0200	0,0203
	15-30	0,0198	0,0195
C2P2	0-15	0,0193	0,0198
	15-30	0,0185	0,0183
C2P3	0-15	0,0198	0,0204
	15-30	0,0191	0,0197
C3P1	0-15	0,0196	0,0194
	15-30	0,0181	0,0185
C3P2	0-15	0,0179	0,0185
	15-30	0,0163	0,0162
C3P3	0-15	0,0208	0,0210
	15-30	0,0185	0,0193
C4P1	0-15	0,0217	0,0220
	15-30	0,0197	0,0201
C4P2	0-15	0,0221	0,0222
	15-30	0,0183	0,0185
C4P3	0-15	0,0225	0,0222
	15-30	0,0202	0,0202

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 40-3: Contenido de cadmio en raicillas.

Código	Profundidad	Contenido de Cd⁺² en raicillas (mg/kg)	
		Repetición 1	Repetición 2
C1P1	0-15	0,4850	0,4950
	15-30	0,4600	0,4650
C1P2	0-15	0,4850	0,4975
	15-30	0,4775	0,4925
C1P3	0-15	0,4825	0,4800
	15-30	0,4550	0,4725
C2P1	0-15	0,5000	0,5075
	15-30	0,4950	0,4875
C2P2	0-15	0,4825	0,4950
	15-30	0,4625	0,4575
C2P3	0-15	0,4950	0,5100
	15-30	0,4775	0,4925
C3P1	0-15	0,4900	0,4850
	15-30	0,4525	0,4625

C3P2	0-15	0,4475	0,4625
	15-30	0,4075	0,4050
C3P3	0-15	0,5200	0,5250
	15-30	0,4625	0,4825
C4P1	0-15	0,5425	0,5500
	15-30	0,4925	0,5025
C4P2	0-15	0,5525	0,5550
	15-30	0,4575	0,4625
C4P3	0-15	0,5625	0,5550
	15-30	0,5050	0,5050

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

<i>Código</i>	<i>Significado</i>
Volumen de aforación:	25 mL
Valor del contenido de Cd medido en el equipo:	$Cd \frac{mg}{1000 ml}$
Masa Muestra:	1g
Concentración de Cd ($\frac{mg}{Kg}$):	contenido de Cd $\frac{mg}{1000 ml} \times 25 ml \times \frac{1}{1g} \times \frac{1000 g}{1Kg}$

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 41-3: Determinación el contenido de cadmio en raicillas por diseño de bloques.

Conglomerado	Profundidad (cm)	Cd⁺² Raicillas
C1	0-15	0,4842
C1	0-15	0,4908
C1	15-30	0,4642
C1	15-30	0,4767
C2	0-15	0,4925
C2	0-15	0,5042
C2	15-30	0,4783
C2	15-30	0,4792
C3	0-15	0,4858
C3	0-15	0,4908
C3	15-30	0,4408
C3	15-30	0,4500
C4	0-15	0,5525
C4	0-15	0,5533
C4	15-30	0,4850
C4	15-30	0,4900

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa

H_a = Existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 cm y de 15-30 cm de las muestras de raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 42-3: Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) del contenido de cadmio en raicillas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Conglomerado	0,01	3	2,10E-03	70,58	<0,0001
Profundidad	0,01	1	0,01	177,76	<0,0001
Conglomerado*Profundidad	1,50E-03	3	5,10E-04	17,37	0,0007
Error	2,40E-04	8	3,00E-05		
Total	0,01	15			
CV	1,11%				

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 43-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en los conglomerados C1, C2, C3 y C4.

Conglomerado	Medias
C4	0,52
C2	0,49
C1	0,48
C3	0,47

Alfa=0,05 DMS=0,00886 Error: 0,0000 gl: 8

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Tabla 44-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Profundidad	Medias
0-15	0,51
15-30	0,47

Alfa=0,05 DMS=0,00627 Error: 0,0000 gl: 8

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

Tabla 45-3: Prueba: LSD Fisher del contenido de cadmio en raicillas en los conglomerados C1, C2, C3 y C4 en las profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Conglomerado	Profundidad	Medias
C4	0-15	0,55
C2	0-15	0,5
C3	0-15	0,49
C1	0-15	0,49
C4	15-30	0,49
C2	15-30	0,48
C1	15-30	0,47
C3	15-30	0,45

Alfa=0,05 DMS=0,01254 Error: 0,0000 gl: 8

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

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

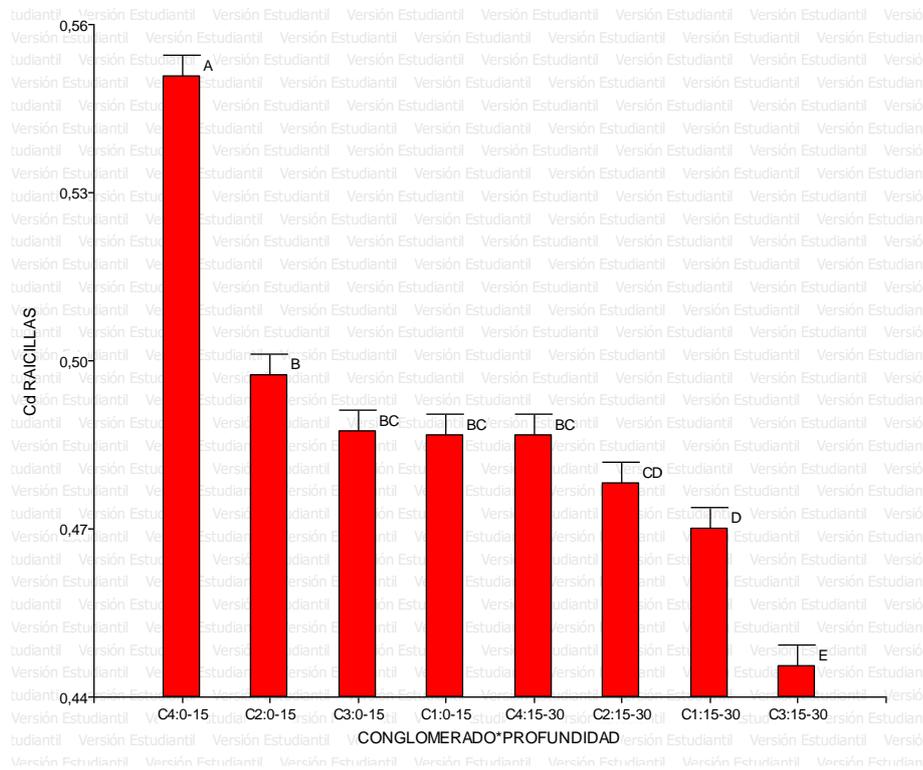


Ilustración 8-3: Contenido de cadmio en raicillas de plantaciones de cacao en cada conglomerado a diferentes profundidades.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

La presencia de cadmio en las raicillas de las plantas de cacao de fino aroma se encuentra otorgada por la biodisponibilidad del metal presente en el suelo del mismo modo que en el agua siendo absorbido por las mismas según explica Chancay, L, et al. (2022. Pag.92) en estudios realizados.

De acuerdo con el análisis realizado se determinó que, no existe diferencia entre el contenido de cadmio de los conglomerados C1, C2, C3 y C4 a la profundidad de 0-15 y de 15-30 de las muestras de raicillas de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma (**Tabla 42-2**), con un coeficiente de variación de 1,11%.

Las muestras compuestas de raicillas de los diferentes conglomerados y profundidades demostraron que en el conglomerado 4 en la profundidad de 0-15 existe mayor contenido de cadmio de 0,55 ppm, y en el conglomerado 3 a la profundidad de 15-30 existe menor contenido de cadmio de 0,45 ppm (**Tabla 45-3, Gráfico 7-3**), sin embargo, en el conglomerado 3 excitó sinergia con plantas de cítricos: limón y toronja.

3.3.1 Suelos Vs Raicillas

Hipótesis Nula

H_0 = No existe diferencia entre el contenido de cadmio de las muestras de raicillas y suelos de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Hipótesis Alternativa:

H_a = Existe diferencia entre el contenido de cadmio de las muestras de raicillas y suelos de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma.

Tabla 46-3: Prueba t para muestras apareadas suelo y raicillas.

	Obs(1)	Obs(2)
	Suelos	Raicillas
N		16
media(dif)		-0,15
Media(1)		0,33
Media(2)		0,49
DE(dif)		0,03
LI(95%)		-0,17
LS(95%)		-0,14
T		-19,93
Bilateral		<0,0001

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

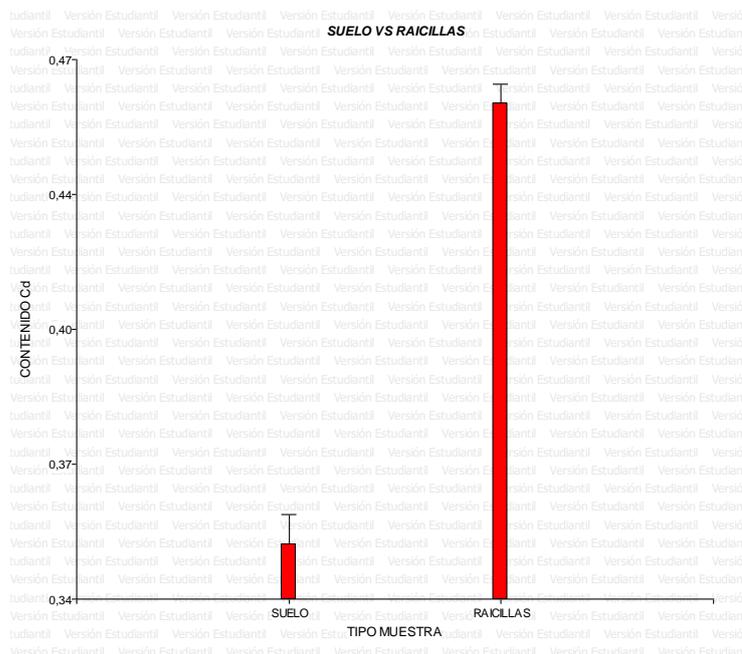


Ilustración 9-3: Comparación del contenido de cadmio de muestras de suelo y raicillas.

Realizado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las muestras de raicillas tienen mayor concentración de cadmio en comparación con las muestras de suelos como se observa en el **Gráfico 8-3**, con valores medios de 0,49 mg/kg para las raicillas y con 0,33 mg/kg para el suelo (**Tabla 46-3**). Esto se debe a que el contenido de cadmio en las raicillas depende de la biodisponibilidad de este metal en el suelo.

El cadmio en el suelo es el resultado de procesos naturales y humanos, este metal es absorbido vía foliar por la planta. El contenido de cadmio en raicillas se da por las cargas negativas que son generadas por un grupo carboxilo que es proveniente del ácido péptico y las cargas positivas se da por los metales que se encuentran en el suelo. Al formarse los exudados alrededor de las raicillas favorece que las condiciones del suelo ayuden a la biodisponibilidad del cadmio y a su vez a la absorción de las raicillas. Este metal ingresa a las raicillas por medio del tejido cortical y se traslada a toda la planta (Furcal, P., & Torres, J. 2020: p. 8-10).

CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos fueron: pH de 5,29 propio de suelos ácidos, conductividad eléctrica 50,42 mS/cm, porcentaje de humedad de 58,51%, porcentaje de porosidad 70,08% y densidad aparente de 0,79 g cm⁻³ valores característicos de suelos orgánicos, encontrándose correlacionadas entre sí, posibilitando la absorción de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los valores medios de las concentraciones de cadmio obtenidos mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica y el software estadístico Info Stat para las muestras de suelo fue de 0,33 mg/Kg y para las muestras de raicillas fue de 0,49 mg/Kg de las plantaciones de cacao de la variedad fino de aroma, explicando que, si existe contenido de este metal en la finca “Estrella del Oriente”, debido a que la biodisponibilidad del metal en el suelo está dada naturalmente.

El contenido de cadmio en suelo y raicillas de las plantaciones de cacao de fino aroma de acuerdo con la Normativa de la Unión Europea N° 2021/133, se encuentran dentro del rango permisible; la formación de exudados en la periferia de las raicillas permite que la naturaleza del suelo contribuya en la biodisponibilidad del cadmio consecuentemente la absorción por las mismas, resultando así un potencializador para la economía de pequeños y grandes productores de cacao al poder comercializar sus productos.

RECOMENDACIONES

- Ampliar las evaluaciones del contenido de cadmio en suelos de plantaciones de cacao a nivel Nacional con el fin de actualizar los valores de concentraciones de cadmio de cada región.
- Realizar la evaluación del contenido de cadmio a más profundidad en suelos de plantaciones de cacao, para poder establecer si existe mayor variación.
- Recolectar muestras de agua y de suelo de las fincas aledañas para realizar el estudio pertinente, con ello determinar si el contenido de cadmio migra.
- No afectar de manera significativa el lugar de estudio para poder realizar continuamente el análisis del contenido de cadmio en suelos y raicillas de las plantaciones de cacao y con ello renovar información.

GLOSARIO

Alofán: Es una nanopartícula natural que está presente en los suelos de origen volcánico, constituyendo el 30% del territorio tanto en zonas húmedas como altas de la región sierra-norte, el cual se lo obtiene a través de procesos fisicoquímicos (Silva, Y., et al. 2021. p. 56).

CODEX Alimentarium: Es una agrupación de Normas alimentarias acogidas a nivel internacional las cuales han sido expuestas de forma uniforme. Los objetivos con los que se han publicado estas normas son con el fin de preservar la salud de los consumidores y generar negocios internacionales de alimentos. La Codex Alimentarium señala la orientación y animar en la producción, preparación y consumo de alimentos de confianza (Principios Generales del Codex Alimentarium. p. 5).

Digestión Ácida: Es un método que consiste en convertir el metal que está asociado en diversas partículas principalmente en su forma libre reduciendo la materia orgánica que interfiere, para que con ello su concentración se pueda determinar por espectroscopia de absorción atómica (García, H. et al. 2006. p. 236).

Hojarasca: Término dado a la acumulación de residuos vegetales como son hojas, tallos, frutos, los cuales se encuentran en la superficie del suelo, causadas por fluctuaciones climáticas, diversos cambios en la composición vegetal y fenológica (Gonzaga, L., & Moncayo, M. 2012: p. 17).

Metal pesado: Se encuentran de manera natural en el ambiente en distintas concentraciones, estos no pueden ser degradados, ni destruidos, pero pueden ser disueltos por agentes físico químicos (Londoño, L., et al. 2016. p. 147).

Mucílagos: son sustratos vegetales que disponen de reacciones ya sean estas ácidas o neutras con distintas funciones cada una dependiente del peso molecular y la planta a la que pertenezcan. Su producción está dada por células especializadas, que pueden estar localizadas en hojas, tallos, raíces, semillas; su disposición o escasez, del mismo modo que su función en cualquiera de las estructuras antes mencionadas, dependerá de su adaptación e inclusive de la supervivencia de cada especie (Villa, D., et al. 2020: p. 505).

Theobroma Cacao L: Es un árbol que mide aproximadamente 4-8 m de altura perteneciente a la familia de Sterculiaceae, es nativo de las regiones tropicales y cuyas semillas son una rica fuente de bioelementos que contienen del 40-50% en grasas (Vera, J. et al. 2014. pp. 22).

Entisol: Es un tipo de suelo que tiene poca evidencia de desarrollo o formación de horizontes pedogénicos, donde su tiempo de desarrollo ha sido corto. Este tipo de suelo limita su uso debido al poco espesor que posee, y sus principales problemas son la erosión, excesivos materiales gruesos, rocosidad, son susceptibles a la inundación y tienen saturación permanente de agua (GADM CJAT, 2015: p. 32-35).

Inceptisol: Es un tipo de suelo que tiene evidencia incipiente en el desarrollo pedogenético, son inmaduros y se originaron a partir de materiales resistentes o cenizas volcánicas, tiene uso variado, en el caso de pendientes es más apropiado para la reforestación, mientras que, en depresión es utilizado para los cultivos (GADM CJAT, 2015: p. 32-35).

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, M. *Técnicas en jardinería y recursos naturales y paisajísticos* [Blog]. 26 de marzo. 2020. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-raices-2644.html>

AGUIRRE, J., MENDOZA, A., CADENA, J., & AVENDAÑO, C. Efecto De La Biofertilización En Vivero Del Cacao (*Theobroma Cacao L*) Con Azospirillum Brasilense Tarrand, Krieg Et Döbereiner Y Glomus Intraradices Schenk Et Smith. *Revista Interciencia* [En línea], 2007, (Caracas-Venezuela), Vol. 32, Núm. 8, pp. 541-546 [Consulta: 25-06-2033]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000800010

ALATA, N. Efecto de la adopción del riego por goteo en maíz forrajero sobre la gerencia de empresas agropecuarias en la irrigación Majes [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de San Agustín, Escuela de Postgrado, Facultad de Economía. Arequipa-Perú. 2006. pp. 1-69 [Consulta: 17-07-2022]. Disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2009d/608/index.htm>

ARAUJO, L. Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao L.*) [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera de ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Quito-Ecuador. 2016. Pp. 1-114 [Consulta: 16-08-2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13242/1/UPS-QT10804.pdf>

ARAUJO, L., TAPIA, W., & VILLAMARÍN, A. Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao L.*). *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* [En línea], 2020, (Quito-Ecuador), Vol. 31, Núm. 1, pp. 56-75. [Consulta: 22-06-2022]. ISSN: 1390-3799; 1390-8596. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169926831006>

ARVELO, M., GONZÁLEZ, D., MAROTO, S., DELGADO, T., & MONTOYA, P. *Manual técnico del cultivo de cacao. Prácticas Latinoamericanas* [En línea]. San José-Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2017. [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>

AZPILICUETA, C., PENA, L., & GALLEGO, S. Los metales y las plantas: entre la nutrición y la toxicidad. *Revista Ciencia Hoy* [En línea], 2010, (Argentina). Vol. 20, Núm. 116, pp. 12-16. [Consulta: 15-06-2022]. ISSN: 0327-1218. Disponible en: <https://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy116/Metalesplantas.pdf>

BARBARO, L., KARLANIAN, M., & MATA, D. *Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas* [En línea]. 2018. Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca. Presidencia Nacional [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf

BLOMMAERT, H. The uptake of cadmium by cacao seedlings as affected by the root distribution and bioavailable cadmium [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) KU Leuven, Facultad bio-ingenieurswetenschappen. Bélgica. 2019. Pp. 1-119 [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: https://www.scripriprijs.be/sites/default/files/thesis/2019-10/HesterBlommaert_Thesis_2019.pdf

BRAVO, D., LEÓN, C., QUIROGA, R., MORENO, E., DUARTE, D., ZAMORA, A., GUTIÉRREZ, E., ARISTIZÁBAL, A., ARROYAVE, C., CARDONA, L., GUERRA, B., OLARTE, H., CUERVO, C., & OROZCO, M. ¿Qué es el cadmio y por qué es importante en el cultivo de cacao? [En Línea]. Bogotá-Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). Primera edición., pp: 1-26. 2021. [Consulta: 05-11-2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404548>

BRAVO, I., ARBOLEDA, C., & MARTIN, F. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Revista Ciencias del Suelo* [En línea], 2014, (Pipayán-Colombia). Vol. 63, Núm. 2, pp. 164-174 [Consulta: 22-08-2022]. ISSN: 0120-2812. Disponible en: <https://bit.ly/3ePtXPD>

CASTILLO, C. Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma – La Dalia Matagalpa [En línea]. (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua-Nicaragua. 2005. Pp. 1-92. [Consulta: 22-07-2022]. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>

CHANCA Y, L., DELGADO, M., & SALAS, C. Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus efectos ambientales. *Revista de las Agrociencias* [En línea] 2022, (Manabí-Ecuador), pp. 91-110 [Consulta: 25-06-2023]. ISSN: 2477-8982. Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/2101/8f14f362966b0b525fb247eb1f8ab1bfa0c7.pdf?_ga=2.181301347.537030996.1663453652-2015951728.1661531224

COMISIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA. REGLAMENTO (UE) 2021/1323 DE LA COMISIÓN de 10 de agosto de 2021 que modifica el Reglamento (CE) n.o 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1323&from=EN>

COMMISSION REGULATION (EU) No 488/2014 of 12 May 2014. *Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs.* Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/488/oj>

FAO. *Cocoa, choosing and preparing the plantation site.* 1970. [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/ad220e/AD220E03.htm> (visited on 15/12/2018).

FAO, *Comisión del Codex Alimentarius—2-6 de julio de 2018.* [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1143815/icode/>

FLORIDA, N. Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*THEOBROMA CACAO* L.). *Revista Ciencias de la Vida* [En línea], 2021, (Cuenca-Ecuador), Vol. 34, Núm. 2, pp 117-133 [Consulta: 22-08-2022]. ISSN:1390-3799; 1390-8596. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476068396010/476068396010.pdf>

FURCAL, P., & TORRES, J. Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* [En línea], 2020, (Costa Rica). Vol. 33, Núm. 1, pp. 1-15 [Consulta: 05-11-2022]. ISSN: 2215-3241. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/263/2631042011/2631042011.pdf>

GADM CARLOS JULIO AROSEMENA TOLA. *Historia del cantón Carlos Julio Arosemena Tola* [Blog]. Calos Julio Arosemena Tola, GADM Carlos Julio Arosemena Tola, 2022. [Consulta: 26-08-2022]. Disponible en: <https://gadarosemenatola.gob.ec/historia-del-canton/>

GADMCJAT. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDYOT) del cantón Carlos Julio Arosemena Yola [En línea]. Carlos Julio Arosemena Tola, GADM, 2015. [Consulta 26-08-2022]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1560184810001_PDYOT%20-%202014%20-%20DIAGN%C3%93STICO_11-03-2015_19-11-52.pdf

GALLART, F. La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica del Medio Natural. Valencia-España. 2017. pp. 1-32 [Consulta: 228-07-2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART%20-%20La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo%20como%20indicador%20de%20la%20capacidad%20de%20uso%20de%20los%20suelo....pdf?sequence=1>

GALLEGOS, W., VEGA, M., & NORIEGA, P. Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *Revista de ciencias de la vida* [En línea], 2012, (Quito-Ecuador), Vol. 15, Núm. 1, pp: 18-25 [Consulta: 26-08-2022]. ISSN: 1390-3799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047399003.pdf>

GARCÍA, H., EL ZUAHRE, M., MORÁN, H., ACOSTA, Y., SENIOR, A., & FERNÁNDEZ, N. Análisis comparativo de dos técnicas de digestión para la determinación de metales pesados en lodos residuales. *Revista multiciencias* [En línea], 2006, (Punto Fijo-Venezuela), Vol. 6, Núm. 3, pp: 234-243 [Consulta: 14-09-2022]. ISSN: 1317-2255. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90460305.pdf>

GONZAGA, L., & MONCAYO, M. Fenología, producción de hojarasca y ensayos de germinación de las principales especies nativas del bosque protector “El Bosque” parroquia San Pedro de Vilcabamba, Loja [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Forestal. Loja-Ecuador. 2012. pp. 1-86 [Consulta: 24-09-2022]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5339/1/FENOLOG%C3%8DA%2C%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20HOJARASCA%20Y%20ENSAYOS%20DE%20GERMINACI%C3%93N.pdf>

GONZÁLEZ, E., TORNERO, M., SANDOVAL, E., PÉREZ, A., & GORDILLO, A. Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal. *Revista Internacional de contaminación ambiental* [En línea], 2011, (Puebla-México), Vol. 27, Núm. 4, pp. 291–301. [Consulta: 20-06-2022]. ISSN: 0188-4999. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000400002

GUEVARA, G. Incidencia del suelo para la bioacumulación de Cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) de dos variedades Fino de Aroma y CCN51 cultivadas en el cantón Santa Clara provincia de Pastaza [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Ambato-Ecuador. 2021. pp. 1-111 [Consulta: 16-06-2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33231/1/t1845mquim.pdf>

GUNNAR, N. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [En línea]. Madrid- España. Metales: propiedades químicas y toxicidad, Editorial Chantal Dufresne, BA, Cap 63. 2012 [Consulta 13-07-2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>

HUAMANÍ, A.; HUAUYA, Á.; MANSILLA, G.; FLORIDA, N.; & NEIRA, M. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Sistema de Información Científica Redalyc* [En línea], 2012, (Palmira-Colombia), Acta Agronómica, vol. 61, núm. 4, pp 339-344. [Consulta: 20-06-2022]. ISSN: 0120-2812. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169926831006.pdf>

HUARACA, J., PÉREZ, L., BUSTINZA, L., & PAMPA, N. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Revista Información en Tecnología* [En línea]. 2020, (Lima-Perú), Vol. 31, Núm. 4, pp. 139-152 [Consulta 05-12-2022]. ISSN: 0718-0764. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000400139#:~:text=El%20pH%20es%20uno%20de,existe%20una%20relaci%C3%B3n%20lineal%20indirecta

LEMEILLET, F., SAINATO, C., MALLEVILLE, H., CARBÓ, L., & HERRERO, A. Conductividad eléctrica de un suelo tratado con efluentes ganaderos. *Revista Geoacta* [En Línea].

2016. (Buenos Aires-Argentina). Vol. 41, Núm. 2, pp. 57-73. [Consulta: 26-08-2022]. ISSN: 1852-7744. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/geoacta/v41n2/v41n2a05.pdf>

LONDOÑO, L., LONDOÑO, P., & MUÑOZ, F. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [En línea]. 2016, (Popayán-Colombia), Vol. 14, Núm. 2, pp. 145-153. [Consulta: 14-09-2022]. ISSN: 1692-3561. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

LÓPEZ, A. Producción y Comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador - Año 2012-2014 [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador. 2017. Pp. 1-34 [Consulta: 24-08-2022]. Disponible en: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf>

LÓPEZ, M., JAIMEZ, R., & OROZCO, L. *Cadmio en el cultivo de cacao. Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* [En línea]. Quito- Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería (1° ed., pp1-20). 2021. [Consulta 17-06-2022]. Disponible en: https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/Guia_1.pdf

JIMÉNEZ, C. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Revista Producción + Limpia* [En línea], 2015, (Colombia), Vol. 10, Núm. 1, pp: 89-104. [Consulta: 20-06-2022]. ISSN: 1909-0455. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009

KLOSTER, N., AZCARATE, M., BABINEC, F. & BONO, A. Comparación de técnicas de medición del ph del suelo: ph en pasta de saturación y en relación suelo:agua 1:2,5. *XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* [en línea]. 2008, (Argentina), Vol. 1, Núm. 1, pp. 1-6 [Consulta: 16-07-2022]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_comparacion_de_tecnicas_de_medicion_del_ph_del_suelo_-_kloster_et_al_2008.pdf

MARTÍNEZ, G., & PALACIO, C. Determinación de metales pesados Cd y Pb en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis Pregrado) Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias, Escuela de Química. Bucaramanga-Colombia. 2010. pp. 1-98 [Consulta: 07-07-2022]. Disponible en: <https://silo.tips/download/genny-rocio-martinez-carolina-palacio#>

METER, A., ATKINSON, R., & LABIBERTE, B. *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe: Análisis de la Investigación y Soluciones Potenciales para la Mitigación* [En línea]. Roma-Italia: Bioversity International. 2019. [Consulta: 16-06-2022]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/102354/Bioversity-CAF-Review-Cd-Cacao-13Nov2019-ES.pdf?sequence=11&isAllowed=y>

MITE, F., CARRILLO, M., & DURANDO, W. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de Ecuador [En línea] (Trabajo de Titulación). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Santo Domingo-Ecuador. 2010. pp. 1-21 [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en: www.cbi.eu/marketinformation/cocoa/buyer-requirements/

MOROCHO, J., & PUENTE, B. Determinación de la concentración de cadmio en suelo urbano y vegetación de Cuenca por espectrometría ICP y cálculo del riesgo de exposición a la población [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2019. pp. 1-143 [Consulta: 22-06-2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18150>

MOYA, A. Simbiosis y Parasitismo. *Revista arbor* [En línea], 1997, (España), Vol. 158, Núm. 623-624, pp. 329-339. [Consulta: 25-06-2033]. ISSN 0210-1963. Disponible en: <https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1797/1943>

MURIAS, L., TISSERAND, D., FERNANDEZ, A., CHARLET, L., & CUELLO, J. Desarrollo de procedimientos para la obtención de Imogolita natural y sintética. *Revista de la Sociedad española de mineralogía* [En línea]. 2008, (Asturias-España), Núm. 9, pp. 169-170. [Consulta: 14-09-2022]. ISSN: 1885-7264. Disponible en: https://www.academia.edu/9141582/Desarrollo_de_Procedimientos_para_la_Obtenci%C3%B3n_de_Imogolita_Natural_y_Sint%C3%A9tica

NTE INEN 621:2010. *Chocolates. Requisitos.* Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/621.pdf>

OCHOA, J. El concepto de simbiosis desde la relación entre hongos formadores de micorrizas y raíces de las plantas: estrategia teórico práctica para grado quinto [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ciencias. Bogotá-Colombia. 2020.

pp. 1–106 [Consulta: 16-06-2022]. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77967/1030531274.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OFICINA EN BRUSELAS PARA LA UNIÓN EUROPEA. *¿Cómo exportar cacao y productos derivados a la Unión Europea?*. Mincomercio Industria y Turismo. pp. 1–10. 2014. Diponible en: www.cbi.eu/market-information/cocoa/buyer-requirements/

ORTIZ BERNAD, I., SANZ GARCÍA, J., DORADO VALIÑO, M., & VILLAR FERNÁNDEZ, S. *Técnicas de recuperación de suelos contaminados* [En línea]. Madrid-España: Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. vt 6. 2017. Consulta: 16-06-2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33509>

OSTEÓPATAS FEDERACIÓN CIENTÍFICA EUROPEA. *Prueba «t» de Student. Prueba «t» de Student* [En línea], pp. 1-5. 2019 . [Consulta 15-06-2022]. Disponible en: <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Prueba-t-de-Student.pdf>

PERNÍA, B., DE SOUSA, A., REYES, R., & CASTILLO, M. Biomarcadores de Contaminación por Cadmio en las Plantas. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* [En línea], 2008, (Caracas-Venezuela), Vol. 33, Núm. 2, pp. 112-119 [Consulta: 22-06-2022]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933205>

PRIETO, J., GONZÁLEZ, C., TOMÁN, A., & PRIETO, F. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems* [En línea], 2009, (Hidalgo-México), Vol. 10, Núm. 19, pp. 29-44 [Consulta: 22-08-2022]. ISSN:1870-0462. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>

PRINCIPIOS GENERALES DEL CODEX ALIMENTARIUS. *Finalidad de la CODEX ALIMENTARIUS* [Blog]. 16 de septiembre. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/w5975s/w5975s06.htm>

PUGA, S., SOSA, M., LEGGUE, T., QUINTANA, C., & CAMPOS, A. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Revista Ecología Aplicada* [En línea],

2006, (Lima-Perú), Vol. 5, Núm. 1-2, pp. 149-155 [Consulta: 24-08-2022]. ISSN: 1726-2216.
Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100020

REINOSO, K. Determinación de la Concentración de Cadmio en Tres Tipos de Suelos y en Almendras de Cacao (*Theobroma Cacao L.*) de la Variedad Súper Árbol de la Provincia de Orellana [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-65 [Consulta: 22-06-2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14775>

REYES YULIETH, VERGARA, I., TORRES, O., DÍAZ, M., & GONZÁLEZ, E. Contaminación por metales pesados: Implicados en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D* [En línea], 2016, (Sogamoso-Boyacá-Colombia) Vol. 16, Núm. 2, pp. 66-77. [Consulta: 20-06-2022]. ISSN: 2422-4324,1900-771X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02796157>

RODRIGUEZ, N., MCLAUGHLIN, M., & PENNOCK, D. *La contaminación del suelo: una realidad oculta* [En línea]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO. 2019. [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

RODRÍQUEZ, M., MARTÍNEZ, N., ROMERO, M., DEL RÍO, L., & SANDALIO, L. Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* [En línea], 2008, (Granada-España), Vol. 17, Núm. 3, pp. 139–146 [Consulta: 25-06-2033]. ISSN: 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/409>

ROMERO, A., CABAILEIRO, T., CARIDE, A., & LAFUENTE, A. Posible papel protector de la melatonina frente a la toxicidad neuroendocrina inducida por cadmio. *Revista de Toxicología* [En línea], 2008, (Madrid-España), Vol. 17, Núm. 1, pp.3–11 [Consulta:15-06-2022]. ISSN: 0212-7113. Disponible en: <http://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/hemeroteca/vol25-13/40-82-2-PB.pdf>

RUBIO, A. La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales [En línea]. (Trabajo de Titulación). Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Sevilla. 2010. Pp11-88 [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en:

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

SALAS, J., & HERNÁNDEZ, L. Cacao, una aportación de México al mundo. *Revista Ciencia de la Academia Mexicana de Ciencias* [En línea], 2015, (México). Vol. 66, Núm. 3, pp. 32-39. [Consulta: 15-06-2022]. ISSN: 2007-6614. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Cacao.pdf

SANCHEZ, G. Ecotoxicología del cadmio: riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Complutense, Facultad de Farmacia. Madrid-España. 2016. pp. 1-17 [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en: http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf

SÁNCHEZ, R. T-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología* [En línea, 2015, (México). Vol. 26, Núm. 1, pp. 59-61 [Consulta: 15-06-2022]. ISSN 01882198. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v26n1/v26n1a9.pdf>

SANTANDER, W., GARAY, R., VERDE, C., & MENDIETA, O. Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la Región San Martín. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [En línea], 2021, (Lima-Perú), Vol. 87, Núm. 1, pp. 39-49. [Consulta: 15-06-2022]. ISSN 1810-634X. Disponible en: <http://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/321/278>

SCHEWEIZER, S. *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad* [En línea]. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2011. [Consulta: 23-06-2022]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

SELA, G. *La conductividad eléctrica del suelo* [Blog]. Ign. Guy Sela. 22 de mayo. 2018. [19-06-2022]. Disponible en: <https://cropaia.com/es/blog/conductividad-electrica-suelo/>

SILVA, J., CAZORLA, R., MEDINA, C., & CHANGO, G. Alofán, una nanopartícula natural presente en andisoles del Ecuador, propiedades y aplicaciones. *Revista de Ciencias de la Vida* [En línea], 2021, (Riobamba-Ecuador), Vol. 33, Núm. 1, pp. 53-66. [Consulta: 14-09-2022]. ISSN: 1390-3799; 1390-8596. Disponible en: https://retos.ups.edu.ec/pdf/granja/nanoparticulas_esp_in_press.pdf

SOSA, A. Estudio del cacao fino de aroma. Facultad de Artes y Humanidades [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de los Hemisferios, Facultad Artes y Humanidades, Carrera de Gastronomía. Quito-Ecuador. 2019. pp. 1-48 [Consulta: 22-06-2022]. Disponible en: <http://dspace.uhemisferios.edu.ec:8080/jspui/bitstream/123456789/818/1/ESTUDIO%20DEL%20CACAO%20FINO%20DE%20AROMA.pdf>

SEVRUK, B. Medición de la humedad del suelo. *Operational hydrology report* [en línea]. 2014. Núm. 35, pp. 283-290 [Consulta 14-05-2022]. Disponible en: <https://toolbox.coffeeandclimate.org/es/tools/soil-humidity-measurement/%0Ahttps://www.redalyc.org/pdf/1276/127619409003.pdf>

TORRES, L. Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 1-141 [Consulta: 15-06-2022]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>

VANDERSCHUEREN, R., & PULLEMAN, M. Cadmio en cacao: de dónde viene, cómo se regula y por qué preocupa a los productores. *Revista Science of the Total Environment* [En línea], 2021, (Cali-Colombia), Políticas en Síntesis de Clima-LoCa No. 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Vol. 781, 146779. pp. 10.[Consulta: 20-06-2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/117850>

VERA, J., VALLEJO, C., PÁRRAGA, D., MORALES, W., MACÍAS, J., & RAMOS, R. Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Revista de Ciencia y Tecnología* [En línea], 2014, (Quevedo- Ecuador), Vol. 7, Núm. 2, pp. 21-34. [Consulta: 14-09-2022]. ISSN: 1390-4051; 1390-4043 e. Disponible en: https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_en%20construccion.pdf

VIDAL, G., VILAR, L., & CAMPDESUÑER, R. P. Tendencias de la investigación del cacao: Oportunidades para la investigación en Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista Sathiri Sembrador* [En línea], 2018, (Santo Domingo-Ecuador), Vol. 12, Núm. 2, pp. 24-45. [Consulta: 22-06-2022]. ISSN 1390-6925. Disponible en: <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/105>

VILA, M. Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados [En línea] (Trabajo de Titulación). (Tesis Doctoral) Universidad de Vigo, Escola Internacional de Doutoramento. 2018. pp. 1-242. [Consulta: 28-06-2022]. Disponible en: http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1123/Tesis%20Manoel%20Lago%20Vila_sin%20proteccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VILLA, D., OSORIO, A., & VILLACÍS, Y. Extracción, propiedades y beneficios de los mucílago. *Revista Dominio de las Ciencias* [En línea], 2020, (Macas-Ecuador), Vol. 6, Núm. 2, pp. 503-524. [Consulta: 20-06-2022]. ISSN: 2477-8818. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1181>

VILLASEÑOR, D. Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo [En línea]. Primera edición 2015, Edición UTMACH. Universidad Técnica de Machala. pp. 1-79. 2016. [Consulta: 26-08-2022] Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>

WAIZEL, S., WAIZEL, J., MAGAÑA, J. A., CAMPOS, P., & ESTEBAN, J. Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Revista Anales Médicos de la Asociación Médica del Centro Médico ABC* [En línea], 2012, (México). Vol. 57, Núm. 3, pp. 236–245. [Consulta: 22-06-2022]. ISSN 1101-4148. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2012/bc123k.pdf>

WELCH, R., & NORVELL, W. Mechanisms of Cadmium Uptake, Translocation and Deposition in Plants BT - Cadmium in Soils and Plants [En Línea]. In M. J. McLaughlin and B. R. Singh, editors, *Cadmium in Soils and Plants*, pp. 125–150. Springer Netherlands, Dordrecht, 1999. [Consulta: 26-08-2022] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-4473-5_6

WUELLINS, D., CAICEDO, M., VERA, D., SOTOMAYOR, I., SAINI, E., CHÁVEZ, E. *La cadena del valor del cacao en América Latina y el Caribe: Cacao 2030-2050* [En línea]. Ecuador: FONTAGRO, ESPOL, INIAP. 2019. [Consulta: 16-06-2022]. Disponible en: https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf

ZAMBRANO, D. Estudio del contenido en cadmio de cacao (*Theobroma cacao* L) ecuatoriano y su incidencia en el consumo humano [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Máster en Agroalimentación. 2017-2018. pp. 1–30 [Consulta: 17-06-2022]. Disponible en:

https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/20041/tfm_denisse_margoth_zambrano_muñoz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ZUBIETA, A. Estudio de métodos analíticos para la determinación de metales en suelos y vegetación. Influencia del tráfico rodado [En línea]. Coruña-España: Universidade da Coruña. Journal of Chemical Information and Modeling, pp. 1-419. 1995. [Consulta: 16-06-2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/61896669.pdf>



ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO DE SUELOS Y RAICILLAS



FIGURA 1A. Árbol de cacao de la variedad fino de aroma.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 2A. Fruto de cacao de la variedad fino de aroma.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 2A. Cantón Calor Julio Arosemena Tola.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA A. Medición de coordenadas en el lugar de la toma de muestras.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA A. Cooler con friogel.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA A. Toma de muestras de suelos y raicillas.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

ANEXO B: HUMEDAD DEL SUELO



FIGURA 1B. Pesaje de muestra de suelos

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA B. Enfriamiento de la muestra de suelo en el desecador.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

ANEXO C: pH DEL SUELO



FIGURA 1C. Pesaje de 10 g de muestra de suelos.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC).



FIGURA 2C. Adición de 10 ml de agua destilada a la muestra de suelo

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC).

ANEXO D: CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO



FIGURA 1D. Pesaje de 10 g de muestra de suelos.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC).



FIGURA 2D. Adición de 10 ml de agua destilada a la muestra de suelo.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC).

ANEXO E: CONTENIDO DE CADMIO EN RAICILLAS



FIGURA 1E. Muestra de raicillas puesta en el tamiz.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 2E. Lavado y tamizado de raicillas.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 1E. Digestión acida de las muestras de raicillas.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 4E. Filtrado de la solución digestada de la muestra de raicillas.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

ANEXO F: CONTENIDO DE CADMIO EN SUELOS



FIGURA 1F. Pesaje de 1g de muestra de suelos.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 2F. Digestión acida de las muestras de raicillas.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)



FIGURA 3F. Filtrado de la solución
digestada de la muestra de suelos.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

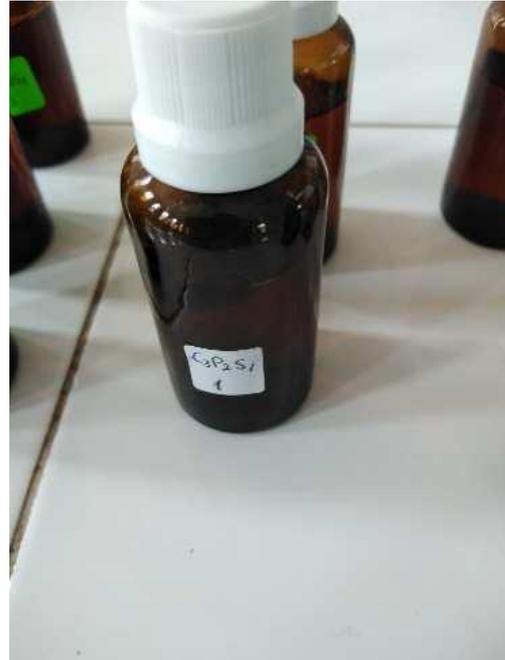


FIGURA 4F. Muestra de suelo digestada.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

ANEXO G. EQUIPO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA



FIGURA 1G. Equipo de espectroscopia de absorción atómica.

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

ANEXO H. ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL EQUIPO DE ESECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LAS MUESTRAS DE RAICILLAS Y SUELOS DDE LAS PLANTACIONES DE CACAO.



Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/8/2022 04:45:16

Fichero Result: C:\SOLAARM\DATA\CADMIO\DAVID\prueba-2.SLR

Parámetros Generales

Método: METODO CADMIO
 Automuest: Ningún
 Usar SF: No

Operador: Lab. Investigación

Modo Instum: LLama
 Dilución: Ninguna

Registro trazabilidad método

18/8/2021 03:06:30 Lab. Investigación: DESKTOP-05SLSKE
 Registro creado
 13/10/2021 10:06:40 Lab. Investigación: DESKTOP-05SLSKE
 Detalles de muestra modificados
 Secuencia tarea modificada
 (Cd Re-muestras: 2) cambiado a (1)
 05/8/2022 03:23:57 Lab. Investigación: DESKTOP-05SLSKE
 Detalles de muestra modificados
 Secuencia tarea modificada

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 05/8/2022
 Nombre Operador: Lab. Investigación

Espectróm.: SCE 3000 AA05170304 v1.30

Resultados Test OQ Actual: No disponible

Resultados Test PQ Actual: No disponible

Infomación lámp.

Elemento(s)	nº de Serie	mA Horas
Cd	n/a	n/a

Horas lámp. Deuto: 274.38

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	Relac. Dilución
		Masa Muestra	
1	1C1P1S1	1.0000	1.0000
2	2C1P1S1	1.0000	1.0000
3	3C1P1S1	1.0000	1.0000
4	1C1P1S2	1.0000	1.0000
5	2C1P1S2	1.0000	1.0000
6	3C1P1S2	1.0000	1.0000
7	1C1P2S1	1.0000	1.0000
8	2C1P2S1	1.0000	1.0000
9	3C1P2S1	1.0000	1.0000
10	1C1P3S1	1.0000	1.0000
11	2C1P3S1	1.0000	1.0000
12	3C1P3S1	1.0000	1.0000
13	1C1P3S2	1.0000	1.0000
14	2C1P3S2	1.0000	1.0000
15	3C1P3S2	1.0000	1.0000
16	1C2P1S1	1.0000	1.0000
17	2C2P1S1	1.0000	1.0000
18	3C2P1S1	1.0000	1.0000
19	1C2P1S2	1.0000	1.0000
20	2C2P1S2	1.0000	1.0000
21	3C2P1S2	1.0000	1.0000
22	1C2P3S1	1.0000	1.0000
23	2C2P3S1	1.0000	1.0000
24	3C2P3S1	1.0000	1.0000
25	1C2P3S2	1.0000	1.0000
26	2C2P3S2	1.0000	1.0000

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/9/2022 04:45:18

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MDATA\CADMID\DAVID\prueba-2.SLR

Nº	ID Muestra	Masa Muestra	Relac. Dilución
27	3C2P3S2	1.0000	1.0000
28	1C3P1S1	1.0000	1.0000
29	2C3P1S1	1.0000	1.0000
30	3C3P1S1	1.0000	1.0000
31	1C3P1S2	1.0000	1.0000
32	2C3P1S2	1.0000	1.0000
33	3C3P1S2	1.0000	1.0000
34	1C3P2S1	1.0000	1.0000
35	2C3P2S1	1.0000	1.0000
36	3C3P2S1	1.0000	1.0000
37	1C3P2S2	1.0000	1.0000
38	2C3P2S1	1.0000	1.0000
39	3C3P2S1	1.0000	1.0000
40	1C3P3S1	1.0000	1.0000
41	2C3P3S1	1.0000	1.0000
42	3C3P3S1	1.0000	1.0000
43	1C3P3S2	1.0000	1.0000
44	2C3P3S2	1.0000	1.0000
45	3C3P3S2	1.0000	1.0000
46	1C4P1S1	1.0000	1.0000
47	3C2P3S2	1.0000	1.0000
48	2C4P1S1	1.0000	1.0000
49	3C4P1S1	1.0000	1.0000
50	1C4P1S2	1.0000	1.0000
51	2C4P1S2	1.0000	1.0000
52	3C4P1S2	1.0000	1.0000
53	1C4P2S1	1.0000	1.0000
54	2C4P2S1	1.0000	1.0000
55	3C4P2S1	1.0000	1.0000
56	1C4P2S2	1.0000	1.0000
57	2C4P2S2	1.0000	1.0000
58	3C4P2S2	1.0000	1.0000
59	1C4P3S2	1.0000	1.0000
60	2C4P3S2	1.0000	1.0000
61	3C4P3S2	1.0000	1.0000
62	1C4P3S1	1.0000	1.0000
63	2C4P3S1	1.0000	1.0000
64	3C4P3S1	1.0000	1.0000
65	1C2P2S2	1.0000	1.0000
66	2C2P2S2	1.0000	1.0000
67	3C2P2S2	1.0000	1.0000
68	1C2P2S1	1.0000	1.0000
69	2C2P2S1	1.0000	1.0000
70	3C2P2S1	1.0000	1.0000
71	1C1P2S2	1.0000	1.0000
72	2C1P2S2	1.0000	1.0000
73	3C1P2S2	1.0000	1.0000
74	1C1P1R1	1.0000	1.0000
75	2C1P1R1	1.0000	1.0000
76	1C1P1R2	1.0000	1.0000
77	2C1P1R2	1.0000	1.0000
78	1C1P2R1	1.0000	1.0000
79	2C1P2R1	1.0000	1.0000
80	1C1P2R2	1.0000	1.0000
81	2C1P2R2	1.0000	1.0000
82	1C1P3R1	1.0000	1.0000

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/8/2022 04:45:15

Fichero Result: C:\SOLAAR\MIDATA\CADM\INDAVID\prueba-2.SLR

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
83	2C1P3R1	1.0000	1.0000
84	1C1P3R2	1.0000	1.0000
85	2C1P3R2	1.0000	1.0000
86	1C2P1R1	1.0000	1.0000
87	2C2P1R1	1.0000	1.0000
88	1C2P1R2	1.0000	1.0000
89	2C2P1R2	1.0000	1.0000
90	1C2P2R1	1.0000	1.0000
91	2C2P2R1	1.0000	1.0000
92	1C2P2R2	1.0000	1.0000
93	2C2P2R2	1.0000	1.0000
94	1C2P3R1	1.0000	1.0000
95	2C2P3R1	1.0000	1.0000
96	1C2P3R2	1.0000	1.0000
97	2C2P3R2	1.0000	1.0000
98	1C3P1R1	1.0000	1.0000
99	2C3P1R1	1.0000	1.0000
100	1C3P1R2	1.0000	1.0000
101	2C3P1R2	1.0000	1.0000
102	1C3P2R1	1.0000	1.0000
103	2C3P2R1	1.0000	1.0000
104	1C3P2R2	1.0000	1.0000
105	2C3P2R2	1.0000	1.0000
106	1C3P3R1	1.0000	1.0000
107	2C3P3R1	1.0000	1.0000
108	1C3P3R2	1.0000	1.0000
109	2C3P3R2	1.0000	1.0000
110	1C4P1R1	1.0000	1.0000
111	2C4P1R1	1.0000	1.0000
112	1C4P1R2	1.0000	1.0000
113	2C4P1R2	1.0000	1.0000
114	1C4P2R1	1.0000	1.0000
115	2C4P2R1	1.0000	1.0000
116	1C4P2R2	1.0000	1.0000
117	2C4P2R2	1.0000	1.0000
118	1C4P3R1	1.0000	1.0000
119	2C4P3R1	1.0000	1.0000
120	1C4P3R2	1.0000	1.0000
121	2C4P3R2	1.0000	1.0000

Registro de trazabilidad Análisis

05/8/2022 03:23:57 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLEK6

Registro creado

05/8/2022 04:44:51 Lab. Investigación: DESKTOP-0SSLEK6

Error MD147 - Actividad abortada manualmente por el usuario.

Resumen Resultados Test OQ

Advertencia: Resultados OQ no disponibles.

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/8/2022 04:45:15

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\CADMIO\DAVID\prueba-2.SLR

Parámetros Espectróm. - Cd

Elemento: Cd

Long. onda: 228.8nm

Corrección Fondo: D2

Tipo Señal: Continuo

Tiempo Medida: 4.0sg

Usar Test RSD: No

Modo Medida: Absorbancia

Rendija: 0.5nm

Alta Resolución: Apagado

Re-muestras: Rápido

Modo Rechazo Datos: No

Corriente Lámp: 50%

Optimizar Parámetros Espectróm.: No

Nº de Re-muestras: 1

Parámetros Llama - Cd

Tipo Llama: Aire-C2H2

Toma del Nebuliz.: 4sg

Altura Mechero: 7.0mm

Fujo Combust.: 1.0L/min

Estabiliz. Mechero: 0min

Optimiz. Altura Mechero: No

Oxidante Auxiliar: Apagado

Optimiz. Flujo Combust.: No

Parámetros muestreo - Cd

Muestreo: Ninguna

Parámetros Calibrac. - Cd

Modo Calibrac.: Normal

Unidades Concentrac.: mg/L

Ajuste Aceptable: 0.995

Estándar Maestro: 1.5000

Estándar1

Estándar2

Estándar3

0.0200

0.0400

0.0600

Ajuste Linear: Linear

Unidades Escala: mg/L

Re-escalar Límite: 10.0%

Usar Calibr. Almacenada: No

Factor Escala: 1.0000

Acción Fallida: Señalizar y continuar

Estándar4

Estándar5

0.1000

0.2000

Registro de trazabilidad Elemento - Cd

No cambios registr. para este elemento

Result. Disolución - Cd

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Cd Blanco	-0.000		0.0000	
Cd Estándar 1	0.002		0.0200	
Cd Estándar 2	0.005		0.0400 U	
Cd Estándar 3	0.008		0.0600	
Cd Estándar 4	0.015		0.1000	
Cd Estándar 5	0.031		0.2000	
Cd 1C1P1S1	0.001		0.0135	0.0135
Cd 2C1P1S1	0.001		0.0139	0.0139
Cd 3C1P1S1	0.001		0.0130	0.0130
Cd 1C1P1S2	0.000		0.0125	0.0125
Cd 2C1P1S2	0.001		0.0127	0.0127
Cd 3C1P1S2	0.001		0.0128	0.0128
Cd 1C1P2S1	0.001		0.0135	0.0135
Cd 2C1P2S1	0.000		0.0140	0.0140
Cd 3C1P2S1	0.001		0.0136	0.0136
Cd 1C1P3S1	0.001		0.0134	0.0134
Cd 2C1P3S1	0.001		0.0133	0.0133
Cd 3C1P3S1	0.001		0.0131	0.0131
Cd 1C1P3S2	0.001		0.0123	0.0123
Cd 2C1P3S2	0.001		0.0130	0.0130
Cd 3C1P3S2	0.001		0.0127	0.0127
Cd 1C2P1S2	0.001		0.0132	0.0132
Cd 2C2P1S2	0.000		0.0138	0.0138
Cd 3C2P1S2	0.001		0.0136	0.0136
Cd 1C2P1S2	0.001		0.0139	0.0139
Cd 2C2P1S2	0.001		0.0136	0.0136
Cd 3C2P1S2	0.001		0.0132	0.0132

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/8/2022 04:45:16

Fichero Result: C:\SOLAAR\DATA\CADMIO\DAVID\prueba-2.SLR

Result. Disolución - Cd

ID Muestra	Señal	Rsd	Conc.	Conc. Corregida
	Abs	%	mg/L	mg/L
Cd 1C2P3S1	0.001		0.0139	0.0139
Cd 2C2P3S1	0.001		0.0145	0.0145
Cd 3C2P3S1	0.001		0.0140	0.0140
Cd 1C2P3S2	0.000		0.0132	0.0132
Cd 2C2P3S2	0.001		0.0138	0.0138
Cd 3C2P3S2	0.001		0.0134	0.0134
Cd 1C3P1S1	0.001		0.0137	0.0137
Cd 2C3P1S1	0.001		0.0135	0.0135
Cd 3C3P1S1	0.001		0.0139	0.0139
Cd 1C3P1S2	0.001		0.0122	0.0122
Cd 2C3P1S2	0.001		0.0126	0.0126
Cd 3C3P1S2	0.001		0.0124	0.0124
Cd 1C3P2S1	0.000		0.0120	0.0120
Cd 2C3P2S1	0.001		0.0126	0.0126
Cd 3C3P2S1	0.001		0.0124	0.0124
Cd 1C3P2S2	0.001		0.0104	0.0104
Cd 2C3P2S2	0.001		0.0103	0.0103
Cd 3C3P2S2	0.001		0.0103	0.0103
Cd 1C3P3S1	0.001		0.0149	0.0149
Cd 2C3P3S1	0.001		0.0151	0.0151
Cd 3C3P3S1	0.001		0.0153	0.0153
Cd 1C3P3S2	0.000		0.0126	0.0126
Cd 2C3P3S2	0.001		0.0134	0.0134
Cd 3C3P3S2	0.001		0.0131	0.0131
Cd 1C4P1S1	0.001		0.0158	0.0158
Cd 2C4P1S1	0.001		0.0161	0.0161
Cd 3C4P1S1	0.001		0.0163	0.0163
Cd 1C4P1S2	0.001		0.0138	0.0138
Cd 2C4P1S2	0.001		0.0142	0.0142
Cd 3C4P1S2	0.001		0.0144	0.0144
Cd Blanco	0.000		0.0000	
Cd Estándar 1	0.001		0.0200	
Cd Estándar 2	0.001		0.0400 U	
Cd Estándar 3	0.001		0.0600	
Cd Estándar 4	0.001		0.1000	
Cd Estándar 5	0.001		0.2000	
Cd 1C4P2S1	0.001		0.0162	0.0162
Cd 2C4P2S1	0.001		0.0163	0.0163
Cd 3C4P2S1	0.001		0.0160	0.0160
Cd 1C4P2S2	0.000		0.0124	0.0124
Cd 2C4P2S2	0.001		0.0126	0.0126
Cd 3C4P2S2	0.001		0.0130	0.0130
Cd 1C4P3S2	0.001		0.0143	0.0143
Cd 2C4P3S2	0.001		0.0143	0.0143
Cd 3C4P3S2	0.001		0.0149	0.0149
Cd 1C4P3S1	0.001		0.0166	0.0166
Cd 2C4P3S1	0.001		0.0163	0.0163
Cd 3C4P3S1	0.001		0.0166	0.0166
Cd 1C2P2S2	0.000		0.0126	0.0126
Cd 2C2P2S2	0.001		0.0124	0.0124
Cd 3C2P2S2	0.001		0.0124	0.0124
Cd 1C2P2S1	0.001		0.0134	0.0134
Cd 2C2P2S1	0.001		0.0139	0.0139
Cd 3C2P2S1	0.001		0.0135	0.0135

Elaborado por: Torres, J. & Palacios, G. 2023 (GIDAC)

SOLAAR AA Report

Nombre Operador: Lab. Investigación

Fecha Informe: 05/08/2022 04:45:16

Fichero Result.: C:\SOLAAR\DATA\CADMID\DAVID\prueba-2.SLR

Result. Disolución - Cd

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Cd 1C1P2S2	0.001		0.0132	0.0132
Cd 2C1P2S2	0.000		0.0138	0.0138
Cd 3C1P2S2	0.001		0.0136	0.0136
Cd 1C1P1R1	0.001		0.0194	0.0194
Cd 2C1P1R1	0.001		0.0198	0.0198
Cd 1C1P1R2	0.000		0.0184	0.0184
Cd 2C1P1R2	0.001		0.0186	0.0186
Cd 1C1P2R1	0.001		0.0194	0.0194
Cd 2C1P2R1	0.001		0.0199	0.0199
Cd 1C1P2R2	0.000		0.0191	0.0191
Cd 2C1P2R2	0.001		0.0197	0.0197
Cd 1C1P3R1	0.001		0.0193	0.0193
Cd 2C1P3R1	0.001		0.0192	0.0192
Cd 1C1P3R2	0.000		0.0182	0.0182
Cd 2C1P3R2	0.001		0.0189	0.0189
Cd 1C2P1R1	0.001		0.0200	0.0200
Cd 2C2P1R1	0.001		0.0203	0.0203
Cd 1C2P1R2	0.000		0.0198	0.0198
Cd 2C2P1R2	0.001		0.0195	0.0195
Cd 1C2P2R1	0.001		0.0193	0.0193
Cd 2C2P2R1	0.001		0.0198	0.0198
Cd 1C2P2R2	0.000		0.0185	0.0185
Cd 2C2P2R2	0.001		0.0183	0.0183
Cd 1C2P3R1	0.001		0.0198	0.0198
Cd 2C2P3R1	0.001		0.0204	0.0204
Cd 1C2P3R2	0.000		0.0191	0.0191
Cd 2C2P3R2	0.001		0.0197	0.0197
Cd 1C3P1R1	0.001		0.0196	0.0196
Cd 2C3P1R1	0.001		0.0194	0.0194
Cd 1C3P1R2	0.000		0.0181	0.0181
Cd 2C3P1R2	0.001		0.0185	0.0185
Cd 1C3P2R1	0.001		0.0179	0.0179
Cd 2C3P2R1	0.001		0.0185	0.0185
Cd 1C3P2R2	0.000		0.0163	0.0163
Cd 2C3P2R2	0.001		0.0162	0.0162
Cd 1C3P3R1	0.001		0.0208	0.0208
Cd 2C3P3R1	0.001		0.0210	0.0210
Cd 1C3P3R2	0.000		0.0185	0.0185
Cd 2C3P3R2	0.001		0.0193	0.0193
Cd 1C4P1R1	0.001		0.0217	0.0217
Cd 2C4P1R1	0.001		0.0220	0.0220
Cd 1C4P1R2	0.000		0.0197	0.0197
Cd 2C4P1R2	0.001		0.0201	0.0201
Cd 1C4P2R1	0.001		0.0221	0.0221
Cd 2C4P2R1	0.001		0.0222	0.0222
Cd 1C4P2R2	0.000		0.0183	0.0183
Cd 2C4P2R2	0.001		0.0185	0.0185
Cd 1C4P3R1	0.001		0.0225	0.0225
Cd 2C4P3R1	0.001		0.0222	0.0222
Cd 1C4P3R2	0.000		0.0202	0.0202
Cd 2C4P3R2	0.001		0.0202	0.0202



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 /06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Joselyn Michelle Torres Gallo Génesis Tahis Palacios Veloz
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Química
Título a optar: Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0704-DBRA-UPT-2023

