



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL
SUELO Y SU RELACIÓN CON LOS ÓRGANOS VEGETALES DE
CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) EN SAN GABÁN,
CARABAYA, PUNO"**

bach. YENI ESTER CALLA ROQUE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:
DR. WILE MAMANI NAVARRO**

**CO-ASESOR:
M.SC. IVON ROCIO GUTIERREZ FLORES**



**JULIACA - PERÚ
2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL
SUELO Y SU RELACIÓN CON LOS ÓRGANOS VEGETALES DE
CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) EN SAN GABÁN,
CARABAYA, PUNO"**

bach. YENI ESTER CALLA ROQUE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

ASESOR:

DR. WILE MAMANI NAVARRO

CO-ASESOR:

M.SC. IVON ROCIO GUTIERREZ FLORES



**JULIACA - PERÚ
2021**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL
SUELO Y SU RELACIÓN CON LOS ÓRGANOS VEGETALES DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN SAN GABÁN, CARABAYA, PUNO”**

Bach. Yeni Ester Calla Roque

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL

Asesor:

Dr. Wile Mamani Navarro

Co-asesor:

M.Sc. Ivon Rocio Gutierrez Flores

Juliaca, 2021

Calla, Y. (2021). *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los órganos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Yeni Ester Calla Roque

TÍTULO: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Gabán, Carabaya, Puno.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2021

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (119 pp)

CÓDIGO: 01-000014-01/C21

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro

CO-ASESOR: M.Sc. Ivon Rocio Gutierrez Flores

PALABRAS CLAVE:

bioconcentración, cadmio, translocación, *Theobroma cacao* L., redistribución.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO Y SU
RELACIÓN CON LOS ÓRGANOS VEGETALES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)
EN SAN GABÁN, CARABAYA, PUNO”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Yeni Ester Calla Roque

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

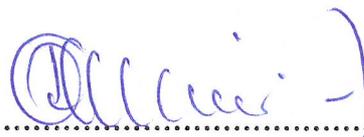
M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

PRESIDENTE



M.Sc. Hugo Arnolfo Valdivia Altamirano

SECRETARIO



M.Sc. Alcides Hector Calderon Montalico

TERCER MIEMBRO



Dr. Wile Mamani Navarro

ASESOR



M.Sc. Ivon Rocio Gutierrez Flores

CO-ASESOR



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Juliaca, por ser mi alma mater, y haberme brindado la oportunidad de obtener mi formación académica en su claustro universitario.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por los docentes que a lo largo de mis años de formación me impartieron sus conocimientos y experiencias profesionales.

A la Oficina Zonal San Juan del Oro-DEVIDA, y a todo el equipo de profesionales en la jurisdicción de San Gabán, quienes me apoyaron con la mejor predisposición. Así mismo a quien en vida fue Ing. Javier Vidal Marca.

A los productores de Cacao de cada una de las parcelas de estudio, por la predisposición y apoyo durante la ejecución de estudios.

A mi asesor de tesis Dr. Wile Mamani Navarro, por su asesoramiento, consejos y motivación durante el desarrollo de la investigación.

A mi co-asesora de tesis M.Sc. Ivon Rocio Gutierrez Flores, por su asesoramiento, orientación, predisposición y apoyo en el proceso.

A los miembros del jurado por su asesoramiento, recomendaciones, sugerencias, críticas constructivas en aras de encaminar la investigación idóneamente. Un sincero agradecimiento por tal privilegio.

A mis amigos y a todas las personas que, en el trayecto, fueron sumamente importantes para la ejecución de la investigación, por su confianza, ayuda, aportes, recomendaciones, sugerencias, palabras de aliento y motivación.

Yeni Ester Calla Roque

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática	16
1.2. Preguntas de la Investigación científica.....	17
1.2.1. Pregunta general	17
1.2.2. Pregunta específicas	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. A nivel internacional	20
2.1.2. A nivel nacional.....	23
2.2. Marco teórico.....	26
2.2.1. Contaminación del suelo	26
2.2.3. Cadmio y fertilizantes fosfatados en el suelo	26
2.2.4. Reacción con los componentes del suelo	27
2.2.5. Toxicidad del cadmio	28
2.2.6. Efectos en la salud del cadmio	28
2.2.7. Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	29
2.2.8. Coeficientes biológicos	32
2.2.9. Regulaciones normativas.....	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio.....	36
3.2. Condiciones Climáticas	36
3.3. Tipo y diseño de investigación	36
3.4. Población y muestra.....	36

3.4.1.	Población	36
3.4.2.	Muestra	37
3.5.	Materiales y equipos	38
3.6.	Metodología	38
3.6.1.	Determinación de la concentración de Cd en el suelo	38
3.6.2.	Determinación de niveles de cadmio en órganos vegetales	40
3.6.3.	Estimación de coeficientes biológicos.....	41
3.7.	Hipótesis de la investigación	42
3.7.1.	Hipótesis general	42
3.7.2.	Hipótesis específicas.....	43
3.8.	Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos	43
3.8.1.	Determinación de la concentración de cadmio en el suelo.....	43
3.8.2.	Determinación de la concentración de cadmio en órganos vegetales	43
3.8.3.	Determinación de coeficientes biológicos.....	43
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1.	Determinación de la concentración de cadmio en el suelo	44
4.1.1.	Cadmio en el suelo	44
4.1.2.	Relación del cadmio con otros parámetros del suelo	47
4.2.	Determinación de la concentración de cadmio en órganos vegetales.....	54
4.2.1.	Raíces	55
4.2.2.	Hojas.....	56
4.2.3.	Almendras.....	58
4.2.4.	Relación de la distribución de cadmio en los órganos vegetales.....	59
4.3.	Estimación de coeficientes biológicos	61
4.3.1.	Factor de bioconcentración (FBC)	62
4.3.2.	Factor de translocación (FT).....	62
4.3.3.	Factor de redistribución (FR)	62
CONCLUSIONES.....		63
RECOMENDACIONES		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		65
ANEXOS.....		76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Concentración de Cd (mg/kg) adicionado al suelo a través de diferente fuente	27
Tabla 2: Factores edáficos y propios de la planta que influyen en la absorción de Cd.....	27
Tabla 3: Descripción morfológica del Clon CCN-51 de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	30
Tabla 4: Niveles máximos (NM) de Cd en suelos agrícola a nivel Internacional	35
Tabla 5: Niveles máximos (NM) de Cd para masa de cacao y cacao en polvo.....	35
Tabla 6: Descripción de las parcelas de muestreo	37
Tabla 7: Método de ensayo aplicado	40
Tabla 8: Resumen de estadísticos descriptivos de las muestras analizadas de suelo	47
Tabla 9: Resumen de estadística descriptiva del contenido de Cd en órganos vegetales.....	54
Tabla 10: Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las raíces	56
Tabla 11: Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las hojas.....	57
Tabla 12 Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las almendras	58
Tabla 13: Resultados de coeficientes biológicos.....	61
Tabla 14: Resumen de estadísticos descriptivos de los coeficientes biológicos.	61
Tabla 15: Resumen de los parámetros de suelos de importancia por parcela	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de distribución de las parcelas de estudio	38
Figura 2: Concentración de Cd (mg/kg) en el suelo.	44
Figura 3: Diagrama de caja y bigotes de la concentración de Cd en el suelo.	45
Figura 4: Matriz de correlación de Pearson entre el Cd y otros parámetros fisicoquímicos.	48
Figura 5: Regresión lineal entre el Cd y C.I.C. en el suelo.	49
Figura 6: Regresión lineal entre el Cd y K en el suelo.	49
Figura 7: Diagrama de caja y bigotes del contenido de Cd en órganos vegetales.....	55
Figura 8: Concentración de Cd (mg/kg) en raíces.	55
Figura 9: Concentración de Cd (mg/kg) en hojas de cacao.	57
Figura 10: Concentración de Cd (mg/kg) en almendras de cacao.	58
Figura 11: Matriz de correlación de Pearson del Cd entre suelo y órganos vegetales	59
Figura 12: Regresión lineal entre el contenido de Cd en almendras y Cd en hojas.	60
Figura 13: Georreferenciación de los puntos de muestreo.	77
Figura 14: Obtención de datos mediante GPS.	77
Figura 15: Preparación del área a muestrear	77
Figura 16: Extracción de muestras simples	77
Figura 17: Obtención de muestra compuesta.	78
Figura 18: Cuarteo para la obtención de 1 kg de muestra.	78
Figura 19: Pesaje de la muestra de suelo	78
Figura 20: Rotulado de las muestras de suelo.	78
Figura 21: Obtención de raíces de árbol de cacao.	79
Figura 22: Pesaje de muestra de raíces.....	79
Figura 23: Etiquetado- muestras de raíces.....	79
Figura 24: Muestreo de hojas del árbol de cacao.	79
Figura 25: Pesaje- muestras de hojas.....	80
Figura 26: Etiquetado- muestras de hojas.....	80
Figura 27: Selección de mazorcas de cacao	80
Figura 28: Obtención de almendras frescas.....	80
Figura 29: Pesaje- muestras de almendras frescas.	81
Figura 30: Etiquetado- muestras almendras frescas.	81

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico	77
ANEXO 2: Datos de muestreo de suelo y órganos vegetales de las parcelas de estudio	82
ANEXO 3: Resumen de ensayo sobre análisis de suelo de las parcelas de estudio	88
ANEXO 4: Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Chaquimayo	89
ANEXO 5: Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Boca San Gabán	92
ANEXO 6: Informe de ensayo sobre análisis de suelo - El Carmen	95
ANEXO 7: Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Cuesta Blanca	98
ANEXO 8: Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Challhuamayo	101
ANEXO 9: Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Chaquimayo	104
ANEXO 10: Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Boca San Gabán	105
ANEXO 11: Informe de ensayo sobre análisis de raíces - El Carmen	106
ANEXO 12: Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Cuesta Blanca	107
ANEXO 13: Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Challhuamayo	108
ANEXO 14: Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Chaquimayo	109
ANEXO 15: Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Boca San Gabán	110
ANEXO 16: Informe de ensayo sobre análisis de hojas - El Carmen	111
ANEXO 17: Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Cuesta Blanca	112
ANEXO 18: Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Challhuamayo	113
ANEXO 19: Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Chaquimayo	114
ANEXO 20: Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Boca San Gabán	115
ANEXO 21: Informe de ensayo sobre análisis de almendras - El Carmen	116
ANEXO 22: Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Cuesta Blanca	117
ANEXO 23: Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Challhuamayo	118
ANEXO 24: Mapa de pendiente de las parcelas de estudio	119

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Al	: Aluminio
C.I.C.	: Capacidad de Intercambio Catiónico
C.E.	: Conductividad Eléctrica
Ca	: Calcio
Cd	: Cadmio
cm	: Centímetro
cmol	: Centimol
Cu	: Cobre
DEVIDA	: Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FBC	: Factor de Bioconcentración
Fe	: Hierro
FBC	: Factor de Bioconcentración
FR	: Factor de Redistribución
FT	: Factor de Translocación
g	: Gramo
HMRM	: Hoja Más recientemente Madura
INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
K	: Potasio
kg	: Kilogramo
meq	: Miliequivalente
Mg	: Magnesio
mg	: Miligramo
MINAM	: Ministerio del Ambiente
Mn	: Manganeso
mS	: MiliSiemens
Na	: Sodio
Ni	: Níquel
P	: Fosforo
pH	: Potencial de hidrogeno

RESUMEN

La rigurosidad creciente de la normativa internacional respecto al contenido de cadmio en cacao, conlleva a que la presente investigación tenga el objetivo de evaluar la relación de la concentración de cadmio en el suelo y los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.), mediante coeficientes biológicos en San Gabán, Carabaya, Puno. El tipo de muestreo seleccionado fue no probabilístico, comprendiendo cinco parcelas productivas de los sectores Chaquimayo, Boca San Gabán, Challhuamayo, Cuesta Blanca y El Carmen, obteniéndose cinco muestras compuestas de suelo y de tres órganos del cacao (raíces, hojas y almendras) de diez árboles de cacao por parcela, los cuales fueron analizados en un laboratorio acreditado; así mismo, se estimó coeficientes biológicos como factor de bioconcentración (FBC), factor de translocación biológico (FT) y factor de redistribución (FR). Los resultados determinaron un promedio de 0.0448 mg/kg de Cd en el suelo. La concentración de Cd en órganos vegetales se dio en la secuencia de hojas > almendras > raíces con promedios de 0.6918, 0.325 y 0.2402 mg/kg respectivamente, presentando una correlación positiva entre el contenido de Cd en las hojas y almendras ($r = 0.91$). Los coeficientes biológicos como $FBC_{(raíces)}$, $FBC_{(almendras)}$, FT, FR corresponden a 5.41, 7.29, 2.88 y 0.58 respectivamente. Finalmente, la investigación concluye que a la actualidad el suelo de las parcelas evaluadas no presenta contaminación por Cd y el contenido de Cd en el cacao no supera los estándares internacionales, siendo beneficioso para la exportación del producto.

Palabras clave: Bioconcentración, cadmio, translocación, *Theobroma cacao* L., redistribución.

ABSTRACT

The increasing rigor of international regulations regarding cadmium content in cocoa, led to the objective of this research to evaluate the relationship between the concentration of cadmium in the soil and the vegetable organs of cocoa (*Theobroma cacao* L.), by means of biological coefficients in San Gabán, Carabaya, Puno. The type of sampling selected was non-probabilistic, comprising five productive crops of the Chaquimayo, Boca San Gabán, Challhuamayo, Cuesta Blanca and El Carmen sectors, obtaining five samples composed of soil and three cocoa organs (roots, leaves and almonds) from ten cacao trees per crop, which were analyzed in an accredited laboratory; Likewise, biological coefficients were estimated as bioconcentration factor (BCF), biological translocation factor (FT) and redistribution factor (RF). The results showed an average of 0.0448 mg / kg of Cd in the soil. The concentration of Cd in plant organs occurred in the sequence of leaves > almonds > roots with averages of 0.6918, 0.325 and 0.2402 mg / kg respectively and evidenced a positive correlation between the Cd content in leaves and almonds ($r = 0.91$). The biological coefficients such as FBC (roots), FBC (almonds), FT, FR correspond to 5.41, 7.29, 2.88 and 0.58 respectively. Finally, the research concludes that at present the soil of the evaluated plots does not present pollution by Cd and the content of Cd in cocoa does not exceed international standards, being beneficial for the export of the product.

Keywords: Bioconcentration, cadmium, translocation, *Theobroma cacao* L., redistribution.

INTRODUCCIÓN

El cadmio es un metal pesado naturalmente presente en los suelos (Kabata & Pendias, 2001), que también puede ser incorporado al suelo a través de fertilizantes, estiércol, lodos de depuradora y por deposición aérea (Mite, Carrillo & Durando, 2010). Es uno de los mayores contaminantes tóxicos y persistentes asociados a la contaminación ambiental del suelo, implicando una fuerte amenaza a la biodiversidad y a las poblaciones humanas, debido a que puede bioacumularse y biomagnificarse a lo largo de las redes tróficas (Ramirez, 2002; Arroyave, Araque & Pelaez, 2010; Gonçalves, et al., 2015; Mahecha, Trujillo & Torres, 2017).

La bioacumulación de Cd en las plantas se encuentra en función a la concentración de este en el suelo, así como la respuesta de la planta, presentándose así la capacidad de absorción, translocación y distribución del suelo hacia los órganos vegetales (Cunha, Nardi, Pereira, Neto & Vedana, 2014). La biodisponibilidad del metal pesado está influido por las propiedades del suelo como el pH, CIC, CE, K, Ca, Mg, P, Mn y Zn entre otros (Kabata & Pendias, 2001; Llatance, Saavedra, Castillo & Mondragón, 2018).

Estudios en diversas regiones del país evidenciaron que las concentraciones de Cd en el suelo y en el cacao están superando niveles máximos de la normativa nacional e internacional, relacionando los altos niveles de contenido de Cd en almendras de cacao con la capacidad de bioacumulación de Cd de los suelos (Huamani, Huauya, Mansilla, Florida & Neyra, 2012; Florida, Claudio & Gómez, 2018).

El cacao es un producto bien posicionado y apreciado en el mercado mundial, así como sus productos derivados. Por ende, la preocupación en la protección de sus consumidores en Europa conllevó a la puesta en marcha de la REGLAMENTO (UE) N° 488/2014 (Unión Europea, 2014), que entro en vigencia desde el 2019 (Rofner, 2021), la cual establece una mayor rigurosidad respecto a los niveles aceptables de Cd en el cacao y con ello que exista una preocupación latente respecto a la presencia de Cd en los cultivos de cacao a nivel nacional e internacional (Arévalo, Arévalo, Baligar & He, 2017; Lopez, Hoyos & Coronado, 2018).

En el Perú, durante los últimos años el cultivo de cacao ha tenido un crecimiento significativo como parte de cultivos alternativos para enfrentar la erradicación de la hoja de coca, convirtiéndose en un cultivo de gran importancia social y económica (López, Cunias & Carrasco, 2020; Ticona, 2019). Sin embargo, el uso de fertilizantes y otros agroquímicos han contribuido con la contaminación del suelo por Cd (Roberts, 2014; Tumi, 2019), por lo tanto existe una alta probabilidad de que los cultivos de cacao se vean afectados por altos niveles de Cd en sus órganos vegetales (raíces, hojas y almendras), afectando así, la cadena productiva y de comercio del cacao (Arévalo et al., 2016; Engbersen et al., 2019).

En este contexto, la presente investigación estudió la relación de las concentraciones de Cd en el suelo y los órganos vegetales del cacao, principalmente en las almendras, que viene a ser el producto comercial, ya que de este modo se podrá fortalecer y encaminar la toma de decisiones, con el fin de prevenir las pérdidas económicas o garantizar la calidad inocua del suelo y los cultivos de cacao respecto al Cd, lo cual favorecería la economía de los productores cacaoteros y potenciaría esta actividad en la zona.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

El Cd es uno de los mayores agentes tóxicos asociados a la contaminación ambiental del suelo, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, bioacumulación, biomagnificación, alta persistencia y movilización en el medio ambiente en una secuencia de suelo – planta – consumidor (Ramirez, 2002; Arroyave et al., 2010; Gonçalves et al., 2015). Consecuentemente existe una preocupación mundial respecto a la presencia de este metal en el suelo y su incorporación en la cadena trófica (Rueda, Rodríguez & Madriñán, 2011).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene una importante relevancia económica y social en el Perú, por ser el sexto cultivo más importante a nivel nacional (López et al., 2020). Teniendo un crecimiento significativo, ya que ha permitido enfrentar la erradicación de la hoja de coca; surgiendo como un cultivo alternativo de gran importancia social y económica para el país (Arévalo, et al., 2016).

Empero, en la actualidad existe una preocupación latente respecto a la presencia de Cd en los cultivos de cacao, ya que estudios en diversas regiones del país evidenciaron que las concentraciones de Cd en el suelo y en el cacao están superando niveles máximos de la normativa nacional e internacional (Arévalo et al., 2016; Llatance et al., 2018), pasando a ser un problema potencial en la cadena productiva del cacao y teniendo consecuencias en las exportaciones de este producto, como la merma del precio de compra en el mercado internacional (Engbersen et al., 2019; López et al., 2020).

Simultáneamente, en el distrito de San Gabán de la región Puno, se ha ido incrementando e intensificando el cultivo de cacao como alternativa a la erradicación de la coca (Ticona, 2019); sin embargo, bajo las exigencias actuales de las normativas referidas a la contaminación por Cd y considerando que a través tiempo por la actividad agrícola, se hizo uso de fertilizantes y otros agroquímicos, estos pueden haber contribuido a la contaminación del suelo (Mahecha et al., 2017; Amjad, Khan, Khan & Alam, 2017).

Por lo mencionado, existió una alta probabilidad de que los suelos de los cultivos de cacao fueran afectados por altos niveles de Cd, con una repercusión en las concentraciones de Cd de los órganos vegetales (raíces, hojas y almendras) del cacao, afectando así, a la cadena productiva y de comercio del cacao (Aguirre, Piraneque & Vásquez, 2020). Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación tiene como propósito determinar la relación de la concentración de Cd en el suelo y los órganos vegetales del cacao (*Theobroma cacao* L.).

1.2. Preguntas de la Investigación científica

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la relación de la concentración de cadmio en el suelo y los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.), mediante coeficientes biológicos en San Gabán, Carabaya, Puno?

1.2.2. Pregunta específicas

- ¿Cuál es la concentración de cadmio en el suelo de las parcelas productivas de cacao (*Theobroma cacao* L.)?
- ¿Cuáles son los niveles de cadmio en las raíces, hojas y almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.)?
- ¿Cuáles **son** los coeficientes biológicos estimados, como indicadores de bioacumulación, translocación y redistribución del cadmio del suelo hacia el cacao (*Theobroma cacao* L.)?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la relación de la concentración de cadmio en el suelo y los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.), mediante coeficientes biológicos en San Gabán, Carabaya, Puno.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de cadmio en el suelo de las parcelas productivas de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Determinar el contenido de cadmio en las raíces, hojas y almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Estimar los coeficientes biológicos, como indicadores de bioacumulación, translocación y redistribución de cadmio del suelo hacia el cacao (*Theobroma cacao* L.).

1.4. Justificación

Dada la importancia económica del cacao, los resultados de la presente investigación permiten prevenir las pérdidas económicas a través de la gestión de sitios contaminados, garantizando la calidad inocua del suelo y los cultivos de cacao respecto al Cd, favoreciendo así la economía de los productores cacaoteros mediante el posicionamiento del producto en el mercado internacional y promoción del cultivo en la zona (Casteblanco, 2018; Furcal & Torres, 2020).

La investigación sirve de base para promover y garantizar la producción de cacao como cultivo alternativo frente al problema social del cultivo de coca, promoviendo la agricultura familiar sostenible, lo cual repercutirá en la toma de decisiones dentro de la coyuntura política y fortalecimiento institucional desde el gobierno central, regional y local, respecto a una mayor promoción de cultivos alternativos y la gestión de suelos con capacidad agroforestal (Tumi, 2019).

Las características climáticas, edáficas y geográficas de San Gabán dan lugar a condiciones ambientales peculiares a comparación de otros departamentos del Perú, por lo que la presente investigación permite conocer la contaminación del suelo mediante la determinación del Cd y otros parámetros del suelo, siendo relevante a posteriori para la planificación territorial correspondiente al uso agrícola.

La información resultante sirve como línea base para la generación de nuevos estudios en cuanto a la gestión de suelo y cultivos de cacao con enfoque en el Cd bajo las condiciones climáticas y geográficas de la zona de San Gabán, con la finalidad de asegurar la calidad ambiental, seguridad alimentaria y la cadena productiva del cacao (Khan, et al., 2017; Chavez, et al., 2016; Jiménez, 2015).

La presente investigación se encuentra fundamentada dentro del marco legal nacional respecto a los principios de prevención y precaución de la contaminación de la ley N° 26811 “ley general del ambiente”, la identificación y gestión de sitios contaminados, contemplado en el D.S N° 012-2017-MINAM y en la agenda de impacto rápido vinculada a los niveles máximos de Cd en productos específicos de cacao y chocolate, aprobado mediante R. M. N° 0449-2018-MINAGRI.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Lewis, Lennon, Eudoxie, Sivapatham & Umaharan (2021), evidenciaron la bioacumulación de cadmio en cacao, mediante la evaluación de 12 subgrupos de suelos a una profundidad de 20 cm (considerando la mayor actividad de las raíces del cacao) en quince localidades de Trinidad, tomando muestras de compuestas de suelo y hojas a partir de tres arboles por parcela de estudio, las propiedades del suelo mostraron una C.E. = 69.49 uS/cm; pH = 5.57 y Cd = 1.025 mg/kg, respecto al contenido de Cd en hojas fue de 0.66 mg/kg, reportando finalmente una relación antagónica entre el Cd-pH y Cd-Zn.

Adewoye & Amusa (2021), indagaron sobre la presencia de Cd y otros metales en el suelo a raíz de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en el estado de Oyo, Nigueria, donde estudiaron 3 Áreas de Gobierno Local (AGL) y tomaron 3 muestras compuestas de suelo a una profundidad de 15 cm por cada AGL, donde el suelo presentó una concentración promedio de 1.43 mg/kg de Cd, concluyendo que los suelos de los cultivos de cacao se encuentran polucionados por Cd y presentan un deterioro gradual de los suelos de cacao, atribuyéndolo a la aplicación exhaustiva de pesticidas y plaguicidas.

Bravo et al. (2021), estudiaron la distribución del contenido de Cd en suelos de cultivo de cacao y su relación con otros parámetros en 19 distritos de Colombia, para lo cual obtuvieron muestras compuestas de suelo, en función a la distribución radicular del cacao, donde el nivel de cadmio osciló entre 0.40 a 2.83 mg/kg correspondientes a los distritos de Bolívar y Cundinamarca, además reportaron correlaciones fuertes de 0.77 y 0.86 para Cd – Zn y Cd – Ca respectivamente.

Furcal & Torres (2020), determinaron las concentraciones de Cd en el suelo, raíz, hoja y grano seco no fermentado en 40 fincas distribuidas en las regiones sur y norte de Costa Rica, donde reportaron concentraciones de Cd que oscilaron desde 1 a 4 mg/kg, 0 a 13.40 mg/kg, 0 a 11 mg/kg, 0 a 8.70 mg/kg, en suelo, raíces, hojas y almendras respectivamente, El referido estudio también presentó una correlación positiva y significativa entre el Cd en hojas y almendras ($r = 0.90$, p -valor = 0.05), donde evidenciaron que las raíces y hojas tienen la capacidad de bioacumular Cd y traslocarlo a las mazorcas del cacao.

Aguirre, Piraneque & Vásquez (2020), evaluaron el contenido de Cd, Ni, Pb y Cr en dos regiones productoras de cacao en el norte de Colombia, mediante el análisis de órganos vegetales (hoja, frijol y cáscara) y suelo de 20 parcelas de cacao correspondientes a las 2 regiones, donde indican un contenido medio de Cd en frijoles de 0.51 mg/kg en la región 1 y 0.66 mg/kg en la región 2, por lo que lo consideran riesgosos y restringen la exportación del producto.

Barrezueta (2019), estudió las propiedades de algunos suelos cultivados con cacao, dicho estudio respondió a la evaluación de 18 parcelas de cacao de la variedad CCN-51 de la provincia del Oro - Ecuador, donde tomó como referencia niveles óptimos de algunos parámetros físicoquímicos del suelo como la CE (< 1 mS/cm), pH (5.1 a 7.0), C.I.C. (19.35 a 30 meq/100), P (12.0 a 25.0 mg/kg), K (0.2 a 1.2 cmol/kg), Ca (4.0 a 18.0 cmol/kg), Mg (0.9 a 4.0 cmol/kg), Cu (1.8 a 5.9) y Zn (163.5 – 719.5 mg/kg). demostrando que una mejor calidad nutricional del suelo, tiene como resultado un mayor rendimiento del cultivo de cacao.

Engbersen et al. (2019), estimaron la acumulación y distribución del Cd en once cultivares de cacao del norte de Honduras, utilizando muestras de raíces, tallos, hojas

y almendras de tres arboles por cultivar y el suelo alrededor de cada árbol, donde encontraron que las concentraciones de Cd del suelo se correlacionaron más estrechamente con el Cd de las raíces ($r = 0.56$), tallos ($r = 0.59$), hojas ($r = 0.46$) que con el Cd de las almendras ($r = 0.26$); también reportaron concentraciones superiores a 1.56 mg/kg de Cd en almendras de cacao superando los límites Europeos, resaltando que el cultivo de cacao corresponde a suelos no contaminados (0.6 a 1.1 mg/kg).

Gramlich et al. (2018), evaluaron las fuentes del Cd en las plantaciones de cacao en Honduras y los factores que rigen su acumulación en 55 plantaciones de cacao, donde determinaron Cd en hojas de cacao, testa y almendras y el factor de translocación (FT); reportaron el pH en un rango de 4.6 a 7.8, y la máxima concentración de Cd en el suelo fue de 0.14 mg/kg, en las hojas tuvo un promedio de 2.6 mg/kg, siendo mayor que el de las almendras que tuvo un promedio de 1.1 mg/kg, también reportaron una correlación positiva entre el contenido de Cd en las hojas y almendras ($r = 0.47$), además el factor de translocación (hoja / almendra) osciló desde 0.3 a 26 y el de (almendra / suelo) entre 0.1 a 46.

Díaz, Mendoza, Bravo & Domínguez (2018), indagaron el contenido de Cd y Pb en almendras de cacao de productores orgánicos del Cantón Vinces - Ecuador, donde determinaron los niveles de cadmio y plomo en almendras seca no fermentada y testa de cacao de 25 fincas reportando concentraciones de Cd que oscilan entre 0.099 a 0.98 mg/kg, en cuanto al plomo 9 fincas superaron el nivel permisible (NP) de 3 mg/kg. y el mayor contenido de ambos metales se dio en la testa del cacao.

Silva et al. (2018), evaluaron el potencial de translocación y bioacumulación de plomo por *Ilex paraguariensis*, efectuando un experimento con distintas concentraciones de Pb a 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 mg/kg de Pb y determinaron el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT), teniendo como resultado un FBC (raíz) que va desde 0.48 a 0.51, FBC (parte aérea) de 0.07 a 0.11 y el FT de 0.17 a 0.79, concluyendo que el FBC disminuye de acuerdo al aumento de las concentraciones de Pb.

Ramtahal et al. (2016), evaluaron las relaciones significativas entre los niveles de Cd en los órganos de la planta de cacao y los suelos de las zonas de cultivo en Trinidad y Tobago, determinaron el Cd tanto en órganos como en suelos de 8 a 10 árboles de

cacao de 45 plantaciones, donde los niveles de Cd variaron en el orden: hojas (0.54 - 5.21 mg/kg) > testa (0.53 - 4.49 mg/kg) > cascara (0.44 - 4.41 mg/kg) > almendras (0.35 - 3.82 mg/kg), presentando una correlación positiva y significativa de (almendras/hojas) $r = 0.79$ y (suelo/almendras) $r = 0.50$, donde concuerdan que se podría predecir el contenido de Cd en las almendras a partir del Cd en las hojas.

Chavez et al. (2015), determinaron el estado del Cd en el suelo y la planta de cacao en 19 fincas, en el sur de Ecuador, donde muestrearon el suelo a 4 profundidades (0–5, 5–15, 15–30 y 30–50 cm), donde las concentraciones de Cd fueron de 0.88, 2.45, 0.40 y 0.10 mg/kg respectivamente, respecto a la planta el Cd presento el siguiente orden descendente de almendras > cascara > hojas, con un promedio de 0.94 mg/kg de Cd en las almendras, lo cual indica que la acumulación de Cd en las capas superficiales da como resultado un Cd excesivo en los granos de cacao.

2.1.2. A nivel nacional

Mendoza et al. (2021), evaluaron la concentración de Cd en plantaciones de *Theobroma cacao* L. ubicadas en San Martín (Lamas), donde tomaron muestras de suelo, hojas y granos de cacao por altitud de las plantaciones (400, 600 y 800 ms.n.m.), encontrando una secuencia de hoja > grano > suelo con 0.99, 0.89 y 0.42 mg/kg respectivamente; así mismo, la caracterización del suelo mostró los siguientes valores: C.E. = 0.15 dS/cm, P = 6.02 mg/kg, K = 178 mg/kg, C.I.C. = 23.06, Ca = 15.55 cmol/kg, Mg = 2.4 cmol/kg, Na = 0.17 cmol/kg, donde finalmente las más altas concentraciones de Cd en granos se dio en las altitudes de 600 y 800 ms.n.m.

Santander, Garay, Verde & Mendieta (2021), determinaron el contenido de Cd en los suelos, hojas y almendras frescas en cinco localidades de las provincias de Bellavista y Huallaga de la Región de San Martín, donde se muestrearon 5 fincas por cada localidad, reportando 0.556, 0.522, 0.041 mg/kg de Cd en el suelo, hojas y almendras respectivamente, encontrándose dentro de los límites permisibles por la Unión Europea.

Florida, Claudio & Gómez (2018), midieron la repercusión del pH del suelo en los niveles de absorción del Cd en almendras de cacao en 20 parcelas de Leoncio Prado, Huánuco, muestreando 20 fincas, obteniendo una muestra compuesta a partir de 20 submuestras a 20 cm de profundidad, donde determinaron que el pH promedio del suelo fue de 5.68, el Cd disponible en el suelo fue de 0.32 mg/kg y el contenido de Cd en las almendras de las 20 muestras analizadas arrojó un promedio de 0.98 mg/kg, finalmente refieren que el Cd en las almendras superan el nivel máximo permitido de 0.8 mg/kg establecido por la Unión Europea y el Cd en el suelo es considerado bajo.

Lopez, Hoyos & Coronado (2018), indagaron sobre el contenido de Cd en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro, región Ucayali, muestrearon almendras y suelo en 3 parcelas por sistema, donde encontraron que entre los sistemas orgánico, químico y tradicional presentaron promedios de 0.75, 0.71 y 0.54 mg/kg en almendras y 0.86, 0.89 y 0.83 mg/kg en suelo, concluyendo que el Cd en las almendras de los tres sistemas superan el umbral de 0.50 mg/kg establecido por la OMS.

Llatance et al. (2018), evaluaron la bioacumulación de Cd en el cacao (*Theobroma cacao* L.) en la comunidad nativa de Pakun - Perú, para lo cual recolectaron muestras de suelo, hoja, tallo, raíz y granos de cacao en terreno inundable (SI), semi-inundable (SSI) y no inundable (SSC), donde la concentración promedio de Cd total en el suelo, raíces, tallo, hojas y fruto son de 0.054, 1.684, 0.747, 0.509 y 0.411 mg/kg respectivamente, así mismo, reportaron que el contenido de Cd en el suelo fue mayor en la muestra proveniente de un terreno semi- inundable (0.111 mg/kg), seguido de un terreno inundable (0.043 mg/kg), y no inundable < 0.008 mg/kg.

Arévalo et al. (2017), determinaron el contenido de metales pesados (Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn y Mn) en 70 plantaciones de las principales zonas productoras de cacao, en el norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas), centro (San Martín, Huánuco y Junín) y sur (Cusco) productoras de cacao del Perú, donde muestrearon suelo, hojas y granos del cultivo de cacao, encontrando Cd en un rango de 0.23 a 2.50 mg/kg en hojas, 0.17 a 1.78 mg/kg en almendras y de 0 a 0.53 mg/kg en el suelo.

Tantalean & Huauya (2017), investigaron las concentraciones de Cd en los diferentes órganos del cultivo de cacao CCN-51, en 2 parcelas correspondientes a un suelo residual y aluvial, ubicados en los departamentos de Huánuco y San Martín. En ambos predios se muestrearon 20 plantas de cacao recolectándose muestras de raíz, ramas, hojas, almendras y cáscaras, donde la concentración de Cd en el suelo residual fue de 0.90 mg/kg y en el suelo aluvial fue de 3.68 mg/kg. El Cd total en órganos (raíces, ramas, hojas, almendras y cáscaras) del suelo residual fue 1.22, 2.29, 1.44, 0.84 y 0.77 mg/kg, y en el suelo aluvial fue de 1.14, 2.97, 2.84, 1.08 y 0.75 mg/kg, donde el cacao presentó una distribución desigual de Cd en sus distintos órganos.

Argota, Encinas, Argota & Lannacone (2014), estimaron coeficientes biológicos de fitoremediación en suelos con relave minero con exposición a plomo y Cd, utilizando *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae), muestreando 10 puntos a 2 profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) y así determinar el coeficiente de absorción biológico (BAC), factor de translocación (BT) y factor de remediación (RC), donde el BT y RC, no superaron el valor comparativo de 1, por lo que concluyen que las referidas especies son de tendencia excluyente.

Arévalo et al. (2016), determinaron metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú, donde evaluaron el pH, materia orgánica, C, P, K, Ca, Mg, Al, Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn y Mn en los suelos de plantaciones de cacao en: Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas), zona central (San Martín, Huánuco y Junín); Zona Sur (Cuzco), donde reportaron que el promedio de Cd en la zona norte, central y sur fue de 0.20, 0.08 y 0.00 mg/kg respectivamente, así mismo, los valores de hierro, cobre, zinc, manganeso, cadmio, níquel y plomo, encontrados estuvieron por debajo de los niveles fitotóxicos.

Huamani et al. (2012), midieron las concentraciones de Cd y Pb en suelos y hojas de cacao en 22 fincas de las regiones de Huánuco y Ucayali, donde los valores promedio de Cd y plomo disponibles en los suelos fueron entre 0.53 mg/kg y 3.02 mg/kg y en las hojas fueron 0.21 mg/kg y 0.58 mg/kg respectivamente. El rango de distribución de Cd en las parcelas fue de hasta 0.53 mg/kg, evidenciando que los suelos presentan condiciones físico – químicas idóneas para el cultivo de cacao.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Contaminación del suelo

Un suelo contaminado es considerado como aquel que ha superado su capacidad de amortiguación, para una o varias sustancias y, como consecuencia pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmosfera y los organismos que se desarrollan en el (Garcia, Moreno, Hernández & Polo, 2002; Rueda, Rodriguez & Madriñán, 2011). El origen de la polución del suelo por metales pesados surge de actividades antropogénicas como la minería, la combustión de fósiles, las actividades industriales, la utilización de fertilizantes fosfatados, etc. (Vieira, Corrêa, Moraes, Rossato & Vestena, 2015).

La contaminación de suelos con metales pesados es cada vez más frecuente y preocupante a causa de su impacto negativo (Filho, Siqueira, Curi & Simão, 2001). Los metales pesados son aquellos elementos sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades afectan las funciones vitales de los organismos y ecosistemas (Rueda et al., 2011; Jara et al., 2017; Guillermo et al., 2019).

2.2.2. Cadmio (Cd)

El cadmio (cadmia en latín y en griego kadmeia, significa “calamina”, nombre que recibía antiguamente el carbonato de zinc) fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer. El Cd es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos (Kabata & Pendias, 2001) y es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción, refinación de metales no ferrosos, la manufactura, la aplicación de abonos de fosfatados, la combustión de combustibles fósiles, la disposición e incineración de residuos, actividad volcánica, las rocas sedimentarias, los fosfatos marinos, etc. (Cáceres & Torres, 2017).

2.2.3. Cadmio y fertilizantes fosfatados en el suelo

En condiciones normales del suelo, raramente aparecen concentraciones de Cd, que pueden ocasionar toxicidad a las plantas (Faquin, 2005). La agricultura es una de las actividades antrópicas que contribuyen a la polución del suelo por Cd (Roberts, 2014).

Tabla 1
Concentración de Cd (mg/kg) adicionado al suelo a través de diferente fuente

Metal	Fertilizantes fosfatados	Fertilizantes nitrogenados	Fitosanitarios	Compost	Lodos
Cd	0.1 – 170	0.05 – 8.5	1.38 – 1.94	0.3 – 0.8	2 – 1500

Fuente: Recuperado de Mahecha et al. (2017).

2.2.3.1. Roca Fosfórica

El Cd ocurre naturalmente en la en la roca fosfórica (Roberts, 2014), así mismo, la FAO/OIEA (2007), menciona que las grandes reservas de Piura (Bayoyar y Sechura) pueden aportar en promedio 11 mg/kg de Cd al suelo.

2.2.4. Reacción con los componentes del suelo

Existen Factores que determinan el nivel de absorción de Cd por las plantas, pudiendo ser factores edáficos o propios de la planta (Benavides, Gallego & Tomaro, 2005).

Tabla 2
Factores edáficos y propios de la planta que influyen en la absorción de Cd

Factores	Efectos en la absorción de Cd por las plantas
Factores del suelo	
pH	La absorción se incrementa en medios ácidos (pH bajo)
Salinidad del suelo	La absorción se incrementa con la salinidad
Micronutrientes	La deficiencia de zinc y manganeso aumentan su absorción, presentando una relación antagónica.
Macronutrientes	Puede incrementar o decrecer la absorción.
Factores propios de la planta	
Especies y cultivares	Verduras > raíces > cereales > frutos.
Órgano de la planta	Hoja > grano > frutos > raíces comestibles
Edad de la Hoja	Hojas viejas > hojas jóvenes.

Fuente: Adaptado de Kabata (2011)

El estado de valencia más importante de Cd en la naturaleza es +2 y los factores más importantes que controlan la movilidad del ion Cd son el pH y el potencial de óxido-reducción. En condiciones de fuerte oxidación, es probable que el Cd forme minerales (CdO, CdCO₃) y también es probable que se acumule en fosfatos y en depósitos de biolitos (Kabata & Pendias, 2001). La interacción de Cd Zn - ha recibido muchos estudios, y todos los hallazgos pueden resumirse afirmando que, en la mayoría de los casos, Zn reduce la absorción de Cd por los sistemas de raíz y foliares (Kabata, 2011; Arévalo et al., 2016).

2.2.5. Toxicidad del cadmio

Dentro de los metales pesados el Cd, es uno de los más estudiados en razón de su elevada toxicidad, para plantas, animales y seres humanos (Martínez, Cambra, Urzelai & González, 2000; Benavides et al., 2005), la exposición de las plantas a concentraciones elevadas de Cd, causa alteraciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas (Grant, Buckley, Bailey & Selles, 1998; Oliveira, Cambraia, Oliva & Jordão, 2001), por lo que resulta una rápida inclinación de la capacidad de absorción y acumulación de este elemento por las raíces (Reyes, Vergara, Torres & Diaz, 2016).

Dentro de los efectos más comunes de toxicidad en las plantas se tiene la reducción de crecimiento vegetal, principalmente de las raíces, por la deficiencia de minerales, también presentan alteraciones en las actividades enzimáticas, en las funciones celulares, ciclo de Calvin y asimilación de sulfato, clorosis foliar, proceso fotosintético y como respuesta de defensa de las plantas se tiene la lignificación del ápice de las raíces (Amjad et al., 2017). Así mismo, el Cd puede sustituir al Zn y NO₃⁻ (Vieira et al., 2015).

2.2.6. Efectos en la salud del cadmio

El Cd es un metal potencialmente tóxico para el ser humano, que puede acumularse en el cuerpo humano, con un tiempo de vida de hasta 30 años (Pérez & Azcona, 2012; Reyes et al., 2016), una baja exposición a este metal puede ocasionar:

- Efectos renales: Las bajas concentraciones de Cd afectan directamente los riñones y la exposición a largo plazo puede generar daños tubular y renal, con

efectos en la reabsorción de proteínas, aminoácidos, etc. (Godt et al., 2006; Bernhoft, 2013; OMS, 2019).

- Efectos Hepáticos: Se han descrito alteraciones en las actividades enzimáticas del hígado, pudiendo tener efecto de interferencia en la absorción del hierro de los alimentos, consecuentemente de anemia (Length, 2007 ; Bernhoft, 2013)
- Los efectos sobre el sistema óseo: La exposición a altas concentraciones de Cd genera, una enfermedad en los huesos capaz de alterar al sistema óseo (Pérez & Azcona, 2012; Londoño, Londoño & Muñoz, 2016).
- Cáncer: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasifica al Cd como un cancerígeno para el humano (grupo I), atribuyéndole la incidencia en el cáncer de próstata y del aparato respiratorio (Bernhoft, 2013; OMS, 2019).

2.2.7. Cacao (*Theobroma cacao* L.)

2.2.7.1. Generalidades

El árbol del cacao se cultiva en las regiones tropicales, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1 200 ms.n.m., siendo el óptimo de 500 a 800 ms.n.m, una temperatura anual desde 23° a 30°C a una humedad relativa entre 70–80%, la precipitación pluvial mínima y máxima es de 1 400 y 3 000 mm (Ramírez Sosa y Orrego Suaza, citado por Casteblanco, 2018).

2.2.7.2. Taxonomía de *Theobroma cacao* L.

Según DEVIDA (2010), la clasificación taxonómica de la especie (*Theobroma cacao* L.) es la siguiente:

Reino	: Plantae
División	: Espermatofita
Clase	: Angiosperma
Orden	: Malvales
Familia	: Sterculiaceae
Género	: <i>Theobroma</i>
Especie	: <i>cacao</i>
Nombre científico	: <i>Theobroma cacao</i> L.

En el Perú existen diversas variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) que según sus grupos genéticos se pueden clasificar en grupos genéticos naturales (criollo, forastero del Alto Amazonas, forastero del Bajo Amazonas, nacional) y grupo genético artificial (trinitario y CCN-51) (MINAGRI, 2018).

2.2.7.3. Morfología del cacao (*Theobroma cacao* L.)

La siguiente descripción morfológica corresponde al clon CCN-51 del cacao (*Theobroma cacao* L.):

Tabla 3
Descripción morfológica del Clon CCN-51 de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Órgano /parte	Descripción
Planta	El <i>Theobroma cacao</i> L. es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12 m de altura, y en cultivo se mantienen normalmente a 4-8 m.
Raíces	El sistema radicular esta compuesto de una raíz principal pivotante y muchas secundarias, las cuales se hallan en los primeros 30 cm de suelo.
Tallo	Glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes
Corteza	Oscura, gris-café
Ramas	Cafés y finamente vellosas
Hojas	Coriáceas simples, enteras (o ligera e irregularmente sinuadas), angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada, ápice largamente apiculado
Flor	Color del pedúnculo: rojo, con presencia de antocianina en los estaminodios y en la parte superior del ovario; así mismo, presenta ausencia antocianina en la lígula y los estaminodios
Fruto	Color rojo al estado inmaduro, de forma básica oblonga, forma de ápice, ligeramente atenuado, rugosidad fuerte, constricción basal ligera, grosor de cascara intermedia con separación de par de lomos intermedios y marcada profundidad de surcos
Semilla	Presenta una sección longitudinal elíptica, forma en sección transversal: intermedia y color de cotiledones: Morado

Fuente: Adaptado de ANACAFÉ (2004), MIDAGRI (2010) y Meter, Atkinson & Laliberte (2019)

2.2.7.4. Usos

El cacao, es una especie neotropical, cuyas almendras son el insumo básico para el procesamiento industrial, y la elaboración del chocolate y derivados en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y otros (Hidalgo & Bustamante, 2018).

2.2.7.5. Cacao en el Perú

El Perú es uno de los principales productores y proveedores de cacao fino y segundo productor de cacao orgánico a escala mundial (López et al., 2020). Así mismo, el 60% de la biodiversidad existente de cacao (material genético) se encuentra en nuestro país (MIDAGRI, 2016).

La cadena productiva del cacao, ha permitido a través del tiempo en distintas zonas, el reemplazo y desplazamiento de cultivos ilegales como la coca, formando parte de los cultivos alternativos (Arévalo et al., 2016).

2.2.7.6. Importancia económica

Se estima que la producción de cacao alcance las 149 000 toneladas a nivel nacional, superando las 134 676 toneladas producidas durante el 2018 (López et al., 2020). Los principales países de destino de las exportaciones de manteca de cacao son EE.UU. y los países europeos (Alemania, Holanda, Francia y Reino Unido), mientras que en presentaciones como: grano de cacao destacan países de la UE (Holanda Italia, Bélgica y España), Indonesia, Malasia y EE. UU (MIDAGRI, 2018).

2.2.7.7. Importancia social y ambiental

El cacao tiene significativa relevancia social por ser el 6° cultivo más importante a nivel nacional en términos de cantidad de productores con más de 138,000 productores que tienen instalado cacao en sus unidades agropecuarias en la selva peruana. Así mismo, el cacao es el 6° cultivo más importante a nivel nacional en términos de superficie cosechada, de los cuales más de 111000 productores cosecharon cacao en la campaña 2015/2016. (MIDAGRI, 2016).

2.2.7.8. Cacao y cadmio

La preocupación del Cd respecto al cacao, se encuentra relacionado al mecanismo de reacción de la propia planta frente al metal, en relación con algunos procesos básicos como: la absorción y transporte del elemento en los órganos y órganos (Grant et al., 1998; Vieira et al., 2015). La alteración de procesos enzimáticos, bioacumulación, deficiencia y toxicidad, competencia iónica e interacción con otros elementos del suelo (Oliveira et al., 2001; Kabata, 2011; Chupillon, Arévalo, Arévalo, Farfán & Baligar, 2017).

La presencia del Cd en el cacao responde a una preocupación mundial en cuanto a la incorporación de este metal en la cadena trófica, pasando a ser un problema para agricultores, exportadores y consumidores (Guillermo et al., 2019).

2.2.8. Coeficientes biológicos

Silva, Vitti & Trevizam (2007), refieren que el contenido y la acumulación de un elemento en los órganos vegetales (raíces, tallos, hojas y frutos) ocurre en función de su disponibilidad en la solución del suelo. Así mismo, Baker (1981), establece tres tipos de plantas acorde al tipo de respuesta:

Acumuladoras: Donde los metales son concentrados a la parte aérea de la planta a partir de bajas o altas concentraciones del suelo.

Indicadoras: Donde la absorción y el transporte de metales a las raíces es regulado, entonces esa concentración interna refleja los niveles externos del suelo.

Excluyentes: Donde las concentraciones del metal en las raíces son retenidas constantemente y se encuentran debajo del rango de las concentraciones del suelo.

Los coeficientes biológicos surgen como un método para establecer la capacidad de bioacumulación o fitorremediación de las plantas (Ramírez, Giraldo & Barrera, 2018).

2.2.8.1. Factor de bioconcentración (FBC)

Hace referencia a la concentración del elemento en el órgano vegetal (raíces) seco dividido por la concentración en el suelo, este indicador representa la tolerancia de especies vegetales a elementos potencialmente tóxicos (Baker, 1981; Abichequer, Bohnen & Anghinoni, 2003).

$$FBC_{Raiz} = \frac{[Metal]_{Raiz}}{[Metal]_{Suelo}} \quad (1)$$

$$FBC_{Parte\ aerea} = \frac{[Metal]_{Parte\ aerea}}{[Metal]_{Suelo}} \quad (2)$$

Dónde: FBC, es el factor de bioconcentración, $[Metal]_{raíz}$ es la concentración del elemento en la raíz, $[Metal]_{parte\ aérea}$ es la concentración del elemento en la parte aérea y $[Metal]_{suelo}$ es la concentración del elemento en el suelo.

Kabata & Pendias (2001), establece los siguientes rangos para el FBC:

- > 10 - muy fuertemente acumulado
- 1 a 10 - fuertemente acumulado
- 0.1 a 1.0 - absorción moderada
- 0.01 a 0.1 - absorción débil
- 0.001 a 0.01 - muy débil

Baker (1981) refiere la categorización de la planta según el FBC, como:

- Si el $FBC < 1$ la planta es excluyente
- Si el $1 < FBC < 10$ la planta es acumuladora
- Si el $FBC > 10$ la planta es hiperacumuladora

2.2.8.2. Factor de translocación (FT)

Se refiere al movimiento o transferencia del ion desde la raíz a la parte aérea de la planta (Paiva et al., 2002; Faquin, 2005; Jara & Gómez, 2017) y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$FT = \frac{[Metal]_{Parte\ aerea}}{[Metal]_{Raiz}} \quad (3)$$

Dónde: FT, es el factor de translocación, $[Metal]_{raíz}$ es la concentración del elemento en la raíz, $[Metal]_{parte\ aérea}$ es la concentración en la parte aérea.

Baker (1981) establece las siguientes categorías para el factor de translocación:

- Si el $FT < 1$ la planta es excluyente
- Si el $1 < FT < 10$ la planta es acumuladora
- Si el $FT > 10$ la planta es hiperacumuladora

2.2.8.3. Factor de redistribución (FR)

Permite determinar la transferencia de un elemento desde un órgano o región de acumulación a otra, en la misma o diferente forma que la absorbida, por ejemplo, de una hoja para un fruto (Faquin, 2005).

$$FR = \frac{[Metal]_{Fruto}}{[Metal]_{parte\ aerea}} \quad (4)$$

Dónde: FR, es el factor de redistribución, $[Metal]_{fruto}$ es la concentración del elemento tóxico en el fruto y $[Metal]_{parte\ aérea}$ es la concentración en la parte aérea. Soares, Accioly, Melo, Siqueira & Moreira (2001) y Abichequer et al. (2003), refieren que si el FR es próximos a la unidad, representan una mayor capacidad de redistribución.

2.2.9. Regulaciones normativas

2.2.9.1. Contexto nacional

Dentro del Perú, en referencia a la problemática del Cd en el cacao (*Theobroma cacao* L.), se tiene:

- R.M. N° 0449-2018-MINAGRI, “agenda de impacto rápido vinculada a los niveles máximos de Cd en productos específicos como el cacao y chocolate”.
- R.M. N° 0451-2018-MINAGRI “lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de Cd en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao”, se presenta como instrumento orientador para que los actores de la cadena del cacao, realicen una adecuada toma de muestras.
- ECA de 1.4 mg/kg para suelo agrícola (D.S. 011-2017 MINAM).
- En el Perú aún no se cuenta con una norma que establezca los niveles admisibles de metales pesados en cacao, ni en sus derivados (Jiménez Tobón, 2015).

2.2.9.2. Contexto internacional

- a. **Suelo:** Dentro de la normativa Internacional, respecto al Cd en suelos agrícolas, se tiene:

Tabla 4
Niveles máximos (NM) de Cd en suelos agrícola a nivel Internacional

País/ Organización	Niveles máximos (NM) (mg/kg)	Fuente
FAO/OMS	1.4	FAO/OMS, 2019
Canadá	1.4	Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health, 2007.
EE. UU	0.43	USEPA, 2002.
Brasil	3	Resolução No 420, 2007
Ecuador	0.5	Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015
Perú	1.4	D.S. 011-2017 MINAM

- b. **Cacao:** A nivel internacional los niveles máximos (NM) de contenido de Cd en cacao son:

Tabla 5
Niveles máximos (NM) de Cd para masa de cacao y cacao en polvo

País/ Organización	Niveles máximos (NM) (mg/kg)	Fuente
FAO/OMS	0.5	Tantalean & Huauya (2017)
Australia	0.5	
Nueva Zelanda	0.5	
Unión Europea (Alemania, Bélgica, Francia, España y Reino Unido)	0.8	Reglamento (UE) Nº 488/2014
EE.UU	0.05 – 0.12	ATSDR (2016)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

La investigación comprendió el área político- geográfico del distrito de San Gabán, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, que geográficamente se encuentra ubicado a una latitud -13.4639, longitud -70.4639 y altitud 820 ms.n.m.

3.2. Condiciones Climáticas

Según el mapa de clasificación climática nacional (SENAMHI, 2020), San Gabán presenta un clima muy lluvioso y templado, con humedad presente durante todos los meses del año, siendo considerada como una de las localidades más lluviosas del Perú, puesto que la precipitación pluvial anual llega a un acumulado de 6 629 mm.

3.3. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es correlacional y respondió a un diseño no experimental de tipo transeccional correlacional-causal, ya que tiene como propósito determinar la relación entre las variable Cd en el suelo y Cd en órganos vegetales (raíces, hojas y almendras) en un momento determinado (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por las parcelas productivas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de los sectores del distrito de San Gabán.

3.4.2. Muestra

Se estableció un tipo de muestreo no probabilístico, al igual que Acosta & Pozo (2013), se escogieron las parcelas debido a la “plena colaboración de los propietarios de las fincas y su interés por conocer los niveles de Cd en su producto”, así mismo, se consideró las recomendaciones de los funcionarios de DEVIDA para la selección de las parcelas tal como hizo Furcal & Torres (2020). Consecuentemente se muestrearon 5 parcelas (una por sector y acorde a la productividad de las mismas), estas parcelas se encuentran identificadas y georreferenciadas (tabla 6).

Tabla 6
Descripción de las parcelas de muestreo

Sector	Propietario	UTM		Altura ms.n.m.
		Este	Norte	
Chaquimayo	Mauro P. Ramos Borda	346004	8516095	732
Boca San Gabán	Lourdes Navarro Prado	359956	8517501	452
Challhuamayo	Valeriano J. Castillo Pacco	353717	8522780	452
Cuesta Blanca	Emilia Narizo Phoccohuanca	358865	8527715	416
El Carmen	Francisco Quispe Herrera	357524	8529962	467

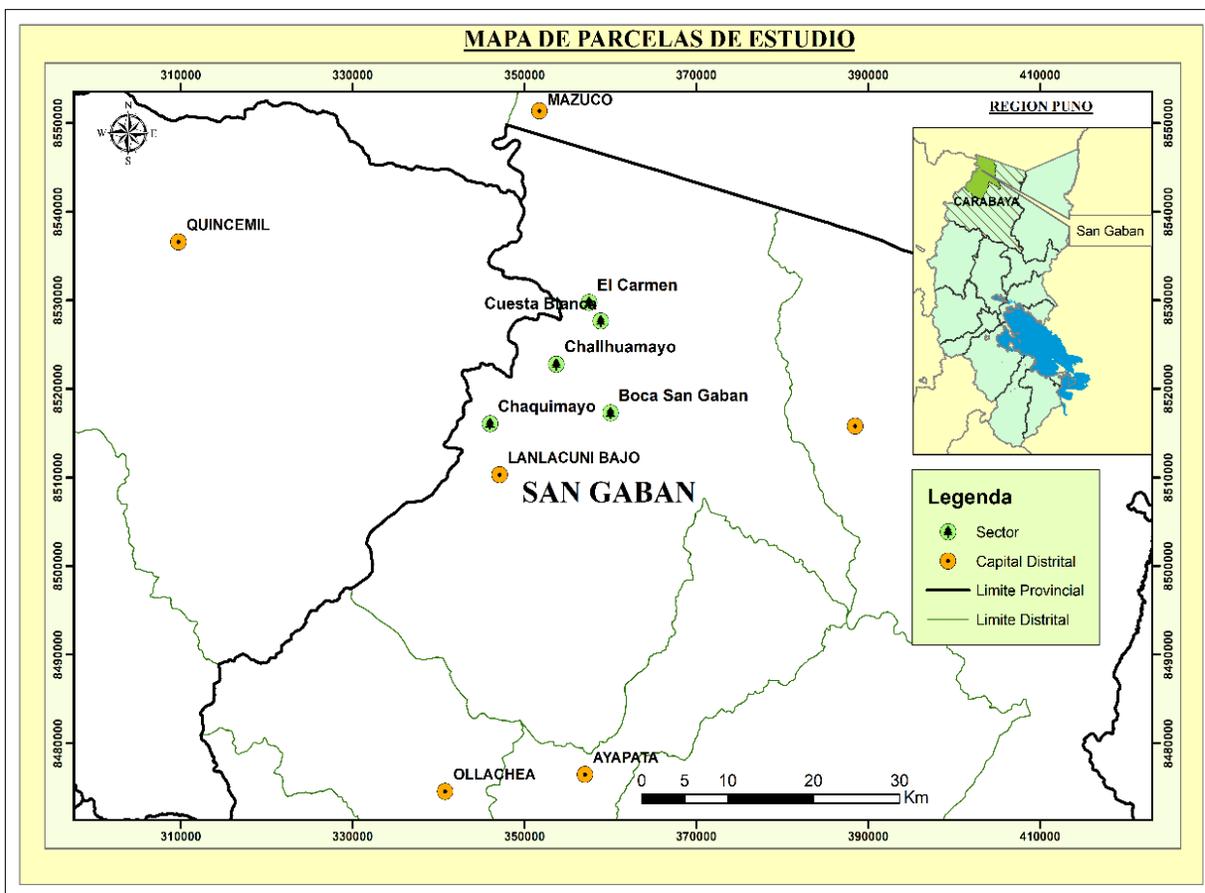


Figura 1: Mapa de distribución de las parcelas de estudio

3.5. Materiales y equipos

Libreta de campo, pala recta, cuchillo, machete, tijera podadora, regla, balde de plástico para recolectar las sub-muestras, bolsas herméticas ziploc, guantes de nitrilo, bolsas de polietileno, rótulos para la identificación de las muestras, marcador de tinta permanente para identificar las muestras, cooler, GPS (Garmin, Montana 680), Cámara (Canon, PowerShot SX-620), Gramera Digital (Constant, EK5055 HOPEX 5 kg).

3.6. Metodología

3.6.1. Determinación de la concentración de Cd en el suelo

El tipo de muestreo para el suelo fue no probabilístico, donde se consideró la distribución de la producción de árboles de cacao y su sistema radicular (Llatance et al., 2018; Furcal & Torres, 2020), consecuentemente, se obtuvieron muestras compuestas de 1 kg por parcela de estudio, a partir de 10 muestras simples a 20 cm

de profundidad, puesto que las raíces tienen una mayor actividad de absorción de nutrientes a dicha hondura (Florida, Jacobo & Gonzalez, 2018; Resolución Ministerial N° 0451-2018-MINAGRI; Furcal & Torres, 2020).

Paralelamente se solicitó información a cada propietario, respecto a la variedad, edad, sistema de cultivo y manejo agronómico de la plantación de cacao. Así mismo, se elaboró un plano general de la forma, pendiente y superficie de las parcelas (Florida, et al., 2018; Gramlich et al., 2018).

3.6.1.1. Selección de muestra

Las muestras simples fueron tomadas en la mitad de la proyección de la copa de los diez árboles de cacao donde se muestrearon los órganos vegetales, en cada sitio se removió las plantas y hojarasca fresca (1-3 cm) de un área de 40 cm x 40 cm (Arévalo et al., 2016; Díaz et al., 2018). Mediante el uso de una pala recta se procedió a tomar las muestras simples a una profundidad de 20 cm, transfiriendo aproximadamente 100 a 200 g de cada punto de muestreo a un balde de plástico, seguidamente, se vertió todo el material sobre un plástico limpio, para proceder con la mezcla y eliminación de restos de materia orgánica fresca, piedras o gravas, dando lugar al cuarteo respectivo hasta lograr 1 kg de muestra, la cual se dispuso en una bolsa de polietileno de manera hermética, segura y rotulada (DEVIDA, 2013; Peláez, Bustamante & Gómez; 2016; Furcal & Torres, 2020). Finalmente, bajo el requerimiento del laboratorio, las muestras fueron refrigeradas en un cooler manteniendo una temperatura 15-27 °C, hasta el análisis (Suaña, 2017).

3.6.1.2. Análisis de muestras

Los análisis de parámetros fisicoquímicos como Cd, pH, C.E., C.I.C., Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb y Zn (Huamani et al., 2012; Tantalean & Huauya, 2017; Furcal & Torres, 2020), se realizaron en Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda, (acreditado por el INACAL con registro N° LE – 050), mediante los siguientes métodos:

Tabla 7
Método de ensayo aplicado

Código	Descripción
7003	EPA 200.7 determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4. (Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, V y Zn).
7030	Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) en suelos por absorción atómica.
7024	Determinación de Conductividad Eléctrica (C.E.) 1:2 por método electrométrico.
7023	Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos.

Fuente: Adaptado de Laboratorios analíticos del sur (2021).

3.6.2. Determinación de niveles de cadmio en órganos vegetales

El tipo de muestreo realizado fue no probabilístico, obteniéndose 3 muestras compuestas de raíces, hojas y almendras obtenidas de 10 árboles de cacao por parcela de estudio, siguiendo el mismo patrón de los puntos de muestreo del suelo (Tantalean & Huauya, 2017; Furcal & Torres, 2020), se georreferenció y elaboró un esquema general de los árboles muestreados por parcela de estudio (Aguirre, Piraneque & Vásquez, 2020; Mendoza et al., 2021).

Cada una de las muestras compuestas de órganos vegetales (raíces, hojas y almendras) fueron colocadas en bolsas de polietileno con sus respectivas tarjetas de identificación con los datos de la parcela, la fecha, el nombre del propietario y la localización de la parcela (Llatance et al., 2018; Florida et al., 2018). Finalmente, bajo requerimiento del laboratorio, las muestras fueron refrigeradas en un cooler manteniendo una temperatura 15-27 °C, hasta el análisis (Suaña, 2017).

3.6.2.1. Selección de muestras de raíces

Dadas las características de distribución de las raíces del cacao, se removió el suelo hasta encontrar las raíces a una profundidad promedio de 20 cm, y se obtuvo 10 cm de las raíces terciarias (Engbersen et al., 2019; Furcal & Torres, 2020). Una vez recolectadas las muestras simples, se procedió con la homogenización de la muestra y el respectivo cuarteo, hasta la obtención de una muestra compuesta de 200 g (Tantalean & Huauya, 2017; Llatance et al., 2018).

3.6.2.2. Selección de muestras de hojas

Las hojas fueron muestreadas en base a su edad fisiológica, seleccionando la hoja más recientemente madura (HMRM), sin enfermedad o daños físicos por insectos (Arévalo et al., 2017), se obtuvo 12 hojas por árbol de cacao (tres hojas por eje cardinal), haciendo un total de 120 hojas por parcela, para la obtención de 200 g de muestra compuesta (Ramtahal et al., 2016).

3.6.2.3. Selección de muestras de almendras

Para la obtención de almendras frescas de cacao, se seleccionó las mazorcas libres de enfermedad, por insectos, daños físicos o por agroquímicos (DEVIDA, 2013; Barrezueta, 2019), se tomó una (1) mazorca por árbol de cacao y se obtuvo un total de 10 mazorcas por parcela de las cuales, se quebró la cascara del cacao para la extracción de almendras frescas y se procedió con la respectiva homogenización y cuarteo para la obtención 700 g de muestra compuesta (Gramlich et al., 2018).

3.6.2.4. Análisis de muestras de órganos vegetales

El análisis de las muestras de raíces, hojas y almendras del *Theobroma cacao* L. se realizó en Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda, (acreditado por el INACAL con registro N° LE – 050), mediante el método de ensayo para Cd total digestión por microondas ICP-MS recomendado también por DEVIDA (2013).

3.6.3. Estimación de coeficientes biológicos

3.6.3.1. Factor de bioconcentración (FBC)

El FBC permitió determinar el nivel de absorción de Cd del suelo hacia el cacao, se calculó, mediante las siguientes ecuaciones:

$$FBC_{Raiz} = \frac{[Cd]_{raiz}}{[Cd]_{suelo}} \quad (5)$$

$$FBC_{Almendras} = \frac{[Cd]_{almendras}}{[Cd]_{suelo}} \quad (6)$$

Dónde: FBC, es el factor de bioconcentración, $[Cd]_{raiz}$ es la concentración del Cd en la raíz, $[Cd]_{almendras}$ es la concentración de Cd en las almendras y $[Cd]_{suelo}$ es la concentración de Cd en el suelo.

3.6.3.2. Factor de translocación (FT)

La investigación utilizó el FT, para evaluar la traslocación del Cd desde las raíces a las hojas a través de la siguiente ecuación:

$$FT = \frac{[Cd]_{Hojas}}{[Cd]_{Raiz}} \quad (7)$$

Dónde: FT, es el factor de translocación, $[Cd]_{Raiz}$ es la concentración del Cd en la raíz, $[Cd]_{Hojas}$ es la concentración de Cd en las hojas.

3.6.3.3. Factor de redistribución (FR)

Se utilizó el FR para evaluar la redistribución de la concentración de Cd de las hojas hacia las almendras.

$$FR = \frac{[C]_{Almendras}}{[Cd]_{Hojas}} \quad (8)$$

Dónde: RF, es el factor de redistribución, $[Cd]_{Almendras}$ es la concentración del Cd en las almendras, $[Cd]_{Hojas}$ es la concentración de Cd en las hojas.

3.7. Hipótesis de la investigación

3.7.1. Hipótesis general

Existe una relación entre la concentración de Cd en el suelo con los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) evidenciado por los valores de los coeficientes biológicos en San Gabán, Cayabaya, Puno.

3.7.2. Hipótesis específicas

- Las concentraciones de Cd en el suelo de las parcelas productivas de cacao (*Theobroma cacao* L.) superan el umbral de 1.4 mg/kg para suelo agrícola (D.S. 011 - 2017 MINAM).
- Se evidencia un alto contenido de Cd en la almendras, hojas y raíces del cacao por efecto de la contaminación de Cd en el suelo (*Theobroma cacao* L.).
- Los coeficientes biológicos, indican un alto nivel de absorción, translocación y redistribución de Cd (>1) del suelo hacia el cacao (*Theobroma cacao* L.).

3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando MS Excel 2016 y para las pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales se hizo uso del paquete estadístico R versión 4.1.0.

3.8.1. Determinación de la concentración de cadmio en el suelo

Para el análisis descriptivo de los datos, se hizo uso de un diagrama de barras, para poder describir el comportamiento de datos según el sector (Llatance, Saavedra, Castillo & Mondragón, 2018), se procedió con el análisis de la variabilidad de datos mediante un diagrama de Box-plot. Posteriormente, se evaluó la normalidad de la distribución de los datos para el análisis de correlación de Pearson entre el suelo y los otros parámetros fisicoquímicos del suelo (Furcal & Torres, 2020).

3.8.2. Determinación de la concentración de cadmio en órganos vegetales

Se realizó el análisis descriptivo de datos mediante diagrama de barras, para cada uno de los órganos vegetales por sector de estudio del distrito de San Gabán, seguidamente se procedió con la ejecución de la prueba T- Student de una muestra para cada uno de los órganos evaluados acompañado de diagramas de caja y bigote, finalmente se evaluó la normalidad de los datos para el análisis de correlación de Pearson entre las concentraciones de Cd en los órganos vegetales (Tantalean & Huauya, 2017).

3.8.3. Determinación de coeficientes biológicos

Se realizó un resumen de los principales estadísticos de los coeficientes biológicos determinados en el presente estudio al igual que Taha et al. (2013) y Argota, Encinas, Argota & Lannacone (2014).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la concentración de cadmio en el suelo

4.1.1. Cadmio en el suelo

La concentración de Cd en el suelo de las parcelas de estudio oscila desde 0.030 a 0.066 mg/kg, correspondientes al sector de Cuesta Blanca y El Carmen respectivamente (figura 2); sin embargo, se evidencia que todos los valores encontrados en la investigación no superan el umbral de 1.4 mg/kg establecido para suelo agrícola (ECA suelo - D.S. 011-2017 MINAM).

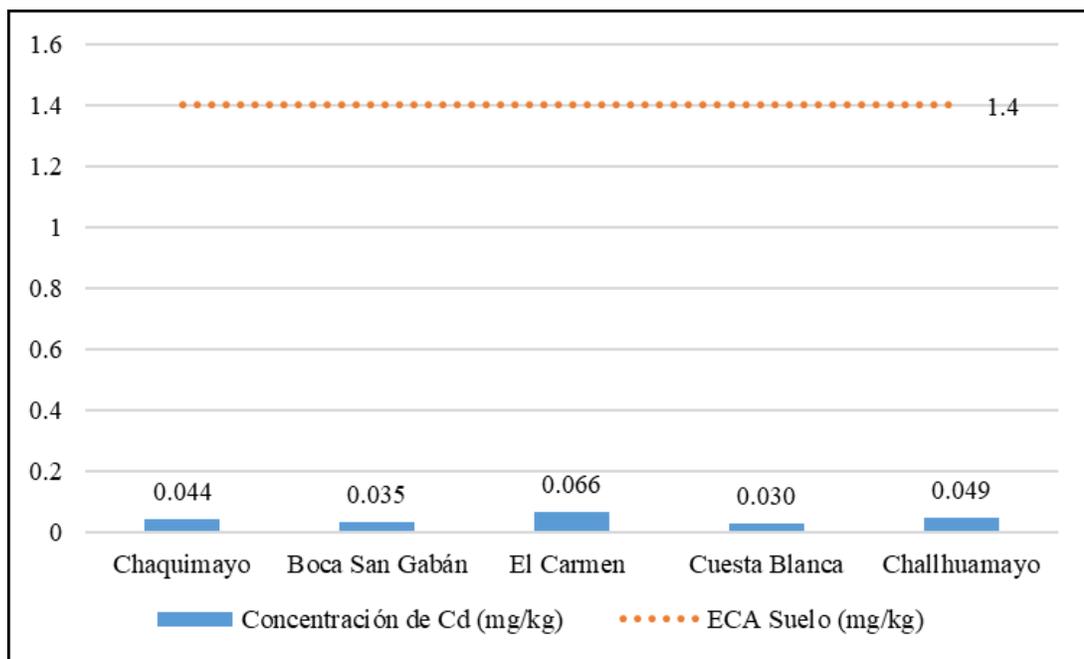


Figura 2. Concentración de Cd (mg/kg) en el suelo.

Por otro lado, la distribución de datos de la concentración de Cd en el suelo correspondiente a las parcelas evaluadas responde a una baja dispersión (tabla 8). Tres de las parcelas evaluadas se encuentran desde 0.035 a 0.049 mg/kg, evidenciando un valor máximo de 0.066 mg/kg y mínimo de 0.030 mg/kg, con un promedio de 0.045 mg/kg de Cd (figura 3).

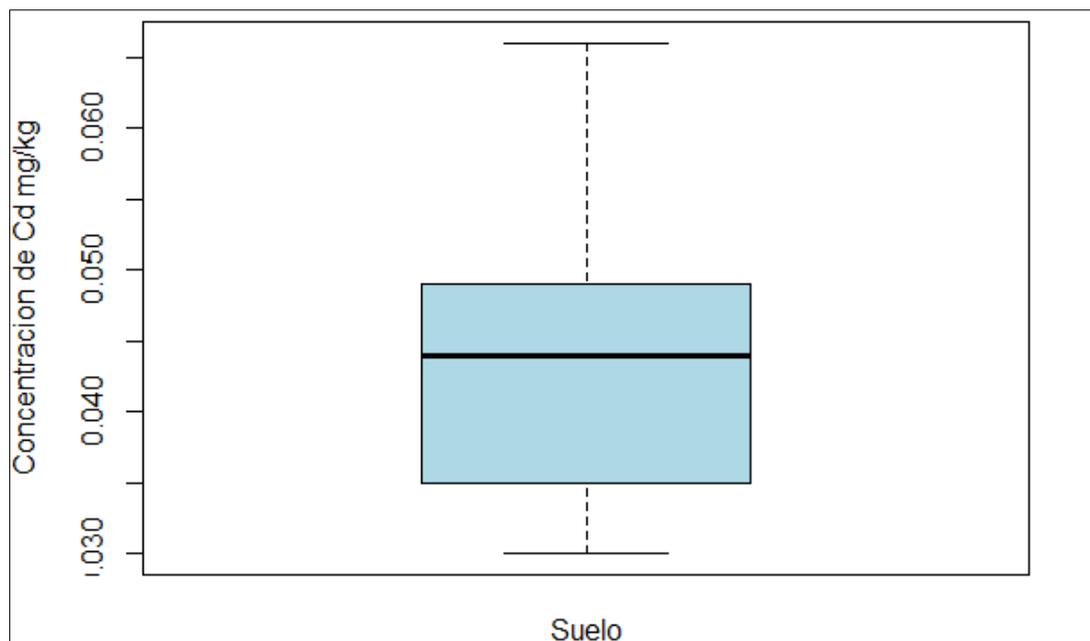


Figura 3. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de Cd en el suelo.

Del contenido de Cd en las distintas parcelas, tres de las más altas concentraciones se encontraron en suelos con textura arcillosa correspondientes a los sectores Chaquimayo, El Carmen y Challhuamayo y las dos más bajas presentaron una textura franco arenosa (Boca San Gabán y Cuesta Blanca). Así mismo, la parcela del sector Chaquimayo es también una parcela semi inundable (véase anexo 2), lo cual se encuentra estrechamente relacionado a la textura del suelo y la pendiente del terreno (0-4%) (véase anexo 24); factores que influyen en la variabilidad de concentración de Cd en el suelo, de acuerdo a Llatance et al. (2018), quien halló una concentración de 0.111 mg/kg en una muestra de terreno semi-inundable a comparación de uno no inundable (< 0.008 mg/kg).

Es probable que las practicas agricolas frecuentes como la aplicación de enmiendas con dolomita y cal agrícola (véase anexo 2), tengan relación con las bajas concentraciones del metal en el suelo, coincidiendo con lo observado por Contreras, Herrera & Izquierdo (2005), que indican que la alcalinización mediante el uso de cal agrícola disminuye el contenido de Cd en el suelo, como consecuencia de una relación antagonica Cd - Ca e incremento del pH, reduciendo la disponibilidad y concentración de Cd en el suelo.

En contraste, otro factor a considerar respecto a los niveles bajos de Cd en el suelo es la precipitación pluvial, la cual repercute directamente en la lixiviación y precipitación de Cd, considerando que el promedio de precipitación anual en el distrito de San Gabán, corresponde a 6 629 mm, siendo una zona mucho más lluviosa en comparación a otras zonas productoras de cacao (Barrezueta, 2019; Florida et al., 2018).

La concentración promedio de Cd en el suelo fue de 0.0448 mg/kg, siendo menor a comparación a lo reportado en la literatura científica nacional como: Arévalo et al. (2016), que atribuyen un promedio de 0.53 mg/kg de Cd a los suelos de la Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas), Zona Central (San Martín, Huánuco y Junín) y Zona Sur (Cuzco). Valores menores obtuvieron Florida, Claudio & Gómez (2018) con un promedio de 0.32 mg/kg en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco. Así mismo, los suelos de las parcelas evaluadas pueden ser considerados como no contaminados por Cd (>0.36 mg/kg) de acuerdo a Kubier, Wilkin & Pichler (2019).

Así mismo los niveles de Cd en el suelo de las parcelas de San Gabán, son considerablemente bajos en comparación a los valores encontrados internacionalmente en países pioneros de producción de cacao, como Chavez et al. (2015), que declaran valores de 0.88 y 2.45 mg/kg en el sur de Ecuador y Gramlich et al. (2018), que atribuyen un promedio de 0.14 mg/kg a las parcelas de Honduras.

4.1.2. Relación del cadmio con otros parámetros del suelo

Los resultados de análisis de suelo de las cinco parcelas de estudio evaluadas (véase anexo 3), incluyen algunos parámetros fisicoquímicos del suelo (tabla 8), por lo que a continuación se muestra el resumen de los principales estadísticos descriptivos:

Tabla 8

Resumen de estadísticos descriptivos de las muestras analizadas de suelo

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar
Cd (mg/kg)	0.030	0.066	0.045	0.014
pH	4.53	4.83	4.63	0.121
C.E. (mS/cm)	0.036	0.097	0.064	0.023
C.I.C. (cmol/kg)	82.6	473	216.2	164.1.
Ca (cmol/kg)	0.51	0.85	0.68	0.120
K (cmol/kg)	0.86	3.80	2.61	1.202
Mg (cmol/kg)	5.02	35.81	18.86	12.42
Na (cmol/kg)	0.017	0.098	0.05	0.036
P (mg/kg)	93.590	300.980	195.746	95.956
Al (mg/kg)	727.000	1508.000	999.000	332.706
Cu (mg/kg)	4.400	15.200	9.300	4.482
Fe (mg/kg)	3511.000	10000.000	6183.200	2443.100
Mn (mg/kg)	11.600	207.300	97.620	72.768
Ni (mg/kg)	1.720	7.210	3.636	2.172
Pb (mg/kg)	15.180	20.260	17.670	2.244
Zn (mg/kg)	4.32	21.97	12.73	6.8

Para la determinación de la normalidad de los valores del Cd y los otros parámetros, se hizo uso de la prueba Shapiro-Wilks, donde todas las variables presentaron una distribución normal (p -valor > 0.05), por lo que se procedió con la prueba paramétrica de correlación de Pearson puesto que las variables son cuantitativas de tipo continua.

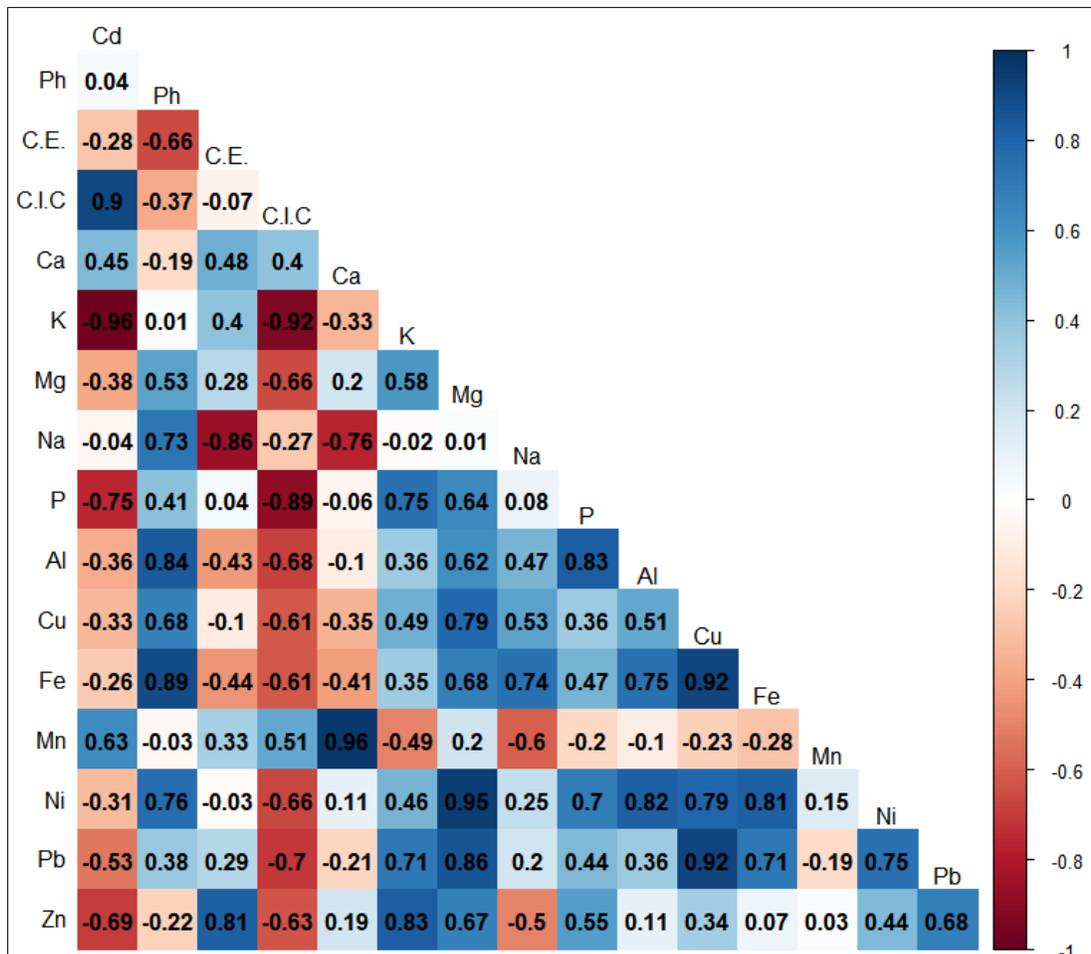


Figura 4: Matriz de correlación de Pearson entre el Cd y otros parámetros físicoquímicos del suelo.

Bajo el análisis de la figura 4 correspondiente a la correlación del Cd con otros parámetros del suelo, se evidenció que existe una correlación positiva muy fuerte y significativa entre el Cd y C.I.C. ($r = 0.9$, p -valor = 0.035), también corroborado por Arévalo et al. (2016), quien indica una correlación positiva significativa con ($r = 0.40$). Dicha tendencia se puede observar en la ecuación de regresión lineal (figura 5), que permite deducir que el Cd en el suelo incrementa en una proporción similar a la del C.I.C.

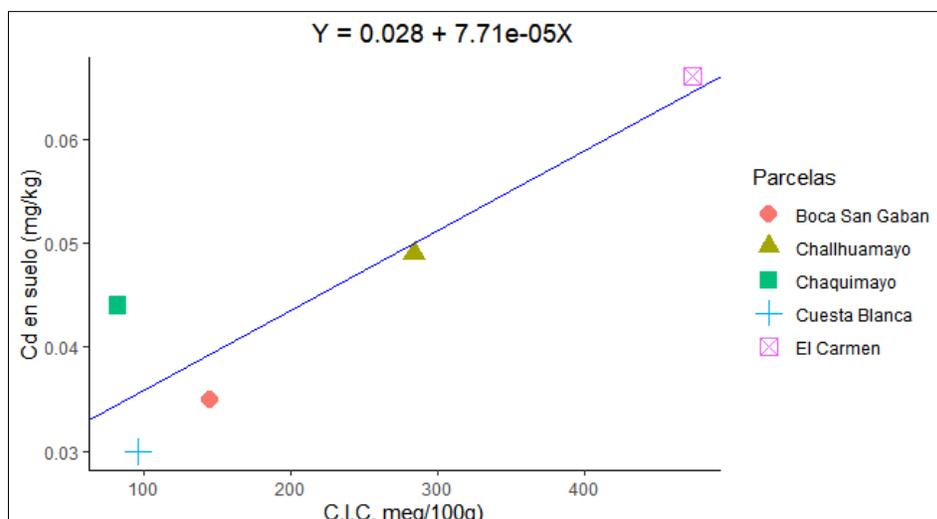


Figura 5: Regresión lineal entre el Cd y C.I.C. en el suelo.

El comportamiento de tendencia positiva surge debido a que la C.I.C. está relacionada a una mayor adsorción del Cd (+2) por las cargas superficiales negativas de la arcilla tal como lo refiere Furcal & Torres (2020), por lo que a mayor C.I.C., existe una mayor capacidad del suelo en fijar el Cd (Tantalean & Huauya, 2017; Huaraca, Pérez, Pampa, & Bustinza, 2020; Cruz et al., 2020).

Existe una correlación negativa y significativa del Cd con el K ($r = -0.96$, $p\text{-valor} = 0.0081$), evidenciado en la ecuación de regresión lineal (figura 6), la cual indica que cuanto mayor es la concentración de K en el suelo, el contenido de Cd es menor, reflejando un comportamiento antagónico Cd-K, tal como lo declara Kabata (2011).

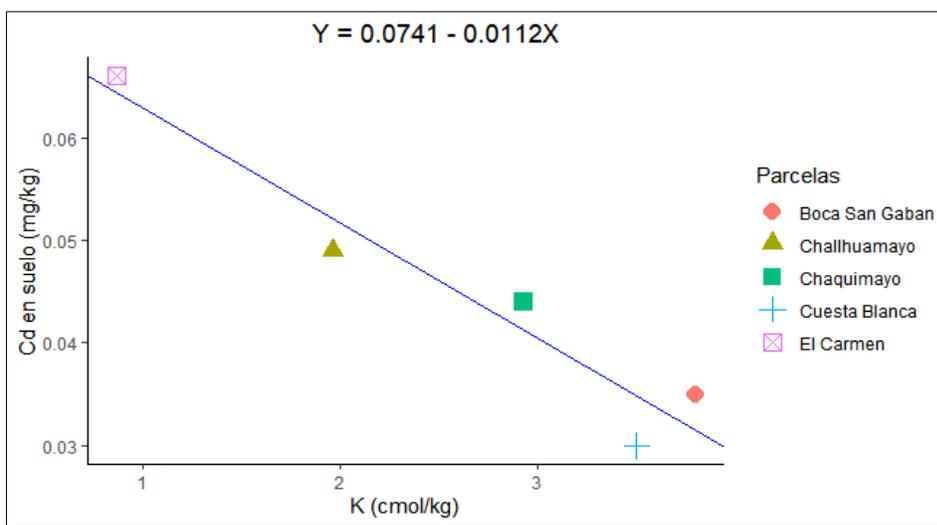


Figura 6: Regresión lineal entre el Cd y K en el suelo.

Así mismo, se corroboró una correlación negativa a pesar de no ser significativa entre el Cd con el Mg, K, P, Al, Cu, Fe, Ni y Zn (figura 4), debido a que existe un antagonismo entre el Cd y los parámetros mencionados, coincidiendo con lo afirmado por Kabata, (2011). El comportamiento del cadmio con otras propiedades fisicoquímicas del suelo se detalla a continuación:

4.1.2.1. pH

El pH evaluado en las parcelas de estudio oscila entre 4.53 a 4.83 según la tabla 8, correspondiendo a suelos muy ácidos (4.5 a 5) según Andrades & Martínez (2014). La alta solubilidad y baja adsorción de Cd en el suelo puede atribuirse al efecto del pH, que incrementa la biodisponibilidad del Cd en el suelo para su absorción por el cacao, lo que coincide con los hallazgos de Garcia, Moreno, Hernández & Polo (2002), Kabata (2011) y Ordoñez, Lopez, Casa, Landines & Fuentes (2020).

Los valores de pH en las parcelas de estudio, son menores a lo reportado en otros estudios a nivel nacional (Arévalo et al., 2016; Mendoza et al., 2021), es decir, el pH es mucho más ácido a comparación de otros departamentos productores de cacao del Perú, situación que se encuentra estrechamente relacionada con la precipitación pluvial (Barrezueta, 2019; Florida et al., 2018). En contraste, Vliet & Giller (2017) tuvieron hallazgos donde el cacao es tolerante a condiciones ácidas, siempre en cuando exista la disponibilidad de nutrientes necesarios.

4.1.2.2. Conductividad Eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica, presento un promedio de 0.064 mS/cm correspondiente a suelos no salinos (< 0.35 mS/cm) de acuerdo a Andrades & Martínez (2014), encontrándose dentro de lo óptimo para cultivos de cacao (< 1 mS/cm) referido por Barrezueta (2019), por lo que los valores determinados concuerdan con una baja disponibilidad de Cd en el suelo (Pérez & Romero, 2015).

4.1.2.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)

Los valores de C.I.C. oscilan entre 82.6 y 473 meq/100 g, lo cual es un indicador de una buena fertilidad de los suelos, puesto que está relacionado a la adsorción de iones y una menor pérdida de nutrientes por la lixiviación, a través de la adhesión

del Cd a las partículas de arcilla (Morón, Martino & Sawchik, 1999). Resultados más bajos obtuvieron Arévalo et al. (2016), con 4.75 y 41.9 meq/100g en la zona norte y centro del Perú. Además, cabe resaltar que las parcelas que presentaron una textura arcillosa, son aquellas con los valores más altos de C.I.C. y por ende una mayor concentración de Cd, estos resultados se contrastan con los obtenidos por Cruz et al. (2020).

4.1.2.4. Calcio (Ca)

El Ca en el suelo fue desde 0.51 a 0.85 cmol/kg, encontrándose debajo de lo óptimo (4 a 18.0 cmol/kg) según Barrezueta (2019); resultados mucho más altos (0.9 a 35.5 cmol/kg) indicaron Furcal & Torres (2020) en la región norte y sur de Costa Rica. Siendo evidente el déficit de este nutriente en los suelos de las parcelas de San Gabán, evidenciándose un comportamiento antagónico Cd – Ca, ya que los iones de Ca pueden ser sustituidos por el Cd y ante un inminente déficit de Ca la planta del Cacao Absorbe Cd (Kabata, 2011).

4.1.2.5. Potasio (K)

Los niveles de K en el suelo oscilaron entre 0.86 y 3.80 cmol/kg, lo que representa un valor alto sobre el nivel óptimo de K en el suelo (0.2 a 1.2 cmol/kg) atribuido por Barrezueta (2019). Así mismo, Mendoza et al. (2021), refiere que la absorción de Cd se encuentra en competencia con otros nutrientes como el K, presentándose de este modo un comportamiento antagónico Cd-K.

4.1.2.6. Magnesio (Mg)

El magnesio en el suelo de las parcelas evaluadas corresponde a un rango de 5.02 a 35.81 cmol/kg, el cual supera considerablemente los niveles óptimos que propuestos por Barrezueta (2019) de 9 a 4 cmol/kg. Ante la absorción radicular de la planta, el Mg desplaza al Cd, presentándose una relación antagónica Cd - Mg al momento de la absorción de nutrientes (Kirkham, 2006).

4.1.2.7. Sodio (Na)

La concentración de sodio en el suelo oscila entre 0.017 a 0.098 cmol/kg, siendo menor en comparación al rango de 8 a 13 cmol/kg reportado por Sánchez, Subero & Rivero (2011), en suelos venezolanos de uso agrícola. Este parámetro está relacionado a la salinidad y conductividad eléctrica del suelo, afectando la biodisponibilidad del Cd (Espinoza, Slaton & Mozaffari, 2012).

4.1.2.8. Fosforo (P)

Los niveles de fosforo oscilan desde un valor mínimo de 93.59 hasta 300.92 mg/kg siendo valores altos, a comparación de los hallazgos de Huamani et al. (2012) en los departamentos de Huánuco y Ucayali, con un promedio de 9.93 mg/kg de P. Empero, representa un valor inferior a 3700 mg/kg observado por Taha, Shmou, Osman & Shayoub (2013) en suelos próximos a la ribera de río azul en África.

Roberts (2014) reportó la relación del contenido de Cd con los fertilizantes como la roca fosfórica, donde le atribuye un aporte promedio de 25 mg/kg, pudiendo llegar a 150 mg/kg de Cd en los depósitos de roca fosfórica sedimentaria. Ello está relacionado estrechamente a los altos niveles de P encontrados en las parcelas de San Gabán, dicho resultado respondería a las antiguas prácticas de enmiendas con roca fosfórica en la zona.

4.1.2.9. Aluminio (Al)

El aluminio en el suelo evidenció un promedio de 999 mg/kg lo cual concuerda con Amjad et al. (2017), donde afirman que los óxidos de Al, Mg y Fe, permiten la retención a largo plazo del Cd en el suelo y merma la disponibilidad del Cd en los suelos.

4.1.2.10. Cobre (Cu)

El Cu en el suelo oscila desde 4.4 a 15.2 mg/kg, siendo menor a 34.46 mg/kg reportado por Arévalo et al. (2016) en Cusco. Empero, superan los niveles óptimos recomendables de 8 a 5.9 mg/kg referido por Barrezueta (2019), la interacción Cd – Cu, implica un efecto inhibitorio del Cu sobre la absorción del Cd tal como lo indica Kabata (2011).

4.1.2.11. Hierro (Fe)

El rango de concentración de hierro en el suelo fue desde los 3500 mg/kg hasta >10000 mg/kg correspondientes a las parcelas de El Carmen y Chaquimayo respectivamente, siendo inferior a 42800 mg/kg, determinado por Arévalo et al. (2016) en la Convención-Cusco. La deficiencia de este metal influye significativamente en el incremento de la absorción de Cd por las plantas, existiendo una competencia antagónica entre ambos iones lo cual coincide con Kabata & Pendias (2001) y Roberts (2014).

4.1.2.12. Manganeso (Mn)

El manganeso presente en el suelo oscila entre 11.60 y 207.3 mg/kg (tabla 8), siendo menor a 1275.20 mg/kg encontrados por Arévalo et al. (2016), en La Convención, Cusco. Dicho parámetro está estrechamente relacionado con la biodisponibilidad del Cd para el cacao, tal como lo reporta Kirkham (2006), quien manifiesta que el Mn influye en la absorción a nivel radicular, el Mg desplaza al Cd, infiriendo de este modo una relación antagónica Cd - Mg al momento de la absorción de nutrientes por la planta (García, Moreno, Hernández & Polo, 2002; Furcal & Torres, 2020).

4.1.2.13. Níquel (Ni)

La concentración de níquel encontrado varía de 1.72 a 7.21 mg/kg, un rango mucho más corto que lo reportado por Arévalo et al. (2016) con valores que oscilan entre de 1.64 a 43.3 mg/kg. Así, mismo, la interacción Cd - Ni está relacionado al reemplazo del Cd durante el proceso de captación tal como lo refiere Kabata & Pendias (2001).

4.1.2.14. Plomo (Pb)

La concentración promedio de Pb fue de 17.67 mg/kg, lo cual no superan los 70 mg/kg para suelos agrícolas establecido mediante D.S. N° 011-2017-MINAM (ECA Suelo). No obstante, de acuerdo a Mahecha et al. (2017) es probable que los valores encontrados estén relacionados con la aplicación de fertilizantes fosfatados

(roca fosfórica) al igual que el Cd., ya que esta práctica puede representar la adición de 7 a 225 mg/kg de Pb al suelo.

4.1.2.15. Zinc (Zn)

La concentración de Zn presento un rango de 4.32 a 21.97 mg/kg siendo muy inferior a 96.83 mg/kg reportado por Arévalo et al. (2016) en Cusco (La Convención) y encontrándose debajo de lo óptimo (163.5 – 719.5 mg/kg) sugerido por Barrezueta (2019) para cultivos de cacao. La concentración de Zn en el suelo tiene un comportamiento antagónico e importante con el Cd, puesto que el Cd puede imitar el comportamiento del Zn y ante una limitada concentración de Zn en el suelo la planta absorbe al Cd. tal como lo reporto Kirkham (2006).

4.2. Determinación de la concentración de cadmio en órganos vegetales

Los resultados de análisis de órganos vegetales comprenden las muestras de raíces, hojas y almendras, correspondientes a cada una de las parcelas evaluadas, así mismo, en la tabla 9 se tiene un resumen de los principales estadísticos descriptivos por órgano vegetal, donde las concentraciones de Cd en los órganos vegetales del cacao oscilaron entre 0.162 a 0.403 mg/kg, 0.206 a 1.225 mg/kg, 0.193 a 0.549 mg/kg correspondientes a la raíces, hojas y almendras.

Tabla 9

Resumen de estadística descriptiva del contenido de Cd en órganos vegetales

Órgano vegetal	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Raíces	0.162	0.403	0.2402	0.098
Hojas	0.206	1.225	0.6918	0.486
Almendras	0.193	0.549	0.325	0.150

La tendencia de la distribución de datos en los órganos vegetales del cacao es asimétrica positiva (figura 7), donde la mayor dispersión de datos se presenta en las hojas, seguido de las almendras y raíces, además se observa que los valores de Cd en las hojas son mucho más elevados que en las raíces y almendras, así mismo, se presentó un valor atípico de 0.403 mg/kg como valor más alto de Cd en las raíces y la distribución de datos de la concentración de Cd en las almendras responde a una dispersión baja con tendencia al valor mínimo.

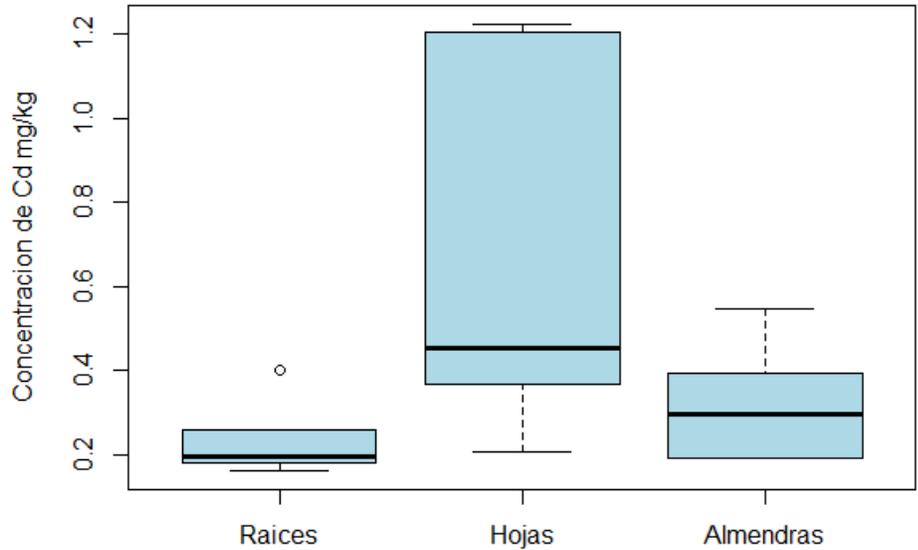


Figura 7. Diagrama de caja y bigotes del contenido de Cd en órganos vegetales

4.2.1. Raíces

La concentración de Cd en las raíces tuvo la siguiente secuencia ascendente a nivel de parcelas: El Carmen, Boca San Gabán, Chaquimayo, Challhuamayo y Cuesta Blanca; así mismo, el promedio de contenido de Cd en las raíces fue 0.24 mg/kg, al contrastar con los valores de Cd en el suelo (0.045 mg/kg), se puede apreciar que se ha efectuado la absorción de Cd por las raíces.

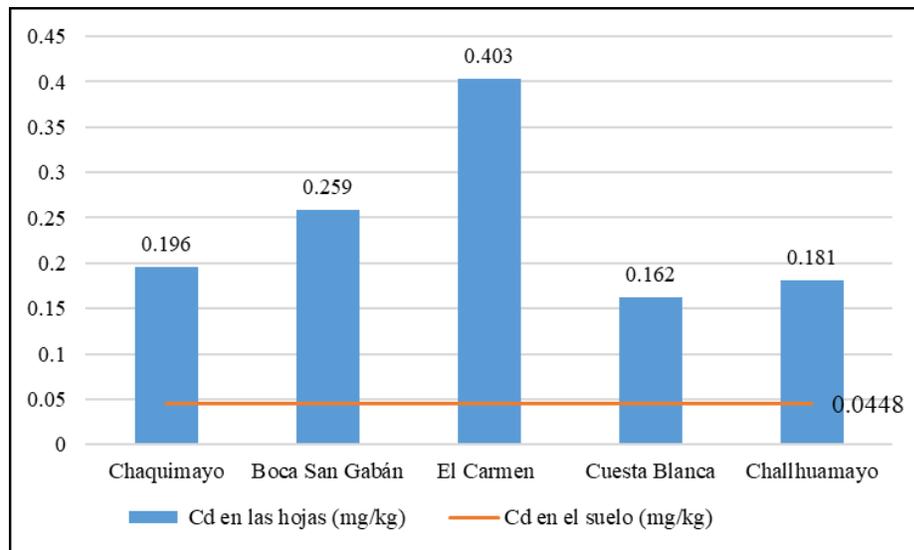


Figura 8: Concentración de Cd (mg/kg) en raíces.

Mediante la prueba “t de Student” para una muestra de la variable Cd en raíces (tabla 10), se determinó que el promedio de concentración de Cd en raíces supera la concentración en el suelo (p-valor = 0.005), por lo que habría evidencia de que el cacao estaría presentando una respuesta de “planta no excluyente” de Cd del suelo tal como lo refiere Baker (1981), es decir que el Cd en las raíces no es retenido constantemente o se encuentran debajo de los niveles de Cd en el suelo, sino que es absorbido por las raíces y a la vez indica una concentración mayor que la del suelo.

Tabla 10
Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las raíces

T	df	p-valor	LI (95)	Promedio
4.4576	4	0.005591	0.1467497	0.2402

La concentración de Cd en las raíces evidencia un promedio de 0.24 mg/kg, siendo menor en comparación a Llatance et al. (2018), que reportaron un promedio de 1.684 mg/kg de Cd en raíces de cacao en la comunidad de Pakun, Bagua, Amazonas. Valores aún más altos mostraron Furcal & Torres (2020), desde 1.0 a 13.4 mg/kg en Costa Rica. Por lo antes mencionado, se deduce que la raíces poseen una alta capacidad de absorción directa del Cd disponible en el suelo, que repercute en altos niveles de Cd en las raíces.

4.2.2. Hojas

Las más altas concentraciones de Cd en hojas se presentaron en las parcelas del sector El Carmen y Chaquimayo y la concentración más baja corresponde a la parcela del sector de Cuesta Blanca (figura 9), el promedio de contenido de Cd en las hojas fue 0.69 mg/kg, así mismo, se evidencia que todos los valores encontrados superan lo propuesto por Kabata (2011) de 0.5 mg/kg como nivel máximo tolerable de Cd en hojas de plantas.

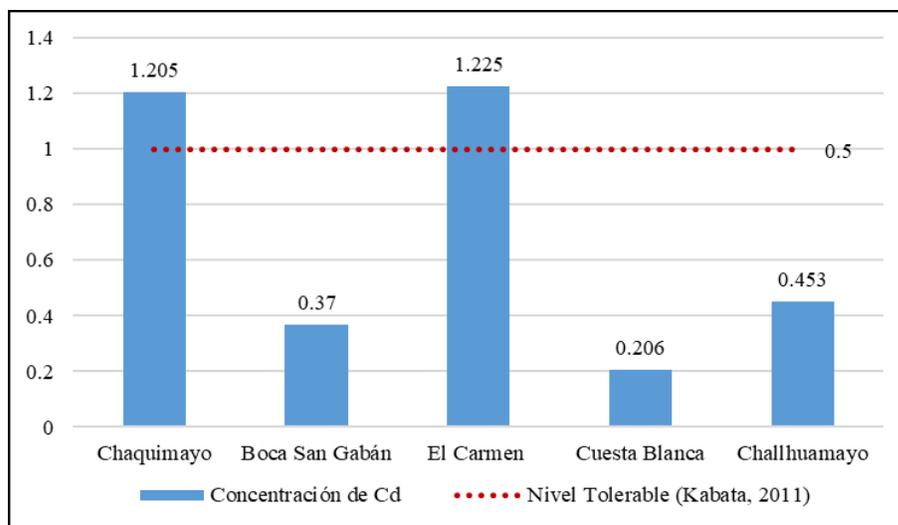


Figura 9: Concentración de Cd (mg/kg) en hojas de cacao.

Los resultados de la prueba “t de Student” de una muestra para el contenido de Cd en las hojas (tabla 11), permite contrastar que el promedio del contenido de Cd en las hojas del cacao es mayor a 0.5 mg/kg (p-valor = 0.786), por lo que el promedio de concentración de Cd en hojas supera los niveles tolerables por la planta.

Tabla 11

Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las hojas.

T	df	p-valor	LI (95)	Promedio
0.88271	4	0.7864	1.155019	0.6918

El promedio de contenido de Cd en hojas fue de 0.682 mg/kg, superando los 0.509 mg/kg reportado por Llatance et al. (2018) en Ucayali y siendo inferior a lo determinado por Gramlich et al. (2018), con un promedio de 2.6 mg/kg en parcelas de Honduras.

Las parcelas estudiadas no se encuentran próximas a zonas con contaminación ambiental de origen antrópico y tampoco se realizan prácticas de irrigación en las parcelas de cultivo, consecuentemente se podría inferir que el origen del contenido del Cd en las hojas deriva directamente del suelo, ya que las hojas muestreadas fueron recientemente maduras, coincidiendo con Furcal & Torres (2020).

4.2.3. Almendras

Los resultados de Cd en las almendras, muestran que la concentración más alta se presentó en el sector de Chaquimayo con 0.549 mg/kg y los valores más bajos corresponden a los sectores de Boca San Gabán y Cuesta Blanca (figura 10), donde el promedio de contenido de Cd en las almendras fue de 0.32 mg/kg, así mismo, se evidencia que solo el sector de Chaquimayo supera el nivel máximo permisible de 0.5 mg/kg adoptado por la OMS/FAO (2019).

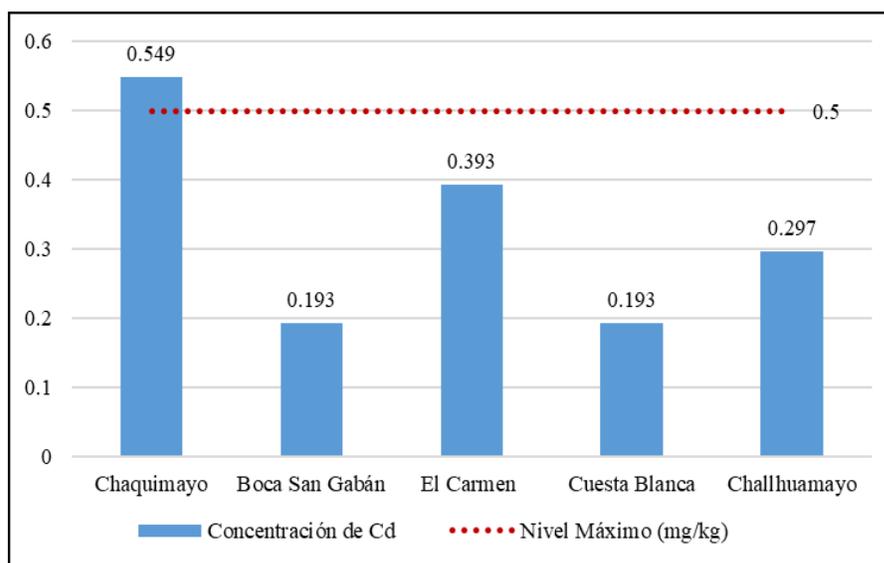


Figura 10: Concentración de Cd (mg/kg) en almendras de cacao.

Los resultados de la prueba “t de Student” de una muestra para el contenido de Cd en las almendras (tabla 12), permite comprobar que el promedio del contenido de Cd en las almendras del cacao no supera los 0.5 mg/kg (p-valor = 0.97), por lo que brindan la evidencia suficiente de que el promedio de concentración de Cd en almendras no supera el límite máximo de 0.5 mg/kg adoptado por la OMS y otros países contemplados en el marco referencial.

Tabla 12

Resultado de la prueba “t-Student” de una muestra para Cd en las almendras

T	df	p-valor	LI (95)	Promedio
-2.6025	4	0.9701	0.1816486	0.325

El resultado de la concentración de Cd promedio en almendras fue de 0.325 mg/kg lo que está por debajo de lo reportado por Florida et al. (2018), con un promedio de 0.98 mg/kg de Cd en las parcelas de la provincia de Leoncio Prado – Huánuco; Lopez et al. (2018), donde determinaron 0.75, 0.71 y 0.54 mg/kg de Cd en diferentes sistemas de manejo en San Alejandro – Ucayali. En un marco internacional los valores encontrados son menores a comparación de otros países como Ecuador, Honduras, Costa Rica y Colombia (Díaz, Mendoza, Bravo & Domínguez, 2018; Gramlich et al., 2018; Furcal & Torres, 2020; Aguirre et al., 2020).

Cabe enfatizar que el promedio de Cd en las almendras (0.325 mg/kg) de las parcelas evaluadas, se encuentra por debajo de los niveles máximos permitidos a nivel internacional como es el caso de la Unión Europea (0.8 mg/kg), OMS, Australia, Nueva Zelanda (0.5 mg/kg).

4.2.4. Relación de la distribución de cadmio en los órganos vegetales

Para la determinación de la normalidad de los valores del Cd en los órganos vegetales estudiados, se hizo uso de la prueba Shapiro-Wilks, donde todas las variables presentaron una distribución normal (p -valor > 0.05) y se procedió con la prueba paramétrica de correlación de Pearson (figura 11).

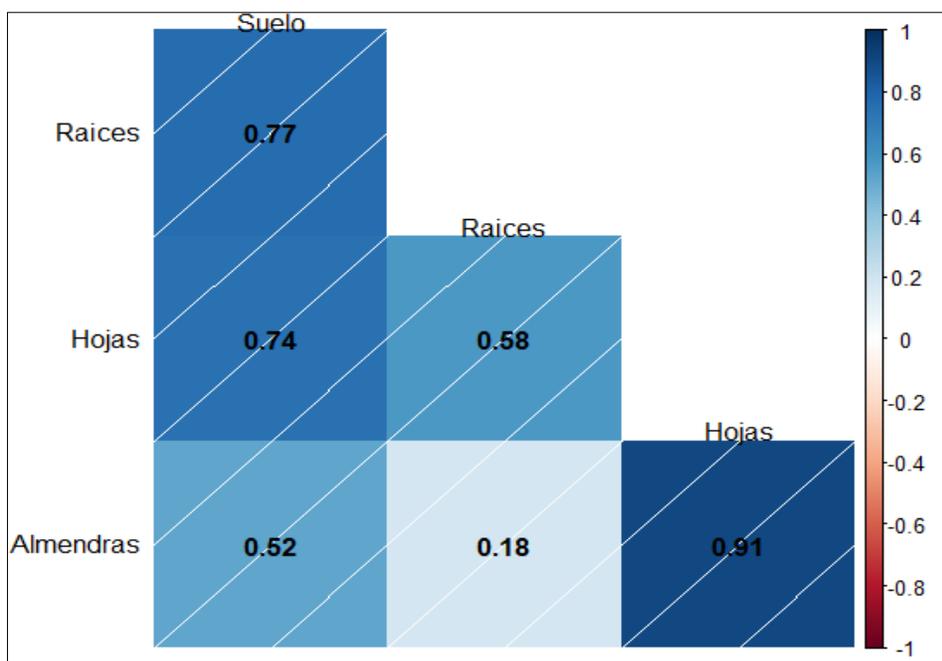


Figura 11: Matriz de correlación de Pearson del Cd entre suelo y órganos vegetales

Como resultado del análisis de correlación de Pearson entre el contenido de Cd en los órganos vegetales, se tiene una correlación positiva muy fuerte y significativa entre el contenido de Cd de las hojas y las almendras ($r = 0.91$, $p\text{-valor} = 0.034$). La figura 12, evidencia una tendencia ascendente entre el contenido de Cd en las hojas y el de las almendras, donde a partir de dicha ecuación ($Y = 0.1312 + 0.2801X$) se podría predecir el comportamiento del contenido de Cd en las almendras de cacao a partir de lo contenido en las hojas.

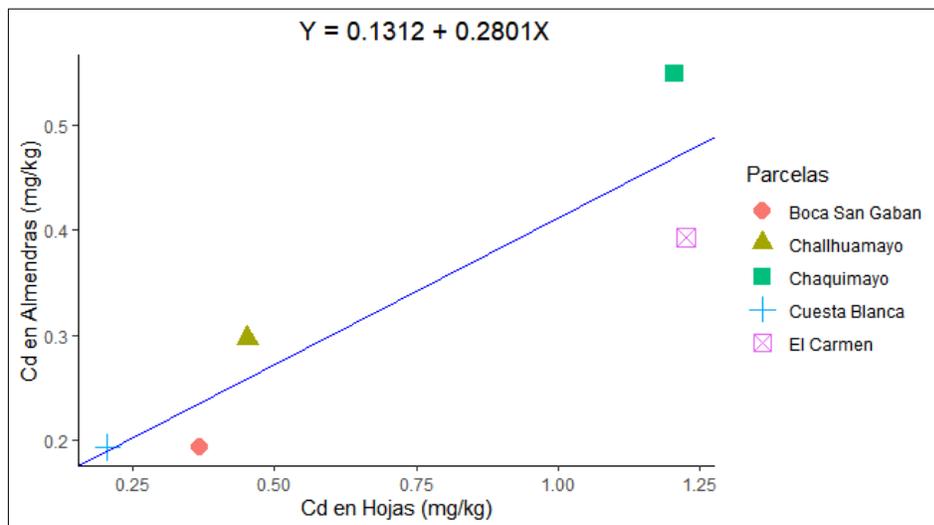


Figura 12: Regresión lineal entre el contenido de Cd en almendras y Cd en hojas

Del análisis de correlación de Pearson entre el contenido de Cd en el suelo y almendras, se evidencio una correlación positiva no significativa, ello puede ser debido a las pocas repeticiones y a la variación de datos por sector.

Estos resultados se contrastan con otras investigaciones como Llatance et al. (2018), quienes observaron concentraciones en órganos vegetales en la siguiente secuencia ascendente: raíces, tallo, hojas y fruto. Furcal & Torres (2020) que reportaron concentraciones de Cd en el siguiente orden almendras, hojas, raíces y suelo en la región sur de Costa Rica.

4.3. Estimación de coeficientes biológicos

La capacidad que posee el cacao de bioacumular, translocar y redistribuir el Cd, se evidencia en los altos valores de los Coeficientes biológicos presentes en cada una de las parcelas de estudio (tabla 13). La tendencia de los valores resultantes para el factor de bioconcentración (FBC) en raíces, almendras y el factor de translocación (FT) son >1 siendo un indicador de la gran capacidad de bioacumulación de Cd según Baker (1981).

Tabla 13

Resultados de coeficientes biológicos

Sector	FBC (raíz)	FBC (almendras)	FT	FR
Chaquimayo	4.45	12.48	6.15	0.46
Boca San Gabán	7.40	5.51	1.43	0.52
El Carmen	6.11	5.95	3.04	0.32
Cuesta Blanca	5.40	6.43	1.27	0.94
Challhuamayo	3.69	6.06	2.50	0.66

Nota: FBC (raíz) = factor de bioconcentración en raíces; FBC (almendras) = factor de bioconcentración en almendras; FT = factor de translocación; FR = factor de redistribución.

Los principales estadísticos descriptivos de los valores de factor de bioconcentración de raíces (FBC (raíz)), factor de bioconcentración de almendras (FBC (almendras)), el factor de translocación (FT) y el factor de redistribución (FR) se presentan en el siguiente resumen:

Tabla 14

Resumen de estadísticos descriptivos de los coeficientes biológicos

Variable	Media	D.E.	Mín	Máx
FBC raíces	5.41	1.44	3.69	7.4
FBC almendras	7.29	2.92	5.51	12.48
FT	2.88	1.97	1.27	6.15
FR	0.58	0.24	0.32	0.94

4.3.2. Factor de bioconcentración (FBC)

Los valores del factor de bioconcentración de raíz ($FBC_{(raíz)}$) y Factor de Bioconcentración de raíz ($FBC_{(almendras)}$), corresponden a un promedio de 5.41 y 7.29 respectivamente, cumpliendo con la siguiente condición: $1 < FBC < 10$, correspondiente a una “planta acumuladora” según Baker (1981) y Kabata & Pendias (2001), lo cual permite afirmar que el cacao tiene una alta capacidad de bioacumular el Cd en las raíces y las almendras a partir del suelo.

4.3.3. Factor de translocación (FT)

El factor de translocación correspondiente a la evaluación de las 5 parcelas de estudio, hace referencia a un promedio de 2.88, lo cual es un indicador de que el cacao no es una planta excluyente, es decir que posee la capacidad transferir el Cd desde las raíces a las hojas, además el FT cumple con ser una planta acumuladora ($1 < FBC < 10$) de acuerdo a Baker (1981) y Kabata & Pendias (2001). El FT está en función de muchas propiedades del suelo tal como lo refiere Amjad et al. (2017).

4.3.4. Factor de redistribución (FR)

La capacidad del Cd de redistribuir el Cd de un órgano a otro, se ve comprobado con el factor de redistribución que equivale a un promedio de 0.58, es decir, que del contenido de Cd presente en las hojas el 58 % es redistribuido a las almendras del cacao, ello considerando que las hojas muestreadas fueron recientemente maduras por lo que está relacionado directamente al flujo de la concentración de Cd absorbido del suelo coincidiendo con Salt, Prince, Pickering & Raskin (1995) quien reportaron un comportamiento similar del Cd con el *Indian mustard*.

CONCLUSIONES

Los niveles reportados del contenido de Cd en el suelo de las parcelas del Distrito de San Gabán (0.045 mg/kg), no superan los valores correspondientes al ECA para suelo agrícola (1.4 mg/kg) según la norma peruana y a la actualidad podría considerarse los suelos evaluados como no contaminados por Cd; sin embargo representan un problema latente a largo plazo por la influencia de parámetros fisicoquímicos como pH, C.I.C, Ca, Zn, textura, la pendiente del terreno, la precipitación pluvial y prácticas agrícolas como la alcalinización y fertilización del suelo.

El Cd en los órganos vegetales del cacao, presenta una distribución en el siguiente orden: hojas, almendras y raíces (0.69, 0.32 y 0.24 mg/kg), donde el contenido de Cd en hojas supera lo tolerable en las plantas (0.5 mg/kg), el contenido de Cd en las almendras se encuentra debajo de los límites establecidos internacionalmente de 0.5 mg/kg según la OMS y 0.8 mg/kg de acuerdo al Reglamento (UE) N° 488/2014eo N° 1881/2006 y es considerablemente inferior a comparación de otros departamentos pioneros en la producción de cacao del Perú y otros países, siendo factible para exportación y comercialización justa y segura.

Los coeficientes biológicos como el factor de bioconcentración en raíces ($FBC_{(raíz)}$) factor de bioconcentración en almendras ($FBC_{(almendras)}$), factor de translocación (FT), factor de redistribución (FR), fueron considerablemente altos (5.41, 7.29, 2.88 y 0.58), lo que indica que el cacao es una “planta acumuladora” de Cd, es decir que, no solo tiene la capacidad absorber y excluir el Cd solo en las raíces, sino que lo transloca a las distintas partes aéreas y cualquier alteración antropogénica que pueda incorporar Cd al suelo, repercutirá directamente en el contenido de dicho metal en cualquiera de sus órganos, principalmente en el fruto, que viene a ser la parte aprovechable y comercial de la planta.

RECOMENDACIONES

A los propietarios de las parcelas, ser cuidadosos con las prácticas culturales, puesto que pueden representar una fuente de contaminación antropogénica; además, se debe de incidir en la mejora de prácticas de enmiendas, fertilización orgánica u otras prácticas agronómicas, con la finalidad de mejorar la calidad de suelo del cultivo.

Promover y potenciar el cultivo de cacao en el distrito de San Gabán, puesto que las condiciones climáticas y de suelo (respecto a Cd) son favorables para este cultivo alternativo, haciendo de San Gabán un potencial productor de cacao.

Fortalecer la comercialización e industrialización de cacao con fines de exportación debido al bajo contenido de Cd.

Incidir en la investigación referente a la fertilización orgánica de cultivos, prácticas culturales ecoamigables, estudio del comportamiento y biodisponibilidad de metales pesados, potencial de reducción, materia orgánica del suelo bajo las condiciones climáticas de San Gabán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abichequer, A., Bohnen, H. & Anghinoni, I. (2003). Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio (1). *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 27(1), 373–378.
- Adewoye, G., & Amusa, N. (2021). Environmental Heavy Metal Contamination in Some Selected Cocoa Plantations in Oyo State, Nigeria. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(8), 1–6. <https://doi.org/10.9734/cjast/2021/v40i831333>
- Aguirre, S., Piraneque, N. & Vásquez, J. (2020). Heavy metals content in soils and cocoa tissues in Magdalena department Colombia : emphasis in cadmium. *Entramado*, 16(2), 298–310. [https://doi.org/Aguirre forero, S. E., Piraneque Gambasica, N. V., & Vásquez Polo, J. R. \(2020\). Heavy metals content in soils and cocoa tissues in Magdalena department Colombia : emphasis in cadmium. *Entramado*, 16\(2\), 298–310.](https://doi.org/Aguirre%20forero,%20S.%20E.,%20Piraneque%20Gambasica,%20N.%20V.,%20%26%20Vásquez%20Polo,%20J.%20R.%20(2020).%20Heavy%20metals%20content%20in%20soils%20and%20cocoa%20tissues%20in%20Magdalena%20department%20Colombia%20:%20emphasis%20in%20cadmium.%20Entramado,%2016(2),%20298–310.)
- Amjad, M., Khan, S., Khan, A. & Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium , consequences and remediation using organic amendments *Science of the Total Environment* Soil contamination with cadmium , consequences and remediation using organic amendments. *Science of the Total Environment*, 601–602(October), 1591–1605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030>
- ANACAFÉ. (2004). *Cultivo de Cacao*. Retrieved from <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Andrades, M. & Martínez, E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. 3ª ed. (3ra ed.). Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Arévalo, E., Arévalo, C., Baligar, V. & He, Z. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L .) in major cacao growing regions in Peru *Science of the Total Environment* Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L .) in major cacao growing region. *Science of The Total Environment*, 605–606(October), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Arévalo, E., Obando, M. E., Zúñiga, L., Arévalo, C., Baligar, V. & He, Z. (2016a). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>

- Arévalo, E., Obando, M., Zúñiga, L., Arévalo, C., Baligar, V. & He, Z. (2016b). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) En tres regiones del peru. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81–89. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Argota, G., Encinas, M., Argota, H. & Lannacone, J. (2014). Biological coefficients of phytoremediation of soil exposed to lead and cadmium and using *Alopecurus magellanicus* Bracteatus and *Muhlenbergia angustata* (poaceae), Puno, Peru. *The Biologist*, 12(1), 99–108.
- Arroyave, C., Araque, P. & Pelaez, C. A. (2010). Evaluación de la bioacumulación y toxicidad de cadmio y mercurio en pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacèutica*, 17(1), 45–49.
- Baker, A. (1981). Accumulators and Excluders Strategies in Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1–4), 643–654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro , Ecuador Properties of several soils cultivated with cocoa in the province of El Oro , Ecuador. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 14(1), 155–166.
- Benavides, M., Gallego, S. & Tomaro, M. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 17(1), 21–34. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1590/S1677-04202005000100003>
- Bernhoft, R. A. (2013). *Cadmium Toxicity and Treatment*. 2013.
- Bravo, D., Leon, C., Martínez, C., Varón, V., Araujo, G., Vargas, R., ... Gutiérrez, E. (2021). The First National Survey of Cadmium in Cacao Farm Soil in Colombia. *Agronomy*, 11(4), 761. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040761>
- Cáceres, J. & Torres, E. (2017). Microorganismos cultivables asociados a cadmio (Cd), presentes en suelos cacaoteros de los municipios de Yacopi y Nilo, como estrategia de bioremediación. *2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, (NOVEMBER). Retrieved from <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T6.234.microorganismos-cultivables-asociados-a-cadmio-cd-presentes-en-suelos-cacaoteros-de-los-municipios-de-yacopi-y-nilo-como-es.pdf>

- Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1), 21–35. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>
- Chavez, E., He, Z., Stoffella, P., Mylavarapu, R., Li, Y., Moyano, B. & Baligar, V. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533(1), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Chupillon, J., Arévalo, C., Arévalo, E., Farfán, A. & Baligar, V. (2017). Acumulación de cadmio en seis genotipos de cacao utilizados como patrón. *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, 3–5.
- Contreras, F., Herrera, T. & Izquierdo, A. (2005). Effect of two source of calcium (CaCO_3) about the available of cadmium for plants of cocoa (*Theobroma cocoa* L .) in soils of Barlovento , state Miranda . *Venesuelos*, 13, 52–63.
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M. & Gordillo, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas , México Effect of organic matter and cation exchange capacity on the acidity of soils cultured with corn in two re. *Terra Latinoamericana*, 38, 475–480.
- Cunha, M., Nardi, L., Pereira, V., Neto, A. & Vedana, L. (2014). Evaluation of biological absorption coefficient of trace elements in plants from the pitinga mine district, amazonian region. *Revista Do Instituto Geológico, São Paulo*, 35(1), 19–29. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140002>
- DEVIDA (2013). *Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados*. Recuperado de: <https://pt.slideshare.net/RIICCHPeru/gua-metodolgica-muestreo-y-deteccin-de-cadmio>
- DEVIDA (2010). *Catálogo de cultivares de cacao del Perú*. Recuperado de: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/catalogo_cultivares_cacao.pdf

- Díaz, L., Mendoza, E., Bravo, M. & Domínguez, N. (2018). Determinación de Cadmio y Plomo en almendras de cacao (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón. *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación ISSN:*, 2(15), 77–92.
- D. S. N° 012-2017- MINAM (02 de diciembre de 2017). Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados. Diario Oficial del Bicentenario EL PERUANO, Lima, Perú.
- D.S. N° 011-2017-MINAM (2 de diciembre de 2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Diario Oficial del Bicentenario EL PERUANO, Lima, Perú.
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O. & Schulin, R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of The Total Environment*, 678, 660–670. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Espinoza, L., Slaton, N. & Mozaffari, M. (2012). *Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos*. Retrieved from <https://www.uaex.edu/publications/pdf/fsa-2118sp.pdf>
- FAO/OIEA. (2007). *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/y5053s/y5053s.pdf>
- FAO/OMS (3 de mayo de 2019). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del codex sobre contaminantes de los alimentos. Recuperado de: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10554:2015-comision-codex-alimentarius&Itemid=41281&lang=es
- Faquin, V. (2005). *Nutrição Mineral de plantas* (1st ed.). Lavras: Centro de Editoração/FAEPE.
- Filho, M. R., Siqueira, J., Curi, N. & Simão, J. B. (2001). Seção ix - poluição do solo e qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 25(2), 495–507. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218429026%0AComo>
- Florida, N., Claudio, S. & Gómez, R. (2018). El pH y la absorción de cadmio en almendras de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) en Leoncio Prado, Huánuco, Perú. *Folia Amazónica*, 27(1), 1–8. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.438>

- Florida, N., Jacobo, S. & Gonzalez, T. (2018). Comportamiento del cadmio y otros indicadores en el suelo y almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo aplicación de compost y NPK. *Folia Amazónica*, 27(2), 193–202.
- Furcal, P. & Torres, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de (*Theobroma cacao* L.) en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 33(1), 122–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- García, C., Moreno, J., Hernández, M. & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 2(1), 125–138. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10261/111812>
- Godt, J., Scheidig, F., Grosse, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A. & Groneberg, D. (2006). Journal of Occupational Medicine The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1(22), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>
- Gonçalves, A., Sousa, R., Coelho, G., Guimarães, V., Schwants, D., Silva, T., ... Campagnolo, M. (2015). Dinámica dos metais cd e pb no solo e a capacidade de adaptação das plantas em ambientes contaminados. *Journal of Agronomic Sciences*, 4(1), 31–55.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V. & Schulin, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras Science of the Total Environment Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, 612(September), 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>
- Grant, C. A., Buckley, W. T., Bailey, L. D. & Selles, F. (1998). Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 1, 1–34.
- Guillermo, F., Talledo, M., Cuenca, G., Macías, J., Álvarez, J. & Menjívar, J. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (. *Pro-Sciences: Revista de Produccion, Ciencias e Investigacion*, 3(1881), 17–23.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición). Mexico: McGRAW-HILL / Interamericana editores, S.A.
- Huamani, H., Huauya, M., Mansilla, L., Florida, N. & Neyra, G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 61(4), 339–344.

- Huaraca, J., Pérez, L., Pampa, L. & Bustinza, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados : una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139–152.
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Sánchez, T., Tapia, L., Cano, N. & Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583–598. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>
- Jiménez Tobón, C. S. (2015). Global legal status of cadmium in cacao (*Theobroma cacao*): a fantasy or a reality. *Producción + Limpia*, 10(1), 89–104. <https://doi.org/10.22507/pml>
- Kabata, A. (2011). *Trace elements in soils and plants* (4ta ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kabata, A. & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants Trace Elements in Soils and Plants* (3rd ed.). New York.
- Kirkham, M. B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. *Geoderma*, 137(1–2), 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.024>
- Kubier, A., Wilkin, R. T. & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater : A review Applied Geochemistry Cadmium in soils and groundwater : A review. *Applied Geochemistry Journal*, 108(August), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
- Length, F. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112–118.
- Lewis, C., Lennon, A., Eudoxie, G., Sivapatham, P. & Umaharan, P. (2021). Plant metal concentrations in *Theobroma cacao* as affected by soil metal availability in different soil types. *Chemosphere*, 262(2021), 127749. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127749>

- Llatance, W., Saavedra, C., Castillo, W. & Mondragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 33(1), 63–75. <https://doi.org/dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
- Londoño, L., Londoño, P. & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Lopez, A., Hoyos, J. & Coronado, E. (2018). Determinación del contenido de cadmio (cd) en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro-Región Ucayali. *Ciencias Agropecuarias*, 1(1), 1–11.
- López, Y., Cunias, M. & Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Universidad y Sociedad*, 12(3), 344–352.
- Mahecha, J., Trujillo, J. & Torres, M. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Orinoquia*, 21(1), 83–93. <https://doi.org/10.22579/20112629.434>
- Mahecha, J., Trujillo, J. & Torres, M. A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari , Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118–122. <https://doi.org/10.22579/20112629.345>
- Martínez, T., Cambra, K., Urzelai, A. & González, L. (2000). Establecimiento de valores máximos admisibles en suelo para la protección de la salud con el modelo Lur. *Gaceta Sanitaria* 2000, 14(6), 449–457. [https://doi.org/10.1016/S0213-9111\(00\)71912-1](https://doi.org/10.1016/S0213-9111(00)71912-1)
- Mendoza, K., Mostacero, J., López, S., Gil, A., De La Cruz, A. J. & Villena, L. (2021). Cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. “cacao” en la region San Martin region (Lamas), Peru. *Manglar*, 18(2), 169–173. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.022>
- Meter, A., Atkinson, R. J. & Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe* (p. 77). p. 77. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/321796762_Hoja_botanica_Cacao_-_Theobroma_cacao_L
- MIDAGRI. (2010). *Catálogo de Cultivares de cacao del Perú*. Retrieved from https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/cultivares_cacao.pdf

- MIDAGRI. (2016). *Estudio del CACAO en el Perú y en el Mundo*. Retrieved from <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-cacao-Peru-y-Mundo.pdf>
- MIDAGRI. (2018). *Análisis de la Cadena Productiva del Cacao*. Retrieved from <https://repositorio.minagri.gob.pe/handle/MIDAGRI/66>
- Mite, F., Carrillo, M. & Durando, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de ecuador. *Xii Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 17–19.
- Morón, A., Martino, D. & Sawchik, J. (1999). *Manejo y fertilidad de suelos* (1 ra). Retrieved from <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos/compartidos/111219240807135249.pdf>
- Oliveira, J., Cambraia, J., Oliva, M. A. & Jordão, C. (2001). Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvínia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13(3), 329–341. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000300008>
- Ordoñez, R., Lopez, A., Casa, F., Landines, E. & Fuentes, E. (2020). Análisis de cadmio, plomo, níquel y arsénico en plantas de cacao y derivados: Industria alimentaria. *CienciAmérica*, 9(4), 1–8. <https://doi.org/Juhttp://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i4.351>
- Paiva, H., Carvalho, J. & Siqueira, J. (2002). Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. *R. Árvore*, 26(4), 467–473. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400009>
- Pérez, I. & Romero, F. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí , México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1), 1–12.
- Pérez, P. & Azcona, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud Perla. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199–205. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47324564010%0ACómo>

- Ramírez, ramiro, Giraldo, D. & Barrera, D. (2018). Fitoextracción de cadmio con hierba mora (*Solanum nigrum* L .) en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L .). *Acta Agronómica*, 67(3), 420–424. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68536>
- Ramirez, A. (2002). Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 63(1), 51–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- Ramtahal, G., Yen, I. C., Bekele, I., Bekele, F., Wilson, L., Maharaj, K. & Harrynanan, L. (2016). Relationships between Cadmium in Tissues of Cacao Trees and Soils in Plantations of Trinidad and Tobago. *Food and Nutrition Sciences*, 7(January), 37–43. <https://doi.org/dx.doi.org/10.4236/fns.2016.71005>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O. & Diaz, M. (2016). Heavy metal contamination: implications in health, environment and food safety. *Revista Ingenieria, Investigacion y Desarrollo.*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- REGLAMENTO (UE) No 488/2014 DE LA COMISIÓN (12 de mayo de 2014). Modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>
- R. M. N° 0449-2018-MINAGRI (15 de noviembre de 2018). Aprueban documento denominado “Agenda de impacto rápido vinculada a los niveles máximos de cadmio en productos específicos como el cacao y chocolate”, Diario Oficial del Bicentenario EL PERUANO, Lima, Perú.
- R. M. N° 0451-2018-MINAGRI (15 de noviembre de 2018). *Aprueban documento denominado “Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados de cacao”*, Diario Oficial del Bicentenario EL PERUANO, Lima, Perú.
- Roberts, T. L. (2014). Cadmium and Phosphorous Fertilizers : The Issues and the Science. *Procedia Engineering*, 83, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Rofner, N. F. (2021). *Cadmium in soil and cacao beans of Peruvian and South American origin.* 74(2), 9499–9515.

- Rueda, G., Rodriguez, J. A. & Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203–217.
- Salt, D., Prince, R., Pickering, I. & Raskin, I. (1995). Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiology*, 109(4), 1427–1433. <https://doi.org/10.1104/pp.109.4.1427>
- Sánchez, N., Subero, N. & Rivero, C. (2011). Determinacion de adsorción de cadmio, mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Acta Agronómica*, 60(2), 190–197.
- Santander, W., Garay, R., Verde, C. & Mendieta, O. (2021). 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*, 87(1), 39–49. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.321>
- SENAMHI. (2020). *Climas del Perú- Mapa de Clasificación climática del peru*. Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Silva, A., Dors, P., Silva, F. T., Verdi, R., Kruker, G. & Campos, M. L. (2018). Bioacumulação e Translocação de Chumbo em Erva-Mate. *XII Reunião Sul-Brasileira de Ciência Do Solo*. Retrieved from <http://www.sbcs-nrs.org.br/rsbcs/docs/trab-8-2709-723.pdf>
- Silva, M., Vitti, G. & Trevizam, A. (2007). Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesquisa Agropecuaria, Brasil*, 42(4), 527–535.
- Soares, C., Accioly, A., Melo, T., Siqueira, J. & Moreira, F. (2001). Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13(3), 302–315. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000300006>
- Taha, K., Shmou, M., Osman, M. & Shayoub, M. (2013). Soil-Plant Transfer and Accumulation Factors. *Journal of Applied and Industrial Sciences*, 1(2), 97–102.

- Tantalean, E. & Huauya, M. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana Distribution of cadmium content in the different organs of cacao CCN-51 in aluvial and residual. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 1(2), 69–78. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.365>
- Tumi, J. (2019). Impacto social del programa DEVIDA en el desarrollo agropecuario y ambiental en la cuenca del Inambari, Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas Enero*, 21(1), 29–48.
- Vieira, L. R., Corrêa, E. S., Moraes, B. S., Rossato, M. & Vestena, S. (2015). Toxicidade de cádmio em plantas. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), 1574–1588. <https://doi.org/DOI: 105902/2236117015970>
- Vliet, J. A. Van & Giller, K. E. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa : A Review. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 141). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>

ANEXOS

ANEXO 1

Panel fotográfico



Figura 13. Georreferenciación de los puntos de muestreo.



Figura 14. Obtención de datos mediante GPS.



Figura 15. Preparación del área a muestrear



Figura 16. Extracción de muestras simples



Figura 17. Obtención de muestra compuesta.



Figura 18. Cuarteo para la obtención de 1 kg de muestra.



Figura 19. Pesaje de la muestra de suelo

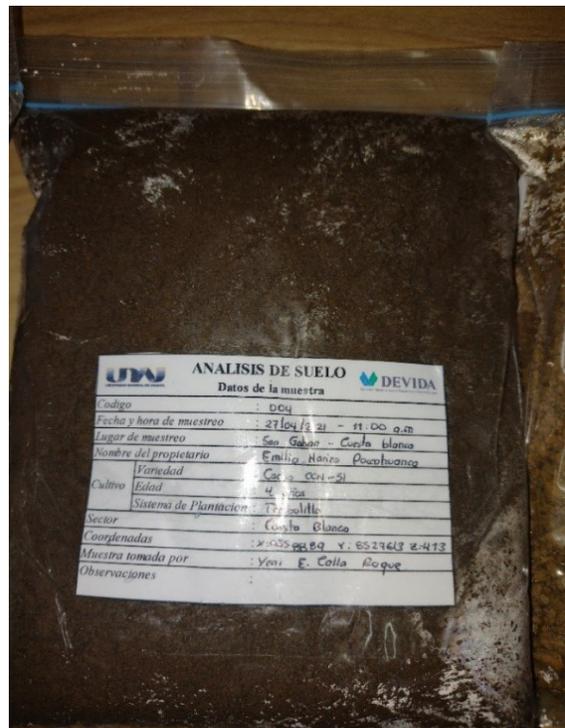


Figura 20. Rotulado de las muestras de suelo.



Figura 21. Obtención de raíces de árbol de cacao.



Figura 22. Pesaje de muestra de raíces..



Figura 23. Etiquetado- muestras de raíces.



Figura 24. Muestreo de hojas del árbol de cacao.



Figura 25. Pesaje- muestras de hojas.



Figura 26. Etiquetado- muestras de hojas.



Figura 27. Selección de mazorcas de cacao

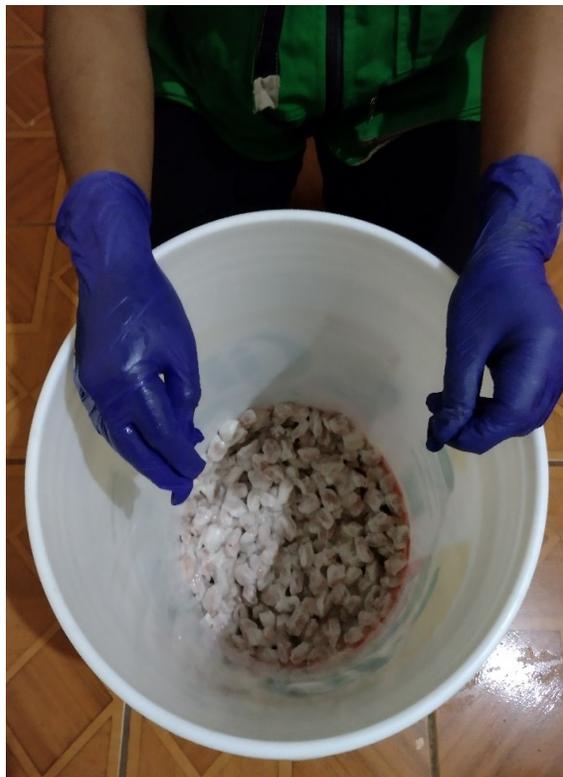


Figura 28. Obtención de almendras frescas



Figura 29. Pesaje- muestras de almendras frescas.



Figura 30. Etiquetado- muestras almendras frescas.

ANEXO 2

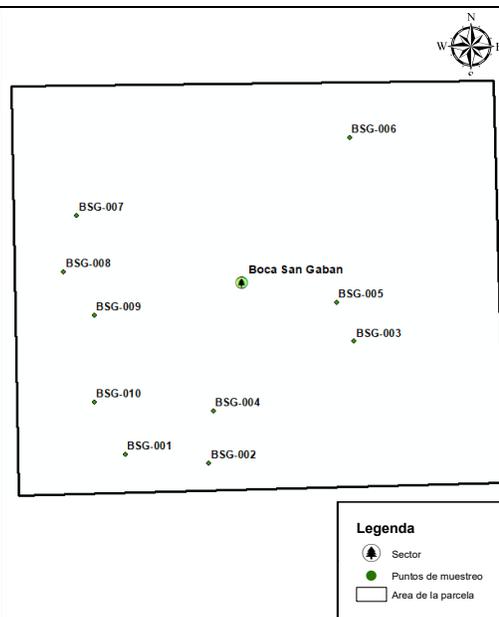
Datos de muestreo de suelo y órganos vegetales de las parcelas de estudio

DATOS DE MUESTREO "CHAQUIMAYO"				
Datos de la parcela de estudio				
Departamento	:	Puno		
Provincia	:	Carabaya		
Distrito	:	San Gaban		
Sector	:	Chaquimayo		
Nombre del propietario	:	Mauro Prudencio Ramos Borda		
Cultivo	Especie	:		<i>Theobroma cacao</i> L.)
	Variedad	:		CCN-51
	Edad	:		4 Años
	Sistema de Plantacion	:		Tresbolillo
Extension	:	1 Ha		
Fecha de muestreo	:	24/04/2021		
Datos de los puntos de muestreo				
Descripción	Coordenadas UTM			
	X	Y	Z	
CH-001	346047	8516067	679	
CH-002	346026	8516071	679	
CH-003	346001	8516101	680	
CH-004	345977	8516071	680	
CH-005	346009	8516063	679	
CH-006	346022	8516049	679	
CH-007	346018	8516033	679	
CH-008	346007	8516002	678	
CH-009	345991	8516019	678	
CH-010	345962	8516005	678	
Observaciones:				
1. El sistema de cultivo presenta un sistema de drenaje abierto, debido que la pendiente es plana y no existe una buena infiltracion por el caracteristico suelo arcilloso, caracteristicos de una parcela semi-inundable. 2. Se realizaron practicas de enmienda con roca fosfórica y dolomita durante 3 años desde la instalacion del cultivo 3. Presento una pendiente plana				

DATOS DE MUESTREO
"BOCA SAN GABAN"

Datos de la parcela de estudio

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	San Gaban
Sector	:	Boca San Gaban
Nombre del propietario	:	Lourdes Castillo Navarro
Cultivo	Especie	: Theobroma cacao L.)
	Variedad	: CCN-51
	Edad	: 4 Años
	Sistema de Plantacion	: Tresbolillo
Extension	:	1 Ha
Fecha de muestreo	:	25/04/2021



Datos de los puntos de muestreo

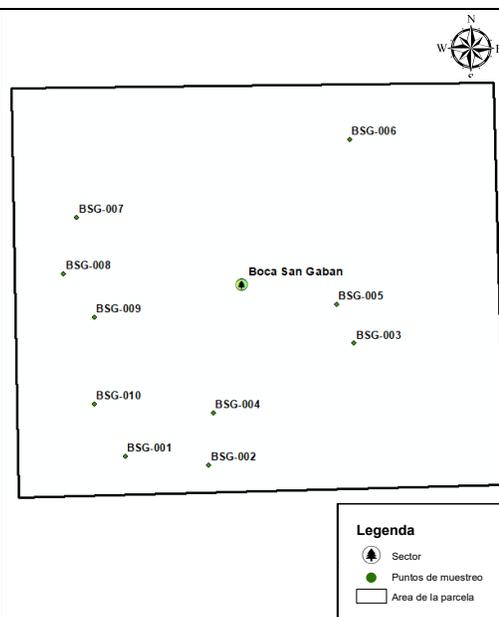
Descripción	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
CH-001	359966	8517228	471
CH-002	359985	8517226	471
CH-003	360018	8517254	467
CH-004	359986	8517238	465
CH-005	360014	8517263	463
CH-006	360017	8517301	468
CH-007	359955	8517283	461
CH-008	359952	8517270	470
CH-009	359959	8517260	470
CH-010	359959	8517240	479

Observaciones: Las condiciones de terreno corresponden a una zona geografica regularmente plana.

DATOS DE MUESTREO
"BOCA SAN GABAN"

Datos de la parcela de estudio

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	San Gaban
Sector	:	Boca San Gaban
Nombre del propietario	:	Lourdes Castillo Navarro
Cultivo	Especie	: Theobroma cacao L.)
	Variedad	: CCN-51
	Edad	: 4 Años
	Sistema de Plantacion	: Tresbolillo
Extension	:	1 Ha
Fecha de muestreo	:	25/04/2021



Datos de los puntos de muestreo

Descripción	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
CH-001	359966	8517228	471
CH-002	359985	8517226	471
CH-003	360018	8517254	467
CH-004	359986	8517238	465
CH-005	360014	8517263	463
CH-006	360017	8517301	468
CH-007	359955	8517283	461
CH-008	359952	8517270	470
CH-009	359959	8517260	470
CH-010	359959	8517240	479

Observaciones:

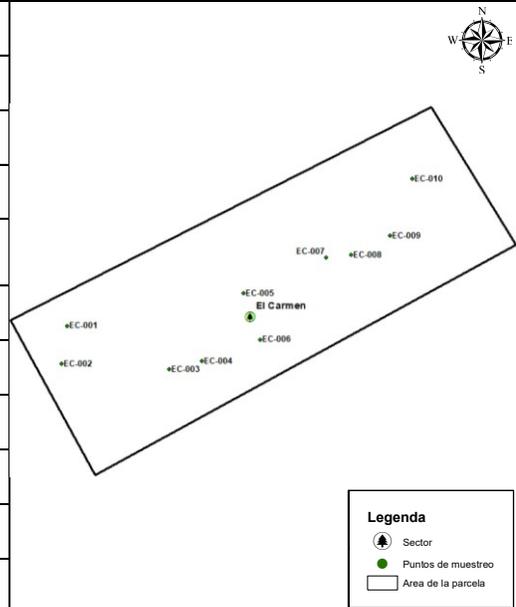
1. El tipo de suelo corresponde a un suelo franco arenoso
2. Se realizaron practicas de enmienda con roca fosforica y dolomita durante 3 años desde la instalacion del cultivo
- 3.El terreno correspondio a una zona geografica plana

DATOS DE MUESTREO

"EL CARMEN"

Datos de la parcela de estudio

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	San Gaban
Sector	:	El Carmen
Nombre del propietario	:	Francisco Quispe Herrera
Cultivo	Especie	: Theobroma cacao L.)
	Variedad	: CCN-51
	Edad	: 4 Años
	Sistema de Plantacion	: Tresbolillo
Extension	:	1 Ha
Fecha de muestreo	:	26/04/2021



Datos de los puntos de muestreo

Descripción	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
CH-001	357444	8529736	487
CH-002	357442	8529722	490
CH-003	357481	8529720	474
CH-004	357493	8529723	453
CH-005	357508	8529748	451
CH-006	357514	8529731	466
CH-007	357538	8529761	457
CH-008	357547	8529762	461
CH-009	357561	8529769	454
CH-010	357569	8529790	453

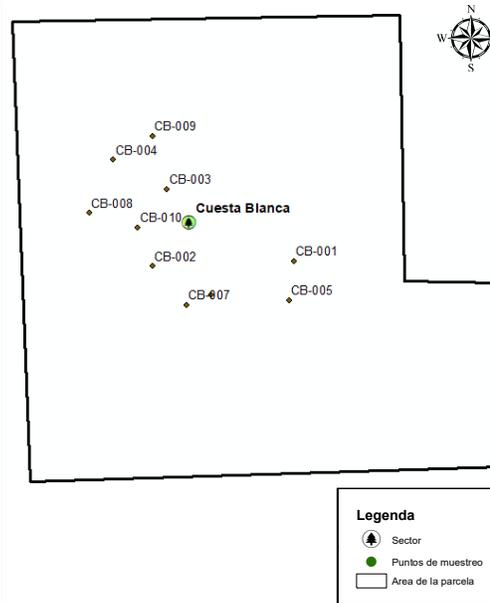
Observaciones:

1. El tipo de suelo característico de un suelo arcilloso
2. Se realizaron practicas de enmienda con roca fosforica y dolomita durante 3 años desde la instalacion del cultivo
3. El terreno pesento una pendiente considerable >4
4. El cultivo de cacao se encontro conjunto a unos cuantytos plantones de coca, prevaleciendo antiguamente dicho cultivo.

DATOS DE MUESTREO
"CUESTA BLANCA"

Datos de la parcela de estudio

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	San Gabán
Sector	:	Cuesta Blanca
Nombre del propietario	:	Emilia Narizo Poccohuanca
Cultivo	Especie	: Theobroma cacao L.)
	Variedad	: CCN-51
	Edad	: 4 Años
	Sistema de Plantación	: Tresbolillo
Extensión	:	1 Ha
Fecha de muestreo	:	27/04/2021



Datos de los puntos de muestreo

Descripción	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
CH-001	358890	8527621	413
CH-002	358861	8527620	411
CH-003	358864	8527636	415
CH-004	358853	8527642	416
CH-005	358889	8527613	413
CH-006	358873	8527614	411
CH-007	358868	8527612	408
CH-008	358848	8527631	407
CH-009	358861	8527647	409
CH-010	358858	8527628	410

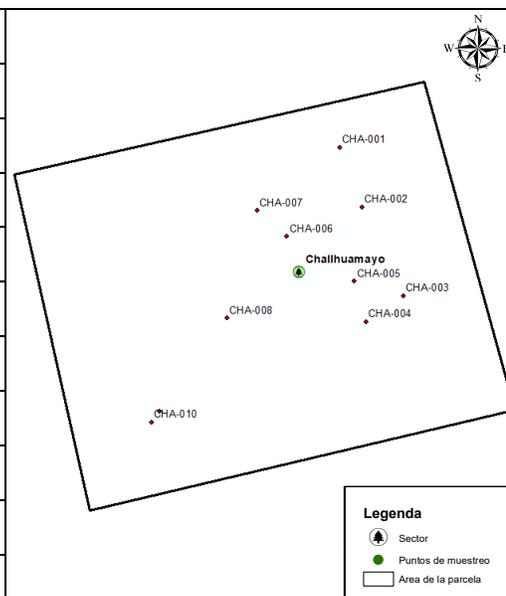
Observaciones:

1. El tipo de suelo característico de un suelo franco limoso
2. Se realizaron practicas de enmienda con roca fosfórica y dolomita durante 3 años desde la instalacion del cultivo
- 3.El terreno presento una pendiente plana
- 4.La parcela presento buenas condiciones de manejo frente al dehierva, y manejo de enfermedades.

DATOS DE MUESTREO "CHALLHUAMAYO"

Datos de la parcela de estudio

Departamento	:	Puno
Provincia	:	Carabaya
Distrito	:	San Gaban
Sector	:	Challhuamayo
Nombre del propietario	:	Valeriano Jaimito Castillo Pacco
Cultivo	Especie	: Theobroma cacao L.)
	Variedad	: CCN-51
	Edad	: 4 Años
	Sistema de Plantación	: Tresbolillo
Extensión	:	1 Ha
Fecha de muestreo	:	28/04/2021



Datos de los puntos de muestreo

Descripción	Coordenadas UTM		
	X	Y	Z
CH-001	353716	8522805	448
CH-002	353722	8522789	450
CH-003	353733	8522765	446
CH-004	353723	8522758	444
CH-005	353720	8522769	451
CH-006	353702	8522781	460
CH-007	353694	8522788	459
CH-008	353686	8522759	466
CH-009	353668	8522734	470
CH-010	353666	8522731	484

Observaciones:

1. El tipo de suelo característico de un suelo arcilloso
2. Se realizaron practicas de enmienda con roca fosforica y dolomita durante 3 años desde la instalacion del cultivo
- 3.El terreno pesento una pendiente considerable >4
- 4.La parcela requiere la aplicacion de un manejo Integrado de Cultivo en cuanto al control de ataque de insectos, fertilizacion y deshierve.

ANEXO 3

Resumen de ensayo sobre análisis de suelo de las parcelas de estudio

Tabla 15

Resumen de los parámetros de suelos de importancia por parcela

Sector	Cd mg/kg	Ph	C.E. mS/cm	C.I.C cmol/kg	Ca cmol/kg	K cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	P mg/kg	Al mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Chaquimayo	0.04	4.83	0.05	82.60	0.69	2.93	35.81	0.083	286.27	1508.00	15.20	>10000	118.80	7.21	19.83	13.42
Boca San gaban	0.04	4.53	0.10	145.10	0.68	3.80	26.97	0.027	185.99	749.00	12.10	5987.00	87.40	3.90	20.26	21.97
El carmen	0.07	4.56	0.07	473.00	0.85	0.86	11.10	0.017	93.59	727.00	4.40	3511.00	207.30	2.17	15.18	8.29
Cuesta Blanca	0.03	4.57	0.07	96.50	0.68	3.50	15.38	0.036	300.98	1159.00	5.60	4793.00	63.00	3.18	16.44	15.66
Challhuamayo	0.05	4.64	0.04	284.00	0.51	1.96	5.02	0.098	111.90	852.00	9.20	6625.00	11.60	1.72	16.64	4.32

ANEXO 4

Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Chaquimayo

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00014

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

- *7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- *7023 Determinación de pH 1:2 potenciométrica en suelos
- *7024 Determinación de conductividad eléctrica 1:2 en suelos y sedimentos
- *7030 Método de Ensayo para Capacidad de intercambio catiónico en suelos (C.I.C.)
- *7031 Método de ensayo para Nitratos Extracción selectiva - Fotometría en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM	Este / Norte		
SD21000015	CHAQUIMAYO	SECTOR CHAQUIMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	X:0346022	Y:8516049	Z:679	24/04/21 9:00 a. m.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de conformidad con ISO 9001:2015. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar V. Juárez Soto
Gerente de Operaciones

M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

NH-18 N° 1837

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00014

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT												
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg												
SD21000015	CHAQUIMAYO	<0,13	1508	5,79	<4,0	89,4	0,31	<0,5	138,6	0,044	3,84	18,61	15,2	>10 000	<0,40	<0,08	<0,10	1 145	18,5	4 355	118,8	1,69	19,2


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1836

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00014

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7023		*7024		*7030	*7031
		Ni MT mg/Kg	P MT mg/Kg	Pb MT mg/Kg	Sb MT mg/Kg	Se MT mg/Kg	Sn MT mg/Kg	Sr MT mg/Kg	Te MT mg/Kg	Ti MT mg/Kg	Tl MT mg/Kg	V MT mg/Kg	Zn MT mg/Kg	pH	Temp. De Lect. C	CE mS/cm	Temp. De Lect. C	CIC meq/g	NO3 ⁻ mg/Kg
SD21000015	CHAQUIMAYO	7,21	266,27	19,83	<0,16	<0,16	<4	6,04	<0,20	65,21	0,26	18,91	13,42	4,83	17,8	0,048	17,8	0,826	43,9


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1835

ANEXO 5

Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Boca San Gabán

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00015

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

- *7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- *7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- *7024 Determinación de conductividad eléctrica 1:2 en suelos y sedimentos
- *7030 Método de Ensayo para Capacidad de intercambio catiónico en suelos (C.I.C.)
- *7031 Método de ensayo para Nitratos Extracción selectiva - Fotometría en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM / Norte	Este		
SD21000016	BOCA SAN GABAN	BOCA SAN GABAN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	X:0359966	Y:8517228 Z:471	25/04/21	11:30 a. m.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la empresa que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Yeni Ester Calla Roque
Gerente de Operaciones

M. Sc. Ingeniero Químico CIP 111426

NH-18 N° 1834

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00015

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
		MT																					
		mg/Kg																					
SD21000016	BOCA SAN GABAN	<0,13	749	3,26	<4,0	55,9	0,18	<0,5	135,7	0,035	1,57	12,95	12,1	5 987	<0,40	0,09	<0,10	1485	13,2	3 280	87,4	0,72	6,2


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1833

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

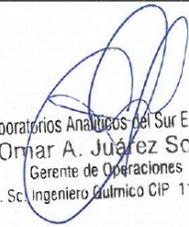
INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00015

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7023		*7024		*7030	*7031
		Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Ti	V	Zn	pH	Temp. De Lect.	CE	Temp. De Lect.	CIC	NO3 ⁻
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	C	mS/cm	C	meq/g	mg/Kg
SD21000016	BOCA SAN GABAN	3,90	185,89	20,26	<0,16	<0,16	<4	6,15	<0,20	433,33	0,33	20,09	21,97	4,53	17,9	0,097	17,9	1,451	64,5


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1832

ANEXO 6

Informe de ensayo sobre análisis de suelo - El Carmen

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00016

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

- *7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- *7023 Determinación de pH 1:2 potenciometría en suelos
- *7024 Determinación de conductividad eléctrica 1:2 en suelos y sedimentos
- *7030 Método de Ensayo para Capacidad de intercambio catiónico en suelos (C.I.C.)
- *7031 Método de ensayo para Nitratos Extracción selectiva - Fotometría en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo
			Coordenadas UTM / Norte	Este		
SD21000017	EL CARMEN	EL CARMEN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	X:0357547 Y:8529761 Z:461		26/04/21	10:00 a. m

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
M.Sc. Ingeniero Químico CIP 117420

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de conformidad con las normas ISO 9001:2015.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1831

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00016

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7002	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7022	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
		MT																					
		mg/Kg																					
SD21000017	EL CARMEN	≤0,13	727	0,67	≤4,0	44,5	≤0,16	≤0,5	170,6	0,066	1,78	6,20	4,4	3 511	≤0,40	≤0,08	≤0,10	338	≤0,8	1 350	207,3	≤0,16	≤4,0


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1830

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00016

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7023		*7024		*7030	*7031
		Ni MT mg/Kg	P MT mg/Kg	Pb MT mg/Kg	Sb MT mg/Kg	Se MT mg/Kg	Sn MT mg/Kg	Sr MT mg/Kg	Te MT mg/Kg	Ti MT mg/Kg	TI MT mg/Kg	V MT mg/Kg	Zn MT mg/Kg	pH	Temp. De Lect. C	CE mS/cm	Temp. De Lect. C	CIC meq/g	NO3 ⁻ mg/Kg	
SD21000017	EL CARMEN	2,17	93,59	15,18	<0,16	<0,16	<4	5,32	<0,20	18,75	<0,16	10,01	8,29	4,56	18,0	0,070	18,0	4,73	51,0	


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1829

ANEXO 7

Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Cuesta Blanca

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00017

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

- *7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- *7023 Determinación de pH 1:2 potencimetría en suelos
- *7024 Determinación de conductividad eléctrica 1:2 en suelos y sedimentos
- *7030 Método de Ensayo para Capacidad de intercambio catiónico en suelos (C.I.C.)
- *7031 Método de ensayo para Nitratos Extracción selectiva - Fotometría en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo	
			Coordenadas UTM / Norte	Este			
SD21000018	CUESTA BLANCA	CUESTA BLANCA / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	X:0358889	Y:8527613	Z:413	27/04/21	11:00 a. m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la empresa que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1828

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00017

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Ag MT mg/Kg	*7003 Al MT mg/Kg	*7002 As MT mg/Kg	*7003 B MT mg/Kg	*7003 Ba MT mg/Kg	*7003 Be MT mg/Kg	*7003 Bi MT mg/Kg	*7003 Ca MT mg/Kg	*7003 Cd MT mg/Kg	*7003 Co MT mg/Kg	*7003 Cr MT mg/Kg	*7003 Cu MT mg/Kg	*7003 Fe MT mg/Kg	*7003 Ga MT mg/Kg	*7022 Hg MT mg/Kg	*7003 In MT mg/Kg	*7003 K MT mg/Kg	*7003 Li MT mg/Kg	*7003 Mg MT mg/Kg	*7003 Mn MT mg/Kg	*7003 Mo MT mg/Kg	*7003 Na MT mg/Kg
SD21000018	CUESTA BLANCA	<0,13	1 159	3,34	<4,0	39,3	0,42	<0,5	135,5	0,030	1,05	9,29	5,6	4 793	<0,40	0,10	<0,10	1369	34,6	1 870	63,0	0,59	8,2


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1827

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00017

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7023		*7024		*7030	*7031
		Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	Zn	pH	Temp. De Lect.	CE	Temp. De Lect.	CIC	NO3 ⁻
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT		C	mS/cm	C	meq/g	mg/Kg
SD21000018	CUESTA BLANCA	3,18	300,98	16,44	≤0,16	≤0,16	≤4	7,17	≤0,20	366,37	0,35	14,54	15,66	4,57	19,0	0,068	19,0	0,965	63,4


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1826

ANEXO 8

Informe de ensayo sobre análisis de suelo - Challhuamayo

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00018

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Método de ensayo aplicado

- *7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -OES, Revisión 4.4.
- *7023 Determinación de pH 1:2 potencimetría en suelos
- *7024 Determinación de conductividad eléctrica 1:2 en suelos y sedimentos
- *7030 Método de Ensayo para Capacidad de intercambio catiónico en suelos (C.I.C.)
- *7031 Método de ensayo para Nitratos Extracción selectiva - Fotometría en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD21000019	CHALLHUAMAYO	CHALLHUAMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	X:0353725 Y:85227572 Z:450	28/04/21	10:00 a. m.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniería Química CIP-114426

NH-18 N° 1825

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00018

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 2/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 Ag MT mg/Kg	*7003 Al MT mg/Kg	*7002 As MT mg/Kg	*7003 B MT mg/Kg	*7003 Ba MT mg/Kg	*7003 Be MT mg/Kg	*7003 Bi MT mg/Kg	*7003 Ca MT mg/Kg	*7003 Cd MT mg/Kg	*7003 Co MT mg/Kg	*7003 Cr MT mg/Kg	*7003 Cu MT mg/Kg	*7003 Fe MT mg/Kg	*7003 Ga MT mg/Kg	*7022 Hg MT mg/Kg	*7003 In MT mg/Kg	*7003 K MT mg/Kg	*7003 Li MT mg/Kg	*7003 Mg MT mg/Kg	*7003 Mn MT mg/Kg	*7003 Mo MT mg/Kg	*7003 Na MT mg/Kg
SD21000019	CHALLHUAMAYO	<0,13	852	5,65	<4,0	52,1	<0,16	<0,5	102,6	0,049	0,31	14,54	9,2	6 625	<0,40	<0,08	<0,10	767	8,5	610,0	11,6	4,55	22,5


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1824

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00018

Hoja de resultados

6/05/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7003	*7023		*7024		*7030	*7031
		Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	Zn	pH	Temp. De Lect.	CE	Temp. De Lect.	CIC	NO ₃ ⁻
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT		C	mS/cm	C	meq/g	mg/Kg
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg						
SD21000019	CHALLHUAMAYO	1,72	111,90	16,64	≤0,16	≤0,16	≤4	4,02	≤0,20	39,66	0,56	21,28	4,32	4,64	18,2	0,036	18,2	2,84	38,8


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
Soc. Ingeniero Químico CIP 114426

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1823

ANEXO 9

Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Chaquimayo



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00022

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Raíces
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000034	CHAQUIMAYO	SECTOR CHAQUIMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	24/04/21	9:00:00	0,196


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**«Valor numérico»=Limite de detección del método, "«Valor Numérico»=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

ANEXO 10

Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Boca San Gabán



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00023

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Raíces
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000035	BOCA SAN GABAN	BOCA SAN GABAN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	25/04/21	11:30:00	0,259

(Handwritten signature)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*Valor numérico"=Límite de detección del método, "h-Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 11

Informe de ensayo sobre análisis de raíces - El Carmen



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00024

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Raíces
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000036	EL CARMEN	EL CARMEN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	26/04/21	10:00:00	0,403


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**«Valor numérico»=Limite de detección del método, «*Valor Numérico»=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 12

Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Cuesta Blanca.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00025

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Raíces
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Método de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000037	CUESTA BLANCA	CUESTA BLANCA / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	27/04/21	11:00:00	0,162


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

[*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 13

Informe de ensayo sobre análisis de raíces - Challhuamayo.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00026

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Raíces
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000038	CHALLHUAMAYO	CHALLHUAMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	28/04/21	10:00:00	0,181


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*<Valor numérico">=Limite de detección del método, "=<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 Cerro Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

ANEXO 14

Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Chaquimayo



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00012

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Hojas
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000025	CHAQUIMAYO	SECTOR CHAQUIMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	24/04/21	9:00:00	1,205


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*Valor numérico"=Limite de detección del método, "Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

ESLI terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o modificación en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 15

Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Boca San Gaban



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00013

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Hojas
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Método de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000026	BOCA SAN GABAN	BOCA SAN GABAN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	26/04/21	11:30:00	0,370


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

***Valor numérico**=Limite de detección del método, **=Valor Numérico**=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 16

Informe de ensayo sobre análisis de hojas - El Carmen



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00014

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
Producto(s) Declarado(s): Hojas
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000027	EL CARMEN	EL CARMEN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	26/04/21	10:00:00	1,225


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*Valor numérico"=Límite de detección del método, "◀Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 17

Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Cuesta Blanca



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00015

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Cerabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Hojas
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000028	CUESTA BLANCA	CUESTA BLANCA / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	27/04/21	11:00:00	0,206


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*Valor numérico"=Límite de detección del método, "k-Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 18

Informe de ensayo sobre análisis de hojas - Challhuamayo



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00016

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Hojas
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000029	CHALLHUAMAYO	CHALLHUAMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	28/04/21	10:00:00	0,453


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"*-Valor numérico"-Límite de detección del método, "h-Valor Numérico"-Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 19

Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Chaquimayo



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00017

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Gabán, Carabaya, Puno
Producto(s) Declarado(s): Almendras
Nro de muestras: 1
Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
Registro de muestreo: 008-21
Fecha de recepción: 30/04/2021
Fecha de ensayo: 30/04/2021
Fecha de emisión: 6/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000030	CHAQUIMAYO	SECTOR CHAQUIMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	24/04/21	9:00:00	0,549


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 20

Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Boca San Gabán



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00018

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Almendras
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000031	BOCA SAN GABAN	BOCA SAN GABAN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	25/04/21	11:30:00	0,193


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o modificación en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

ANEXO 21

Informe de ensayo sobre análisis de almendras - El Carmen



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00019

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Almendras
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000032	EL CARMEN	EL CARMEN / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	26/04/21	10:00:00	0,393


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**«Valor numérico»=Limite de detección del método, «*Valor Numérico»=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 22

Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Cuesta Blanca



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00020

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: *Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (Theobroma cacao L.) en San Gabán, Carabaya, Puno*
 Producto(s) Declarado(s): Almendras
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Metodo de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000033	CUESTA BLANCA	CUESTA BLANCA / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	27/04/21	11:00:00	0,193


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIF 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**<Valor numérico>=Limite de detección del método, **<Valor Numérico>=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 23

Informe de ensayo sobre análisis de almendras - Challhuamayo



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AL-21-00021

Pág: 1/1

Señores: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Dirección: AV. CIRCUNVALACION N° 2307 - JULIACA - PUNO
 Atención: YENI ESTER CALLA ROQUE
 Proyecto: Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los tejidos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Gabán, Carabaya, Puno
 Producto(s) Declarado(s): Almendras
 Nro de muestras: 1
 Muestreo a cargo de(l): YENI ESTER CALLA ROQUE
 Registro de muestreo: 008-21
 Fecha de recepción: 30/04/2021
 Fecha de ensayo: 30/04/2021
 Fecha de emisión: 6/05/2021
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones : -----

Método de ensayo aplicado

*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*5090 Cd ppm
AL21000039	CHALLHUAMAYO	CHALLHUAMAYO / SAN GABAN / CARABAYA / PUNO	28/04/21	10:00:00	0,297

(Firma manuscrita)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

6

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

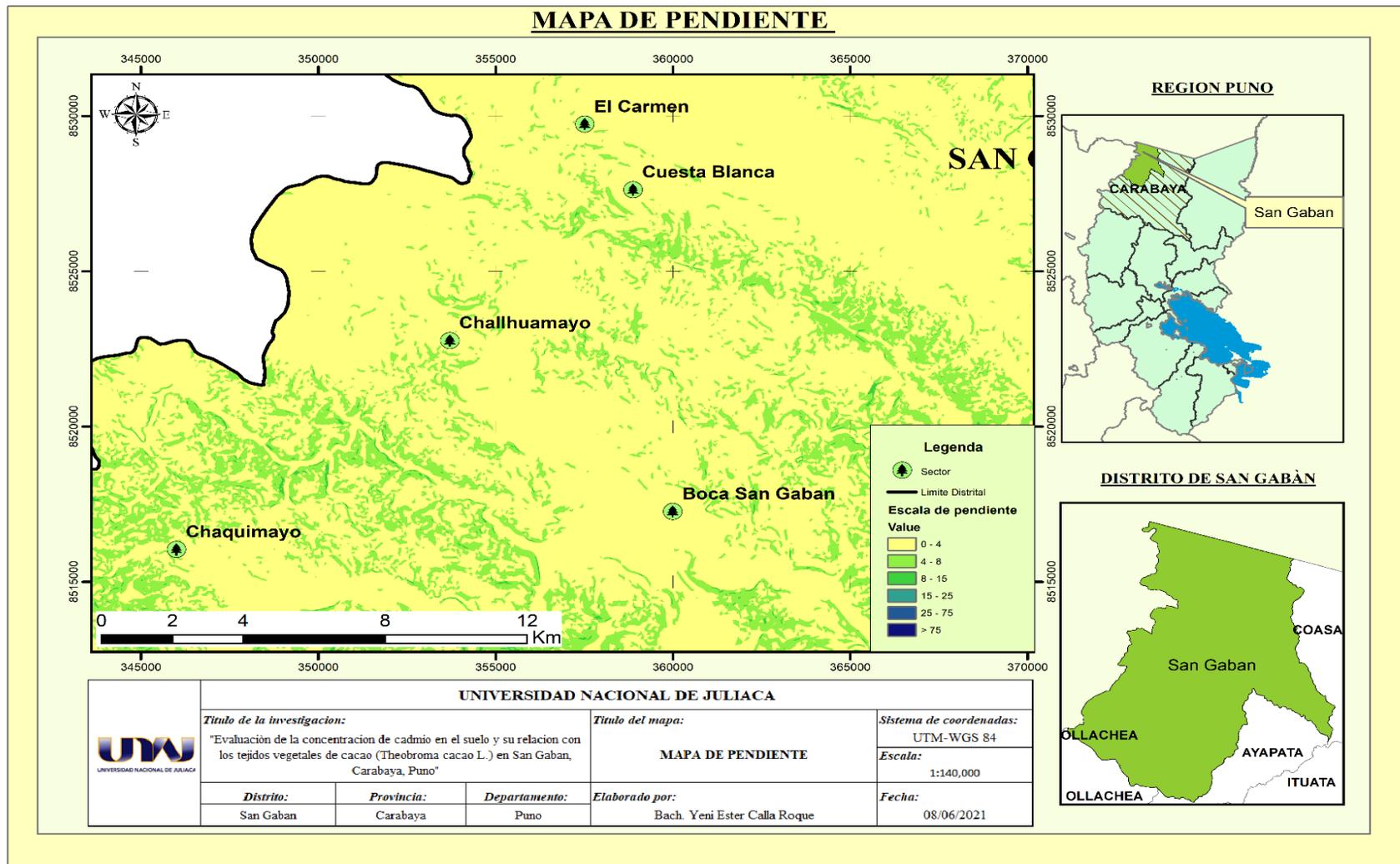
**«Valor numérico»=Límite de detección del método, «Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

ANEXO 24

Mapa de pendiente de las parcelas de estudio



UWA