

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS SUELOS DEDICADOS A LA
PRODUCCIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) Y SU BIO
ABSORCIÓN AL GRANO EN LAS PROVINCIAS DE JAÉN Y SAN
IGNACIO - CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Sc. MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

Cajamarca, Perú

2025



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

Marieta Eliana Cervantes Peralta

DNI: 29425048

Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Doctorado en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales.

2. Asesor: Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia

3. Grado académico o título profesional

Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

Concentración de cadmio en los suelos dedicados a la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) y su bio absorción al grano en las provincias de Jaén y San Ignacio - Cajamarca

6. Fecha de evaluación: **17/12/2025**

7. Software antiplagio: **X TURNITIN** URKUND (OURIGINAL) (*)

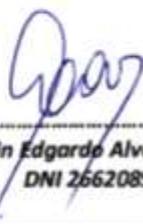
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **10%**

9. Código Documento: **3447168287**

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

X APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **22/12/2025**


Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
DNI 26620894

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las **12:10** horas, del día 05 de noviembre del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL, Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ, Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO y en calidad de Asesor, el Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS SUELOS DEDICADOS A LA PRODUCCIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y SU BIO ABSORCIÓN AL GRANO EN LAS PROVINCIAS DE JAÉN Y SAN IGNACIO - CAJAMARCA**; presentada por la Magister Scientiae en Innovación Agraria para el Desarrollo Rural **MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR POR UNANIMIDAD** con la calificación de **.....DIEZOSHO.18.)**..... la mencionada Tesis; en tal virtud, la Magister Scientiae en Innovación Agraria para el Desarrollo Rural **MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Siendo las **13:20** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor

.....

Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

.....

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

.....

Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, quien guía mis pasos en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres Alberto por su apoyo en mi formación profesional y Corina por su enseñanza de vida, ser mi inspiración y fortaleza; a mis hermanos Inés, Jorge, Manuel y Milagros, mi hermosa familia por siempre estar conmigo.

A mi esposo William, mis hijas Carolina y Cristina por apoyarme en todo proyecto emprendido, brindarme ese inmenso amor y ser el motor para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A mi hermosa familia padres, hijas, esposo, hermanos, tíos(as), primos(as), suegros, cuñados(as) y todos los que me rodean por creer en mí, apoyarme en todo momento y sobre todo las expresiones de cariño que me brindan.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, los docentes y mis compañeros de estudios por las enseñanzas impartidas y en especial a mi asesor Dr. Edin Alva Plasencia por su apoyo constante.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria por los conocimientos adquiridos, experiencia y por apoyarme en la ejecución de mi tesis; a mis compañeros de trabajo que fueron parte de la ejecución de mi trabajo.

Al Gobierno Regional de Cajamarca en especial al Ing. Juan Carlos Mondragón por su apoyo, las agencias agrarias y los productores de cacao de las provincias de Jaén y San Ignacio por brindarme la información y facilidades para el trabajo y sobre todo por la fuerza y coraje con la que luchan todos los días para sacar adelante a su familia y al país.

EPÍGRAFE

“No puedes construir un mundo pacífico sobre estómagos vacíos y miseria humana”.

Norman E. Borlaug Agrónomo, Premio Nobel de la Paz

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
EPÍGRAFE	vii
INDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Bases teóricas.....	14
2.3. Definición de términos.....	24
CAPÍTULO III	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Localización del estudio.....	26
3.2. Características de la zona de Jaén y San Ignacio.....	27
3.3. Tipo de Investigación	29
3.4. Población y muestra	29
3.5. Materiales y equipos utilizados.....	30
3.6. Metodología	31
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	36
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Determinación de fertilidad y concentración de cadmio en los suelos de Jaén y San Ignacio	38
4.2. Evaluación de contenido de cadmio en suelos	43
4.3. Concentración de cadmio en granos de cacao	44

4.4. Comparación de concentración de cadmio con Normatividad.....	45
4.5. Evaluación estadística	47
Prueba de significación de Tukey (Cd en granos)	59
CAPÍTULO V	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
CAPÍTULO VI.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CAPÍTULO VII	68
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Métodos de análisis de suelos	33
Tabla 2 Métodos de ensayo para análisis de granos de cacao	34
Tabla 3 Clasificación de Suelos según el valor de pH	35
Tabla 4 Interpretación de la materia orgánica en suelos	35
Tabla 5 Interpretación de suelos por concentración de fósforo disponible	36
Tabla 6 Interpretación de suelos por concentración de potasio disponible	36
Tabla 7 Determinación de fertilidad de los suelos por comunidad en promedio	38
Tabla 8 Contenido de cadmio en el suelo	43
Tabla 9 Contenido de cadmio en los granos de cacao	44
Tabla 10 Análisis de correlación y regresión para el pH del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao	47
Tabla 11 Análisis de ANOVA y prueba de TUKEY para la correlación de pH y el cadmio contenido en el suelo	48
Tabla 12 Análisis de ANOVA y prueba de Tukey para la correlación de PH y concentración de Cadmio en los granos de cacao	49
Tabla 13 Prueba de significación de Tukey y cadmio en granos de cacao	49
Tabla 14 Análisis de correlación y regresión para la materia orgánica del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao	50
Tabla 15 Análisis de correlación y regresión para el fósforo disponible del suelo y el cadmio	51
Tabla 16 Análisis de correlación y regresión para el potasio del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao	52

Tabla 17 Análisis de correlación y regresión para el cadmio contenido en el suelo con el cadmio contenido en el cacao.....	54
Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA) para el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio.....	55
Tabla 19 Concentración de cadmio en los suelos de los distritos de Jaén y San Ignacio ...	56
Tabla 20 Análisis de varianza (ANOVA) para el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio.....	57
Tabla 21 Prueba de Duncan para el contenido de cadmio en los granos de cacao en los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio y los puntos de muestreo	26
Figura 2 pH de suelo en las zonas productoras de cacao en Jaén y San Ignacio	39
Figura 3 Contenido de materia orgánica en los suelos por localidad	40
Figura 4 Contenido de fósforo disponible en suelos.....	41
Figura 5 Contenido de potasio disponible en suelos.....	42
Figura 6 Concentración de cadmio en el suelo por localidad.....	45
Figura 7 Concentración de cadmio (mg kg ⁻¹) en suelos por localidad	46
Figura 8 Relación entre pH y cadmio contenido en el grano de cacao	47
Figura 9 Relación entre la materia orgánica y el cadmio contenido en los granos de cacao	50
Figura 10 Relación entre el fósforo disponible en suelos y el cadmio contenido en los granos de cacao.....	51
Figura 11 Relación entre el potasio disponible y el cadmio contenido en los granos de cacao.....	53
Figura 12 Relación entre el cadmio contenido en el suelo con el cadmio en el cacao	54
Figura 13 Medias del cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio	56
Figura 14 Concentración de cadmio en los granos de cacao en los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio.....	58

RESUMEN

El Perú está considerado como el octavo productor de cacao a nivel mundial; sin embargo, el control que se tiene actualmente con la presencia de metales pesados en productos derivados del cacao para exportación a la Unión Europea, ha incentivado desarrollar el presente estudio que tiene como objetivo determinar la presencia de cadmio en suelos y en granos de cacao en zonas productoras de las provincias de Jaén y San Ignacio en la Región de Cajamarca, el año 2023; para lo cual, se ha realizado la evaluación en muestras de suelo y granos de cacao mediante métodos EPA utilizando un espectrofotómetro de emisión atómica MP AES, realizados en el Laboratorio de Suelos, aguas, abonos y foliares de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca – INIA y comparación de concentraciones de cadmio de suelos con el ECA del D.S. N° 011-2017. Los granos de cacao comparado con el NTP ISO 2451:2018 y el Reglamento (UE) N° 488/2014. Se concluyó que la presencia de cadmio en suelos no supera el ECA nacional. Para el caso de los granos de los 95 puntos muestreados 11 superaron el Reglamento de la UE y un caso superó la NTP -ISO 2451:2018; estando localizados los puntos en San José de Lourdes y La Cordillera en la provincia de San Ignacio y en Shumba Bajo en la provincia de Jaén.

Palabras Clave: Cadmio, *Theobroma cacao L.*, bioadsorción, suelo, grano de cacao, cadmio

ABSTRACT

Peru is considered the eighth largest cocoa producer in the world; however, current controls on the presence of heavy metals in cocoa products exported to the European Union have prompted this study, which aims to determine the presence of cadmium in soils and cocoa beans in the producing areas of the provinces of Jaén and San Ignacio, in the Cajamarca region, in 2023. To this end, soil and cocoa bean samples were evaluated using EPA methods with an MP AES atomic emission spectrophotometer, carried out at the Soil, Water, Fertilizer, and Foliar Laboratory of the Baños del Inca Agricultural Experimental Station - INIA, and the cadmium concentrations in the soils were compared with the ECA of D.S. No. 011-2017. The cocoa beans were compared with NTP ISO 2451:2018 and Regulation (EU) No. 488/2014. It was concluded that the presence of cadmium in the soil does not exceed the national ECA. In the case of beans from the 95 sampling points, 11 exceeded the EU Regulation and one case exceeded NTP-ISO 2451:2018; the points were located in San José de Lourdes and La Cordillera, in the province of San Ignacio, and in Shumba Bajo, in the province of Jaén.

Keywords: Cadmium, *Theobroma cacao* L., bioadsorption, soil, cocoa bean, cadmium

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La degradación del medio ambiente y los riesgos a la salud son temas de preocupación para los diferentes sectores como son social, económico, institucional y ambiental; lo que ha llevado a plantear temas normativos con la finalidad de controlar y mitigar el impacto de las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales. El suelo es una parte importante en el ecosistema por las funciones que cumple como proveedor de alimentos, hábitat de flora y fauna y equilibrio ecológico.

La presencia de metales pesados, dentro de ellos el cadmio, zinc y plomo en los suelos; debido a la composición de las rocas que dan origen a los suelos ó por actividades antropogénicas que afectan la calidad de estos como son la minería, industria, residuos domésticos, agricultura entre otros.

Según Shahid et al. (2017) el cadmio es absorbido por las plantas a través del transporte mediante procesos específicos y no específicos utilizados para iones, tales como Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} y Mg^{2+} . Después de la absorción por el sistema radicular el Cd^{2+} se transporta al xilema, se mueve a las hojas y luego llega a la fruta a través del floema. En general, la concentración de cadmio en el tejido de la planta disminuye a partir de las raíces le siguen los tallos, las hojas, cáscaras de mazorcas, cáscaras de granos y, finalmente, los granos en sí. Varios factores pueden afectar el proceso de absorción y repartición del cadmio en las plantas de cacao, como la edad del árbol o la nutrición de la planta. Particularmente interesante es la variabilidad en la absorción de cadmio a través de diferentes genotipos de cacao, lo que abre la posibilidad de identificar variedades de cacao de baja bio acumulación. Desde su descubrimiento, el cadmio (Cd) ha desempeñado un papel importante en la

industria y ha aportado ciertas ventajas a la humanidad, utilizado para la galvanoplastia y la fabricación de baterías recargables, etc. El Cd también es un contaminante nocivo, que entrará en la cadena alimentaria y causará daño a los tejidos y órganos humanos. Los alimentos son la principal fuente de Cd en el cuerpo humano, por lo que se han estudiado diversas tecnologías para eliminar el Cd de los alimentos. Estas tecnologías se basan sobre el mecanismo de unión entre el Cd y las proteínas y analiza los métodos de eliminación de cadmio de los alimentos desde la perspectiva de la combinación de cadmio y proteína, que proporciona información para garantizar la seguridad alimentaria y reducir el daño de metales pesados al cuerpo humano. (Wang et al., 2023, p. 5).

La Unión Europea emitió el reglamento N° 488/2014 el cual expresa que a partir del 1 de enero del 2019 los países exportadores de cacao deben cumplir con nuevos límites máximos permisibles de cadmio ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$) para el chocolate y productos derivados del cacao y exhorta a los países productores a tomar las medidas sanitarias necesarias con el fin de adecuar los suelos destinados a cultivos de cacao, teniendo en cuenta que cualquier valor por encima de este índice impedirá a los productos su ingreso al mercado europeo. (Unión Europea, 2014, pp. 75–79).

En su Boletín Trimestral de Estadísticas del Cacao, la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2021) estima que la producción total a nivel mundial se ha incrementado ligeramente en casi 1% durante la campaña 2019/20, pues de 4 697 miles de toneladas creció a 4 726 miles de toneladas. A ese respecto, los ajustes correspondieron, principalmente, a Perú (incremento de 28 mil toneladas), Costa de Marfil (aumento de 5 mil toneladas) y Papúa Nueva Guinea (descendió 4 mil toneladas).

Para la campaña 2020/21, se prevé que la producción mundial de cacao aumente en 2,5%, es decir, se situaría en 4 843 mil toneladas, en virtud de que se presentarían mejores condiciones climatológicas en las principales regiones productoras, tales como África, que incrementaría en 3% y se situaría en 3,684 millones de toneladas; asimismo, Asia y Oceanía crecerían en 2%, esto es, se elevaría a 278 mil toneladas. En cambio, es previsible que la producción de las Américas disminuya ligeramente en 1%, vale decir, a 881 miles de toneladas. (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020).

Según la Dirección General de Promoción Agraria – MIDAGRI (2021) la producción mundial de cacao en la campaña 2020/2021 está encabezada por Costa de Marfil con 2150 Mt, y el Perú ocupa el octavo lugar con una producción de 150 Mt; a nivel de Latinoamérica ocupamos el tercer lugar después de Ecuador y Brasil. Así mismo, indica que la tendencia de producción de grano de cacao en el Perú ha ido en tendencia creciente desde el 2010 al 2020 pasando de 46 613 a 151 622 t año⁻¹. Las estadísticas nos muestran la importancia del cultivo de cacao en Cajamarca y su impacto en la producción nacional.

Gran parte del cacao producido en América Latina y el Caribe proviene de pequeños agricultores cuyos medios de vida son particularmente vulnerables a las nuevas regulaciones. Muchos están involucrados en la producción de cacao de sabor fino de aroma que se usa comúnmente para productos con alto contenido de cacao y en productos de nicho de origen único, siendo el principal mercado Europa. Existe una necesidad apremiante de encontrar soluciones a corto, mediano y largo plazo para mitigar el problema. (Meter et al., 2019, pp. 2–3).

La problemática del cadmio en los cultivos de cacao es compleja y requiere de un enfoque multidisciplinario para encontrar soluciones efectivas. Es fundamental trabajar en conjunto con los productores, investigadores, gobiernos y organizaciones internacionales para garantizar la sostenibilidad de la producción de cacao y proteger la salud de los consumidores.

El presente trabajo consideró importante identificar las zonas de producción de cacao en la región Cajamarca, determinando su composición fisicoquímica, con énfasis en la concentración de cadmio y evaluar utilizando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos que establece el MINAM a través del Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM; así mismo, se hace necesario medir la concentración de cadmio en el producto final comparando con las Normas Técnicas Peruanas establecida por el INDECOPI y las normativas de control Europeas.

El objetivo general del trabajo de investigación es evaluar la concentración de cadmio en los suelos dedicados a la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) y su bio absorción al grano en las provincias de Jaén y San Ignacio – Cajamarca. Para lograr esta meta se plantearon los siguientes objetivos específicos (i) Evaluar la fertilidad de los suelos de la zona cacaotera de las provincias de Jaén y San Ignacio-Cajamarca y su correlación con la concentración de cadmio; (ii) Determinar la concentración de cadmio en el suelo en las zonas productoras de cacao en las provincias de Jaén y San Ignacio – Cajamarca; (iii) Determinar de concentración de cadmio en los granos de cacao en las zonas evaluadas; (iv) Comparación de la concentración de cadmio en suelo y grano de cacao en función al ECA suelos D.S. 011-2017-MINAM, las NTP ISO 2451:2018 y el reglamento No.488/2014 de la U.E. respectivamente

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Argüello et al. (2019) en la investigación “Propiedades del suelo y factores agronómicos que afectan las concentraciones de cadmio en los granos de cacao: una encuesta a nivel nacional en Ecuador” que tuvieron como objetivo identificar la distribución espacial de Cd en granos de cacao, así como las propiedades del suelo y las condiciones agronómicas; para ello se recolectaron muestras emparejadas de suelo y plantas (vainas y hojas) en 560 puntos, así como una encuesta a agricultores para recabar información sobre prácticas agronómicas; obteniendo como resultado en el suelo un promedio de $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que es típico para suelos jóvenes y no contaminados, la concentración promedio de Cd en los frijoles pelados fue $0,90 \text{ mg kg}^{-1}$ y el 45 % de las muestras excedieron el umbral de $0,60 \text{ mg kg}^{-1}$, ubicados en algunas localidades específicas en siete provincias; el análisis de regresión multivariado mostró que las concentraciones de Cd en frijol aumentaron con el aumento del Cd total del suelo y con la disminución del pH del suelo, lo que demuestra que la solubilidad del cadmio afecta directamente la absorción; la concentración de Cd en frijol disminuyó en un factor de 1,4 a medida que la edad del huerto aumentó de 4 a 40 años; la variedad y la aplicación de fertilizantes no afecta directamente el contenido de cadmio y se recomienda prácticas como el encalado y el abonamiento orgánico.

Herrera (2011) en el estudio “La contaminación con cadmio en suelos agrícolas” desarrollado en Venezuela determina que el cadmio es un metal pesado que se ha asociado a varios graves problemas de salud humana. La existencia en suelos

agrícolas de niveles crecientes del metal genera gran preocupación ambiental debido a su movilidad y a la facilidad con que es absorbido por las plantas; para ello se realizó una revisión sistemática sobre el origen del cadmio en el suelo y los factores de suelo y planta que influyen en su absorción por los cultivos; concluyendo que la contaminación con el metal ya no es un problema localizado en las inmediaciones de minas de plomo y zinc, o alrededor de algunas instalaciones industriales, sino que está presente en productos de consumo generalizado. Tampoco es un problema sólo de suelos contaminados, porque en suelos con un nivel de cadmio que podría considerarse dentro de límites normales, algunas plantas pueden concentrar el elemento y llegar a tener niveles mucho mayores que las del suelo, por lo que se requiere un mayor control de las concentraciones de cadmio en los alimentos.

Florida (2022), realizó una “Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao L.*)” indica que el cadmio (Cd) tiende a bioacumularse en granos de *Theobroma cacao*, afectando la salud humana y sus posibilidades de comercialización. Esto llevó a la Unión Europea (UE) a aprobar el Reglamento N° 488/2014 para productos procesados del cacao, y motivó a la comunidad científica a realizar investigaciones sobre su bioacumulación en granos, los potenciales riesgos a la salud, calidad, y sus posibilidades de exportación. Los resultados evidencian altos niveles en diferentes regiones de los principales países productores Latinoamericanos (LA): Brasil, Ecuador, Colombia, Perú, República Dominicana, Bolivia, Honduras, y otros. Sin embargo, el reglamento 488/2014 no estipula límites máximos en cacao sin procesar; en ausencia de este, las investigaciones han clasificado estos límites, tomando como referencia los límites para cacao procesado, generando sobredimensionamiento de los niveles del metal, controversias en el

mercado y retroceso en la sustitución del cultivo ilegal de la coca en esta región. Por lo tanto, en este artículo de revisión revelan que los valores medios más altos reportados lo encabezan Perú, Costa Rica, Venezuela y Ecuador. Además, el Reglamento N° 488/2014 de la Unión Europea establece límites máximos para cacao procesados.

Según Chávez et al. (2015) en el estudio “Concentración de cadmio en granos de cacao y su relación con el cadmio en el suelo en el sur del Ecuador” determinó que el cadmio se ha acumulado sustancialmente en los suelos superficiales (0–15 cm), probablemente debido a actividades antropogénicas (p. ej., riego de agua rica en Cd) ya que el Cd total recuperable y extraíble, estimado por el método M₃ o HCl, disminuyó con la profundidad del suelo. La contaminación del suelo con Cd ha resultado en la acumulación de Cd en grano de cacao, con 12 de 19 sitios de muestreo en esta región que tienen una concentración de Cd en frijol(grano) superior a 0,6 mg. kg⁻¹, el nivel crítico máximo establecido por la Unión Europea. La concentración de Cd en frijol se relacionó mejor con el Cd extraíble que con el Cd total recuperable en el suelo. De los tres suelos métodos de prueba, el Cd extraíble con M3 y HCl son superiores al Cd extraíble con NH₄OAc para predecir la disponibilidad de Cd en los suelos de cultivo de cacao ya que están más estrechamente relacionados con la concentración de Cd en el cacao frijoles.

Gramlich et al.(2018) en un trabajo de investigación de “Absorción de cadmio en el suelo por el cacao en Honduras”; realizado con el fin de identificar los factores que gobiernan la absorción de Cd por el cacao, llevaron a cabo una encuesta en 55 fincas en la que determinaron las concentraciones de Cd en hojas de cacao, cáscaras de

mazorcas y frijoles y analizaron sus relaciones con una variedad de factores del suelo y del sitio circundantes. Con un promedio de $2,6 \pm 0,4 \text{ mg kg}^{-1}$, las concentraciones de Cd fueron más altas en las hojas que en los frijoles. Sin embargo, con un promedio de $1,1 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$, las concentraciones de Cd en frijol aún excedían el límite propuesto por la UE. El Cd de frijol mostró grandes diferencias entre sustratos geológicos, aunque las variaciones regionales en el Cd del suelo "total" fueron comparativamente pequeñas y la concentración promedio estuvo en el rango de suelos no contaminados ($0,25 \pm 0,02 \text{ mg kg}^{-1}$). Como no encontramos influencia de la aplicación de fertilizantes o la vecindad de los sitios industriales, concluimos que las diferencias en el Cd del suelo entre los sitios se debieron a la variación natural. De todos los factores incluidos aquí, el Cd del suelo disponible en DGT fue el mejor predictor del Cd del frijol ($R^2 = 0,5$). Cuando no se consideró la DGT, la mejor manera de predecir el Cd del frijol era el Cd "total" del suelo, el pH y la geología. Las concentraciones más altas de Cd de frijol se encontraron en sustratos aluviales.

Gramlich et al.(2017) en un trabajo de investigación titulado: "Absorción de cadmio por los árboles de cacao en sistemas agroforestales y de monocultivo bajo manejo convencional y orgánico" desarrollado en Bolivia, investigó la influencia de diferentes sistemas de producción en la absorción de Cd por el cacao en una prueba de campo a largo plazo en la Región del Alto Beni de Bolivia, donde los árboles de cacao se cultivan en monocultivos y en sistemas agroforestales, tanto bajo manejo orgánico como convencional. Se tomaron muestras de hojas, frutos y raíces de dos cultivares de cada sistema de producción junto con muestras de suelo recolectadas alrededor de estos árboles. Se analizaron muestras de hojas, vainas y frijoles para determinar el Cd, hierro (Fe) y zinc (Zn), las raíces para determinar la abundancia de micorrizas y las muestras de suelo para determinar el Cd, Fe y Zn 'total' y 'disponible',

así como el DGT disponible. Cd y Zn, pH, materia orgánica, textura, fósforo 'disponible' (P) y potasio (K). Sólo una pequeña parte de la variación en el Cd de la cáscara del frijol y la vaina se explicó por factores de manejo, suelo y planta. Además, los sistemas de producción y los cultivares por sí solos no tuvieron una influencia significativa sobre el Cd foliar. Sin embargo, encontramos contenidos de hojas de Cd más bajos en los sistemas agroforestales que en los monocultivos cuando se analizan en combinación con el Cd del suelo disponible en DGT, el cultivo de cacao y la materia orgánica del suelo. En general, este modelo explicó el 60% de la varianza de las concentraciones de Cd en las hojas. Explicamos las concentraciones más bajas de Cd en las hojas en los sistemas agroforestales mediante la competencia por la absorción de Cd con otras plantas. El efecto de la variedad puede explicarse por la capacidad de absorción específica de la variedad o por un efecto de crecimiento que se traduce en diferentes tasas de absorción, ya que los cultivares eran de diferente tamaño.

Engbersen et al. (2019) en un trabajo de investigación titulado “Acumulación y translocación de cadmio en diferentes variedades de cacao” realizado en Honduras, determinó la diferencia entre 11 cultivares en la absorción y translocación de Cadmio, el muestreo se realizó en diferentes partes de la planta, incluidos raíces, tallos, hojas y fruto, de utilizaron tres árboles como replicas por cultivar y del suelo alrededor de cada árbol. Los resultados mostraron que las concentraciones de Cadmio disponible en el suelo se correlacionaron más estrechamente con las concentraciones de Cd de las raíces ($R^2 = 0,56$), tallos ($R^2 = 0,59$) y hojas ($R^2 = 0,46$) que con las concentraciones de Cd del fruto ($R^2 = 0,26$). Además, las concentraciones de Cd de raíces, tallos y hojas mostraron una estrecha relación con las concentraciones de Cd disponibles en el suelo, sin diferencias significativas entre

los cultivares. Al contrario, las concentraciones de Cd en granos (frijol) mostraron solo correlaciones débiles con las concentraciones de Cd disponibles en el suelo; así mismo, muestran la importancia de realizar una selección de variedades con baja transferencia de Cd de las partes vegetativas a los granos para mantener la acumulación de Cd en los granos de cacao a niveles seguros para el consumo.

Ramtahal et al. (2019) indica que el cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo arbóreo neotropical importante que se cultiva por sus semillas o frijoles que se utilizan en las industrias mundiales de chocolate y confitería; evalúa los efectos nocivos de la exposición dietética a largo plazo al cadmio (Cd) en la salud humana, varios países, incluida la Unión Europea (UE), han desarrollado regulaciones estrictas para proteger a los consumidores de la exposición al cadmio. El cacao es capaz de bio acumular Cd en los granos de cacao cuando se cultiva en suelos con alto contenido de cadmio y, por lo tanto, se aplicaron experimentos in vitro, de invernadero y de campo para evaluar la efectividad de las enmiendas del suelo, biocarbón y cal, sobre el pH del suelo, la fito disponibilidad de Cd y la bio acumulación de Cd en *Theobroma cacao L.* Para el estudio in vitro, el suelo que contiene Cd se modificó con 5 niveles de biocarbón y cal, mientras que para el estudio de invernadero y de campo se probaron cuatro tasas de aplicación. El estudio mostró que, si bien las tasas más bajas eran efectivas en condiciones in vitro a medida que avanzaba de in vitro a condiciones de invernadero y de campo, las tasas de aplicación y la frecuencia de aplicación tenían que aumentarse, ya que la efectividad y la longevidad de los tratamientos se veían comprometidas por factores ambientales. Nuestro estudio implica que las dos enmiendas fueron complementarias en su acción y pueden usarse en la clasificación recomendada para reducir la bio acumulación de

Cd. Sin embargo, se requieren más estudios sobre la colocación de enmiendas para mejorar su efectividad y longevidad, particularmente en condiciones de campo.

Aguirre et al. (2020) en Magdalena- Colombia desarrolló un estudio titulado “Contenido de metales pesados en suelos y tejidos de cacao en el departamento de Magdalena Colombia: énfasis en cadmio” con el objetivo de determinar el contenido de Cd, Ni, Pb y Cr en dos regiones productoras de cacao en dos regiones del norte. Se analizaron el tejido (hoja, frijol y cáscara) y el suelo. El contenido medio de Ni, Pb y Cr en el tejido vegetal no excedió los límites máximos permisibles establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos. El contenido medio de Cd en los frijoles fue de 0,51 mg kg⁻¹ en la región 1 y 0,66 mg kg⁻¹ en la región 2, que se consideran riesgosos según los informes de la Unión Europea y restringen la exportación del producto.

Así mismo, Martínez & Charrupi (2017) realizaron un estudio de investigación titulado “Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño” con el objetivo de determinar la concentración de cadmio teniendo en cuenta la relación de las características fisicoquímicas del suelo y el comportamiento del metal en el medio ambiente en los cultivos destinados a la siembra de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño, debido a que estos departamentos son unos de los mayores productores de cacao en Colombia. Se encontró que en los municipios de Arauca la presencia de Cadmio sobre pasa el límite máximo permisible dado por Holanda de 0,8 mg kg⁻¹, Arauca 0.98 mg kg⁻¹, Arauquita 1,9 mg kg⁻¹, Saravena 1,38 mg kg⁻¹ y Fortul 1 mg kg⁻¹, a diferencia de Tumaco Nariño donde se presenta una concentración promedio de 0,62 mg kg⁻¹. Se realizaron las correlaciones de Spearman con el fin de determinar el

possible origen del cadmio en el suelo y los metales asociados, T de Student para confirmar las correlaciones y análisis de componentes principales con el fin de ver gráficamente la asociación entre metales para ambos departamentos donde se encontraron relaciones de Fosforo, Potasio, pH, materia orgánica, entre otros donde se encontró que el uso de fertilizantes orgánicos y químicos tiene una afectación directa en la presencia de Cadmio en el suelo, para esto se calculó el nivel de enriquecimiento en el departamento de Arauca donde se determinó una posible fuente antropogénica de este metal teniendo en cuenta datos aportados por el IGAC.

Arias et al. (2024) en su trabajo de investigación “Síntesis a mediana escala de nanomaghemita como inhibidor de la absorción de cadmio en plántulas de *Theobroma cacao L*” se utilizaron las nanopartículas de γ -Fe₂O₃ de 15 nm para tratar cuatro genotipos de *Theobroma cacao L*. (ICS 39, CCN 51, TSH 1188 e ICS 95) en varias dosis para investigar la reducción de Cd²⁺ de los suelos donde se cultivaron estas plantas. La evaluación morfológica de las plantas (después de la aplicación de las nanopartículas de γ -Fe₂O₃) se realizó analizando la altura de las plántulas, el área foliar y el diámetro del tallo. La significación estadística se estudió mediante el test de Dunnet, donde la altura de plántula solo se vio afectada para los genotipos ICS 39 y TSH 1188, pero no se observó significación para el área foliar y el diámetro del tallo. El papel del inhibidor de Cd también se probó exponiendo la plántula a tres dosis de nanopartículas de γ -Fe₂O₃ de 15 nm, donde solo se obtuvo una dependencia de la adsorción de Cd²⁺ para el genotipo ICS 95. Se logró un porcentaje de adsorción de Cd²⁺ del 74 %, lo que fue suficiente para alcanzar un valor aceptable de 0,10 mg kg⁻¹ de Cd²⁺ en las plántulas, un valor límite que concuerda con la normativa de la UE. Finalmente, se descubrió que el mecanismo

de adsorción de Cd²⁺ estaba dominado por un proceso de tres pasos que involucraba intercambio catiónico de hidrógeno; sin embargo, menciona que pese a constituir una alternativa para el problema de cadmio en cacao, necesita mayores estudios aún.

Thomas et al. (2023) en su estudio “Distribución de cadmio en suelos y granos de cacao en Perú” indica que el Perú es el octavo mayor productor de granos de cacao a nivel mundial, pero los altos contenidos de cadmio están restringiendo el acceso a los mercados internacionales que han establecido umbrales superiores para las concentraciones permitidas en chocolate y derivados. Los datos preliminares han sugerido que las altas concentraciones de cadmio en los granos de cacao están restringidas a regiones específicas en el país, pero a la fecha no existen mapas confiables de las concentraciones esperadas de cadmio en suelos y granos de cacao. Se usaron más de 2000 muestras representativas de granos de cacao y suelos, desarrollando múltiples bosques aleatorios nacionales y regionales modelos para desarrollar mapas predictivos de cadmio en suelo y granos de cacao en el área apta para el cultivo de cacao; las proyecciones de nuestro modelo muestran que las concentraciones elevadas de cadmio en los suelos y granos de cacao se limitan en gran medida al norte del país en los departamentos de Tumbes, Piura, Amazonas y Loreto, así como algunos focos muy localizados en los departamentos centrales de Huánuco y San Martín; existe relación directa entre la concentración de cadmio en el suelo y el grano, los predictores más importantes de ambas variables en los modelos a nivel nacional fueron la geología, la estacionalidad de las precipitaciones, el pH del suelo y las precipitaciones.

Arévalo et al. (2016) en su trabajo de investigación titulado “Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en tres regiones del Perú” cuyo objetivo fue determinar los contenidos totales de metales pesados (Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn) en los suelos de plantaciones de cacao en las principales áreas de producción del Perú: Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas); Zona central (San Martín, Huánuco y Junín); Zona Sur (Cuzco). Se consideraron plantaciones entre 10 y 15 años de edad. Se realizaron los análisis físicos (textura) y químicos (pH, materia orgánica, CIC, P, K, Ca, Mg, Al, Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn) de los suelos muestreados. Los suelos en el estudio presentan adecuadas condiciones físicas y químicas para el cultivo de cacao. Los valores de metales pesados se encontraron por debajo de lo considerado como fito tóxico. Los valores promedio de hierro, zinc, manganeso, níquel y plomo fueron mayores en la zona sur, mientras que en la zona norte los valores de cobre y cadmio fueron mayores. De forma general el pH, % de arcilla y Mg fueron las variables que tuvieron mayor correlación con la concentración de metales pesados.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. El Suelo y la fertilidad:

El suelo es un recurso natural semi renovable de importancia básica para la vida sobre la tierra; es la fuente de vida de las plantas, los animales y la especie humana. La producción agrícola y por ende la producción pecuaria dependen de manera indiscutible de la fertilidad del suelo (Suquilanda, 2008, p. 23)

La fertilidad del suelo está representada por el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad de este para sostener el desarrollo de la vegetación. Aunque depende de muchos factores, la fertilidad está muy

asociada al contenido de materia orgánica. La materia orgánica se puede definir como el total de compuestos orgánicos en el suelo con excepción de los tejidos de plantas y animales sin descomponer, sus productos de descomposición parcial y la biomasa del suelo (Suquilandia, 2008, pp. 31–32)

2.2.2. Propiedades del suelo y Biodisponibilidad de cadmio

La acumulación de cadmio por las plantas de cacao está influenciada por la cantidad y disponibilidad de cadmio presente en el suelo. Los niveles más altos de contenido total de cadmio en el suelo implican un mayor potencial para la absorción de cadmio.

Varios estudios han informado correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre las concentraciones totales de cadmio en suelos y en granos de cacao (Zug et al., 2019, pp. 5-6). Esto incluye un estudio a nivel nacional en Ecuador que hizo un mapeo de los niveles totales de cadmio en suelo y granos de cacao e identificó áreas problemáticas o "puntos calientes" (Argüello et al., 2019, pp. 8-10)

Sin embargo, el cadmio total del suelo no siempre es un buen indicador de cadmio en los granos de cacao, ya que solo una parte está disponible para las plantas (Argüello et al., 2019, p. 6). Entender la manera en que las propiedades del suelo afectan la biodisponibilidad de los metales y específicamente del cadmio en los suelos de cultivo de cacao es clave para desarrollar estrategias efectivas de mitigación del suelo.

2.2.3. Biodisponibilidad y especiación química del cadmio

La presencia de metales como el cadmio en el suelo en pequeñas concentraciones; no significa su traslocación a las partes de la planta; este proceso está determinado por las propiedades físicas y químicas del suelo como son pH, materia orgánica, tipos de arcilla, capacidad de intercambio iónico; tendría que estar el cadmio en la solución suelo para poder ser bio absorbido (Meter et al., 2019, p. 4)

2.2.4. Evaluación de cadmio biodisponible en el suelo

La cuantificación de la cantidad de cadmio en el suelo en cada una de las fracciones antes mencionadas requiere el uso de diferentes reactivos. El tamaño de la fracción intercambiable se puede determinar por extracción usando ácidos débiles (por ejemplo, EDTA 0,05 M, HCl 0,1 M o HNO₃ 0,43 M), mientras que la fracción en la solución de suelo se mide con lisímetros o por una extracción del suelo utilizando sales débiles como CaCl₂, Ca (NO₃)₂, NaNO₃ o métodos de extracción DTPA(Meter et al., 2019, pp. 5-6).

2.2.5. Medición de la concentración de cadmio en el suelo y tejidos de plantas

El análisis confiable de la concentración de cadmio es clave para concluir con afirmaciones valederas; por ello la selección del método debe tener respaldo técnico.

Tanto el protocolo de extracción, como la elección del instrumento analítico, y su calibración, juegan un papel importante en esto. Las máquinas de uso común incluyen la Espectrometría de Emisión Atómica (MP-AES), Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), la Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de grafito (FAAS), la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y la Espectrometría electroóptico con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). La elección más adecuada depende del nivel de cuantificación requerido, si se están midiendo uno o más metales traza; así como, la limitación presupuestaria (Gomis, 2008, pp. 112–114). Además, mientras que la estimación del cadmio total preparado con extracción de ácido fuerte es relativamente robusta, la digestión con ácidos débiles para estimar el cadmio biodisponible es mucho más difícil de analizar de manera confiable y puede requerir el uso de ICP-MS (Gomis, 2008, p. 118).

El método más utilizado y aceptado por el D.S. N° 011-2017-MINAM; es EPA Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils (EPA 3050B para la digestión ácida de suelos – EPA 2015); que permite determinar la concentración de cadmio (Environmental Protection Agency, 1996, p. 2).

2.2.6. Fuentes de acumulación de cadmio en el suelo

La presencia de cadmio en los suelos es el resultado de una combinación de procesos naturales y antropogénicos. Los procesos naturales incluyen la meteorización de las rocas, la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión y la deposición en los sedimentos de los ríos, mientras que los procesos antropogénicos incluyen actividades mineras e industriales, así como prácticas agrícolas de riego y fertilización (Meter et al., 2019, pp. 1-2)

El aumento observado de los niveles de cadmio en los suelos en los últimos años a escala mundial sugiere la importancia de los procesos antropogénicos. En ALC, sin embargo, los mayores niveles de cadmio reportados en los granos de cacao en relación con otras regiones, así como las diferencias localizadas, implican que los suelos en algunas áreas pueden ser naturalmente ricos en cadmio, aunque esto no descarta el papel de las fuentes antropogénicas, ni de una interacción entre los dos (Meter et al., 2019, pp. 2-3)

La contribución de los procesos naturales a la contaminación con cadmio del suelo es de 3 a 10 veces menor que la de las fuentes antropogénicas. En los suelos naturales, no contaminados, la concentración de cadmio está influenciada en gran medida por la cantidad de cadmio en la roca madre y por las condiciones de meteorización locales, así como por el transporte y deposición en los sedimentos y el agua por los ríos. Comparando diferentes tipos de suelos, los derivados de rocas

ígneas suelen contener cantidades bajas de cadmio, los suelos derivados de rocas metamórficas son intermedios, y los suelos derivados de rocas sedimentarias (especialmente lutitas) contienen altas cantidades (He et al., 2015, pp. 4-6)

2.2.7. Fuentes antropogénicas de cadmio

La actividad antropogénica puede aumentar la concentración de cadmio en los suelos agrícolas mediante la aplicación de fertilizantes de fosfato derivados de material sedimentario y agua de riego de áreas con altos niveles de cadmio. La minería y la fundición de minerales, la quema de combustibles fósiles, y otras actividades industriales también pueden conducir a la contaminación localizada con cadmio. Si bien la deposición de sedimentos de los ríos es un proceso natural, las actividades como la minería y la degradación causada por el cambio del uso de la tierra en suelos ricos en metales aguas arriba de las áreas agrícolas probablemente aumentarán la concentración de estos metales en los sedimentos aguas abajo y pueden ser una fuente importante de cadmio en muchos suelos (Meter et al., 2019, pp. 3-4).

2.2.8. Propiedades del suelo que afectan la biodisponibilidad del cadmio a las plantas de cacao

2.2.8.1. Capacidad de Intercambio Catiónico

Es la propiedad química responsable en gran medida de la fertilidad de los suelos. Aunque desconocida por muchos, es la encargada de la producción mundial de alimentos. Es esa bóveda donde los suelos guardan los nutrientes necesarios para la vida de las plantas. Nutrientes como el potasio, el magnesio, el calcio, el nitrógeno, encuentran allí un lugar donde almacenarse y solubilizarse en el agua del suelo para formar así la llamada solución de suelo, y de esta manera poder ser absorbidos por las plantas. Técnicamente, la CIC del suelo hace referencia al número de sitios de intercambio de

cationes que este pueda tener. Cuantos más sitios de intercambio, mayor será la capacidad de almacenaje de cationes y mayor su disponibilidad para las plantas (Bueno et al., 2019, pp. 45-47).

2.2.8.2. Potencial hidrógeno (pH)

El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H^+) en una solución acuosa. $pH = -\log (H^+)$ En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes. El pH usa una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14 (Osorio, 2012, pp. 28-29)

El pH del suelo parece que es uno de los parámetros más importantes que influyen en la especiación de cadmio, la movilidad, la solubilidad y, por lo tanto, su biodisponibilidad (Adriano 2001, pp. 251-253). A medida que el pH disminuye, también lo hace el CIC del suelo. En los suelos alcalinos, el cadmio es menos biodisponible ya que tiende a ligarse fuertemente a las partículas del suelo. El aumento del pH del suelo de los suelos ácidos casi siempre conduce a una menor absorción de cadmio por las plantas (Shahid et al., 2017, pp. 8-9).

2.2.8.3. Materia orgánica

La materia orgánica (MO) es un componente fundamental del suelo ya que de ella dependen muchas de sus propiedades. Las variaciones en la MO

significan cambios en la fertilidad del suelo y en su resistencia a la erosión, como así también en la facilidad de laboreo y en su capacidad de infiltración y de almacenaje de agua.

El contenido de materia orgánica de los suelos juega un papel importante en la biodisponibilidad del cadmio debido a su capacidad para adsorber el cadmio. La capacidad de la materia orgánica para unirse con el cadmio se debe a su alta CIC, y el incremento de la actividad microbiológica, así como su capacidad quelante (He et al., 2015, pp. 7-8) .

2.2.8.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo (CE) es una medida de su capacidad para conducir una corriente eléctrica. Una CE alta indica un gran número de cationes (nutrientes) que se mantienen en los sitios de intercambio catiónico del suelo, e indica un suelo fértil. Sin embargo, los suelos con una alta CE debido al exceso de iones de sodio y magnesio (o cloruro) pueden ser perjudiciales para la salud de las plantas, y también aumentar la biodisponibilidad de cadmio (Ahmad, 2017, pp. 212-213).

2.2.8.5. Textura del suelo

La textura está determinada por la materia mineral que forma el suelo. Así hablamos de suelos arenosos o arcillosos. Los suelos en los que predomina la fracción arena son permeables al agua y al aire y fácilmente trabajables (lo que se considera que son buenas propiedades físicas). Son suelos relativamente sueltos, livianos, pero de baja fertilidad. Los suelos arcillosos en cambio son pegajosos si están húmedos y muy duros cuando secos. Sólo se pueden trabajar dentro de cierto rango de humedad. Tienen por lo tanto

malas propiedades físicas, pero son los más fértiles. Se les conoce como suelos pesados. Entre estos dos extremos hay un amplio rango de situaciones, de acuerdo con el porcentaje de las distintas fracciones minerales que componen el suelo. Cuando hay un equilibrio de las tres fracciones (arena, limo y arcilla) se habla de suelos fracos o de texturas medias. Estos son suelos equilibrados entre sus propiedades físicas y fertilidad (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2015, pp. 18-20).

2.2.9. Descripción botánica del Cacao

El cacao es un árbol que puede alcanzar una altura de 6 a 8 m, posee un sistema radicular principalmente pivotante el cual busca las capas inferiores del suelo hacia los mantos freáticos, posee a la vez raíces primarias y secundarias que crecen horizontalmente (Estrada et al., 2011, pp. 22-23)

El tallo las plantas de cacao, reproducidas por semillas, desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilio u horqueta. Las hojas adultas son de color verde, de lámina simple, entera de forma que va desde lanceoladas o casi ovaladas, con una nervadura pinnada y ambas superficies glabras. Las hojas cuando jóvenes son muy delicadas por lo que son apetecidas por los insectos y dañadas por el viento poseen un color verde pálido y al alcanzar su madurez hacen el cambio de color (Estrada et al., 2011, pp. 24-26)

La flor del cacao es hermafrodita es decir cuenta con ambos sexos, su polinización es estrictamente entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el

agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente en horas de la mañana la flor ya está abierta en su totalidad. El fruto es conocido botánicamente como una drupa; pero generalmente se le conoce como mazorca. El tamaño y la forma dependen en gran medida de las características genéticas de la planta, el medio ambiente, así como el manejo de la plantación (Estrada et al., 2011, pp. 27-29)

2.2.10. Variedades de cacao

Variedades Actualmente en el mundo existe una gran cantidad de variedades, la riqueza genética con la que se cuenta es muy amplia; aunque originalmente solo existían dos tipos: el criollo y el forastero, el cruce de estas dos especies ha dado origen al trinitario (Estrada et al., 2011, p. 31)

2.2.10.1. Cacao Criollo o dulce

Su origen se centra en Centroamérica, Colombia y Venezuela, entre las características más sobresalientes se menciona que el fruto posee una cascara suave, con 10 surcos profundos con otro de menor profundidad, su curvatura es borroñosa y termina en una punta delgada. La cascara es de color blanco o violeta, las semillas son dulces y de ellas se elabora el cacao denominado fino (Estrada et al., 2011, p. 32)

2.2.10.2. Cacao Forastero o amargo

Su principal centro de origen se limita a la zona de América del sur y es el más cultivado tanto en África como en Brasil. Entre sus características se cita que posee una cascara dura y más o menos lisa, de apariencia redondeada y la cascara suele ser de color verde a amarillo. Las semillas son aplanadas de color morado y sabor amargo (Estrada et al., 2011, p. 33)

2.2.10.3. Cacao Trinitario

Esta variedad surge del cruce de la variedad criolla y forastero las mazorcas por lo general son de muchas formas y colores; las semillas son más grandes que el de las otras variedades; las plantas son fuertes, de tronco grueso y hojas grandes. Actualmente es la variedad más cultivada en el mundo (Estrada et al., 2011, p. 34)

2.2.11. Requerimientos edafo climáticos del cacao

Las condiciones climáticas que afectan el óptimo desarrollo del cacao son principalmente la temperatura y la lluvia; no siendo menos el efecto del viento fuerte, la luz, radiación solar y la humedad relativa. Se adapta muy bien desde 0 msnm hasta los 800 msnm. El mejor desarrollo del cacao se manifiesta en temperaturas promedio anuales de 21°C. Las temperaturas muy altas o bajas pueden llegar a producir alteraciones fisiológicas en el árbol. La temperatura ejerce su efecto en la formación de las flores. En cuanto a la precipitación el cacao es muy sensible a los escases de agua, así como su exceso la precipitación debe de ser de 1500 a 2500 mm al año. Los suelos deben estar provistos de prácticas que favorezcan la evacuación del exceso de agua (Estrada et al., 2017, pp. 41-43)

Su requerimiento en suelos se puede hacer mención que prefiere los suelos ricos en materia orgánica, profundos, franco arcilloso con buen drenaje y topografía regular. Son ideales para el buen desarrollo del árbol; pero el cacao es un cultivo que se adapta a una variedad de suelo que van desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limosas con PH de 4 a 7 (Estrada et al., 2011, pp. 44-45)

2.3. Definición de términos.

2.3.1. Suelo

El suelo es la capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas. Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan (Schweizer, 2011, p. 15)

2.3.2. Nutrientes del Suelo

Los nutrientes son sustancias que sirven de alimento a las plantas. Actualmente se acepta que son 17 los nutrientes esenciales necesarios para el desarrollo de las plantas. Con solo un nutriente que haga falta en la cantidad necesaria o con uno que esté en niveles excesivos, las plantas no podrán desarrollarse adecuadamente. De los 16 nutrientes, tres están en la naturaleza como son el carbono (C), que es tomado del aire a través de las aberturas de las hojas (estomas); el hidrógeno (H⁺), que es tomado del agua del suelo y el oxígeno (O⁻²), que es tomado del suelo por las raíces, pero en forma gaseosa (Toledo, 2017, pp. 9-10)

2.3.3. Metales pesados en el suelo

Son elementos químicos con alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn) (Londoño et al., 2016, p. 4).

2.3.4. Cadmio en el suelo

El contenido de cadmio del suelo se puede dividir en tres fracciones anidados en función a la biodisponibilidad: cadmio no intercambiable, intercambiable y en la solución de suelo (Meter et al., 2019, pp. 4-5). La fracción no intercambiable representa al cadmio que no está disponible y es poco probable que pase a la fracción intercambiable o a solución, ya que está como parte estructural de los minerales o también formando compuestos precipitados. La fracción intercambiable está compuesta por los iones de cadmio adheridos en los coloides del suelo como la materia orgánica, óxidos metálicos hidratados y partículas de arcilla, los cuales están potencialmente disponibles para la planta (Shahid et al., 2016, pp. 6-7). La fracción en la solución del suelo está compuesta por iones de cadmio libres y totalmente disueltos (Cd^{+2} , CdCl^+ , CdHO^{+3} , Cd en ligandos orgánicos) listos para ser absorbidos por la planta (Loganathan et al., 2012, pp. 98-99).

2.3.5. El Cacao

El cacao (*Theobroma cacao L.*), conocido mundialmente por ser la materia prima del chocolate, pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Malvales, familia *Malvaceae*, género *Theobroma* y especie cacao; siendo el principal fruto del género cultivado, debido al valor e importancia de las semillas (De Souza et al., 2018, p. 2)

CAPÍTULO III

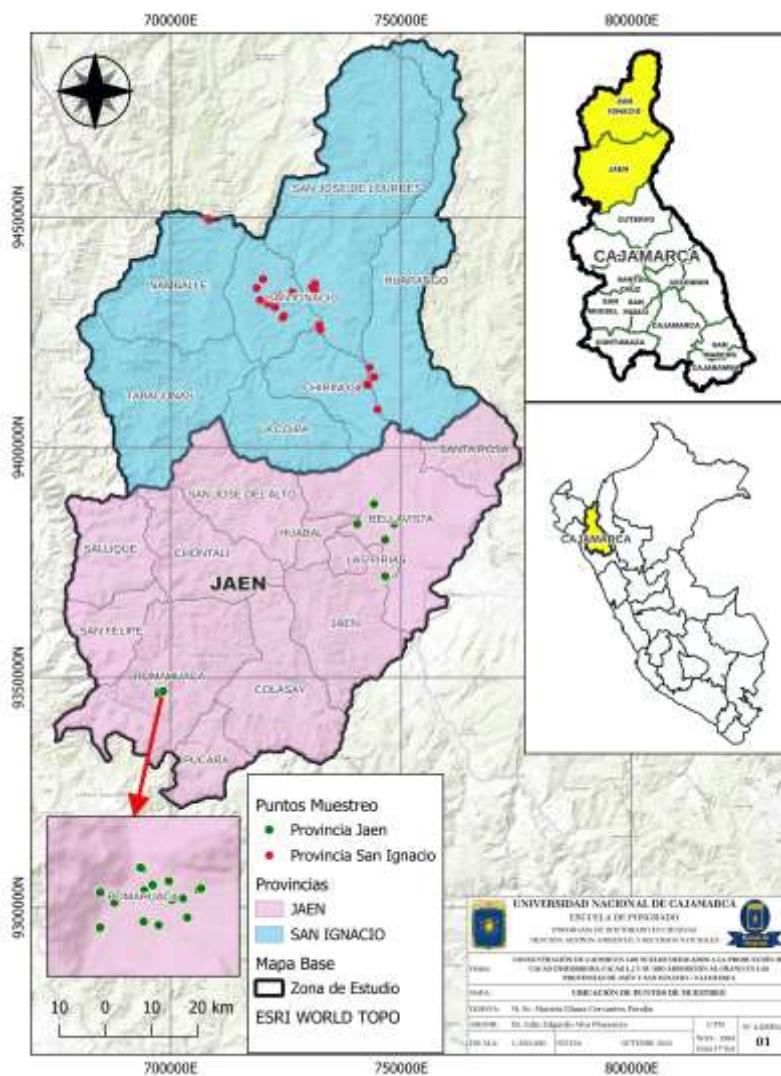
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del estudio.

Geográficamente el área de estudio está ubicada en las zonas cacaoteras de las provincias de Jaén y San Ignacio en el departamento de Cajamarca.

En las zonas productoras de cacao se realizó un muestreo de identificación y georeferenciación de los puntos de muestreo (Anexo 1).

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio y los puntos de muestreo



Se tomaron 99 puntos de muestreo de suelos, distribuidos por comunidad y provincia en las zonas de producción de cacao; los datos UTM se muestran en el Anexo 1.

Paralelamente se tomaron 95 muestras de mazorca de cacao para evaluar la concentración de cadmio.

3.2. Características de la zona de Jaén y San Ignacio

3.2.1. Clima

Según el sistema de Thornthwaite; los climas en Jaén y San Ignacio en zonas cacaoteras son templados a cálidos, lluvioso en verano, con lluvia deficiente en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Las temperaturas máximas en estas zonas son de 28 a 32°C; y temperaturas mínimas de 20 a 24°C.

3.2.2. Hidrología

El potencial acuícola de las zonas de estudio está conformado por lagunas importantes: Arrebiatadas (San Ignacio), Palambe (Jaén). Así mismo, pertenecen a tres cuencas hidrográficas Chamaya y Chinchipe. Con precipitaciones que van de 2000 a 3000 mm anuales.

La existencia de pendientes empinadas, presencia del canal de escurrimiento principal, la repetición de litologías poco consistentes y una cierta proporción de terrenos sometidos a condiciones de clima semiárido y ausencia de cobertura vegetal; situación que determinan las acciones erosivas de las cuencas y la gran presencia de fenómenos de remoción de masas de suelos y rocas. En tipos de suelos los que más abundan son los Andosoles, los Leptosoles y los Regosoles; de los tres, la que extensión ocupa son los Andosoles que representan el 8.16% (GORECAJ, 2014).

3.2.3. Flora

Según información del proceso de zonificación económica y ecológica, el departamento de Cajamarca registra 1,571 especies de flora endémica amenazada; el mayor número de estos registros se encuentra en las provincias de Cajamarca (266), Contumazá (253), Celendín (184), Chota (143), San Ignacio (114) Jaén (110) y San Miguel (106) (GORECAJ, 2014).

3.2.4. Población

Cuentan con una población de 198 877 y 147 465 habitantes respectivamente en las provincias de Jaén y San Ignacio. Y en cuanto a la población económicamente activa las provincias de Jaén y San Ignacio ocupan el segundo y tercer lugar en la región. (GORECAJ, 2014).

3.2.5. Agricultura

En agricultura los cultivos de mayor importancia son la papa y el café que generan el mayor valor bruto de la producción en Cajamarca, con 18% y 13%, respectivamente. La importancia del café también radica en que es el producto más exportado de Cajamarca, desde las provincias de Jaén y San Ignacio. Otros cultivos, con potencial exportado que se están desarrollando en el Cajamarca son el cacao en Jaén y San Ignacio; así como el mango, palto, chirimoya y aguaymanto en las provincias de la zona sur del departamento (GORECAJ, 2014).

3.3. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicada, dado que busca aportar soluciones y generar información útil para el manejo de la contaminación por cadmio en los sistemas de producción de cacao de la región Cajamarca.

El enfoque es cuantitativo, ya que se basa en la medición y análisis numérico de la concentración de cadmio tanto en suelos como en granos de cacao.

El diseño es no experimental, transversal y correlacional, pues no se manipulan las variables, sino que se observan y analizan en un momento determinado con el fin de establecer la relación entre el contenido de cadmio en el suelo y su bioabsorción en el grano. (Hernández et al, 2014).

3.4. Población y muestra

La población está conformada por las plantaciones de cacao ubicadas en las provincias de Jaén y San Ignacio, en el departamento de Cajamarca. Estas provincias representan las principales zonas productoras de cacao del norte del Perú y presentan condiciones edáficas y climáticas contrastantes que pueden influir en la disponibilidad de cadmio (MINAGRI, 2020).

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo aleatorio estratificado, considerando como estratos las provincias de Jaén y San Ignacio. En cada provincia se seleccionaron localidades donde hay producción de cacao.

Se recolectaron 99 muestras de suelo (0–30 cm de profundidad) y 95 muestras de granos de cacao, en la zona de proyección radicular del cultivo.

Las muestras pasaron por proceso de pretratamiento, procesadas para cada método de ensayo de fertilidad en suelos, metales pesados en suelos y grano.

3.5. Materiales y equipos utilizados

3.5.1. Equipos

GPS modelo GARMIN montana 750i

Muestreador de suelos

Potenciómetro marca Thermo Cientific

Espectrofotómetro UV M51 marca BEL

Equipo de Emisión Atómica MP AES modelo Agilent 4210

Hot Block

Balanza analítica OHAUS

Estufa

3.5.2. Materiales

Etiquetas de identificación de muestras F-67

Cadenas de custodia F-48

Materiales de vidrio

Reactivos químicos

Materiales de escritorio.

QGIS

Software R

Excel

3.6. Metodología

3.6.1. Fase de Campo

Se determinó las zonas productoras de cacao, en las provincias de Jaén y San Ignacio en coordinación con las Agencias Agrarias de ambas provincias; identificando las siguientes localidades:

Jaén: Shumba Bajo, Ayabaquita, Atoye, La Guaba, Jaén.

San Ignacio: San José de Lourdes, Nambacasa, Campana, Frontera, Cigarro de Oro, Dos de Mayo, Ciruelo, La Balsa, Cordillera, Perico.

Las muestras de suelo usadas para el estudio fueron recolectadas a profundidades de 0 a 30 cm como lo indica la guía de toma de muestras de suelos agrícolas (Cervantes, 2024). Se tomaron muestras de 1 kg de cada una aproximadamente, las muestras fueron recolectadas con ayuda de un muestreador y homogenizadas dentro de un envase plástico limpio para posteriormente ser almacenadas en bolsas estériles de polietileno las cuales fueron rotuladas con una etiqueta conteniendo la información necesaria y enviadas al laboratorio de análisis de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca - INIA, donde fueron secadas al aire, molidas, pasadas por un tamiz N° 10 y almacenadas a 22°C.

En forma paralela se tomó una mazorca de la planta de cacao como muestra de la cual se hizo el muestreo de suelos; se codificaron ambas muestras (suelos y mazorca) usando el mismo código relacionado a la localización y número de muestra para que se identifique luego del proceso analítico.

El muestreo de los suelos y las mazorcas de cacao, fueron geo referenciados con el uso del GPS, utilizando los protocolos de muestreo registrando los datos necesarios para llenado de cadenas de custodia y etiquetas en Laboratorio.

3.6.2. Fase de Laboratorio

Las muestras fueron ingresadas al laboratorio previo procedimiento de cotización y orden de servicios pasan a ser procesadas en el Laboratorio de Suelos, aguas, abonos y foliares de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

El procesamiento de las muestras de suelo en el Laboratorio, se inicia con el secado de las muestras a temperatura ambiente; una vez seca la muestra, se realizó la operación de molienda, donde se utilizó un molino de suelos. Este equipo proporciona una molienda homogénea, lo que permite llevar la muestra a una granulometría deseada de 75 micras (malla N° 10).

Mientras que las mazorcas de cacao, previamente registradas y codificadas son abiertas y se toman los granos necesarios para ser secados en estufa a 65°C hasta peso constante, determinando su materia seca y humedad.

Los granos son molidos finamente y pasan al proceso de pesado para determinación de metales pesados.

Los métodos aplicados a los dos ítems se detallan en las Tablas 1 y 2

Tabla 1 Métodos de análisis de suelos

Parámetros Metodología	Unidades de medida
pH Environmental Protection Agency (EPA) 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.	Unidades de pH
Materia orgánica Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). item 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.	Porcentaje
Fósforo disponible Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). item 7.1.10 AS-10. 2000. Determinación de Fósforo.	mg kg ⁻¹
Potasio disponible Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). item 7.2.6 AS-19. 2000. Determinación de Potasio (Validado)	mg kg ⁻¹
Aluminio Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. item 7.3.29 AS-33. 2000. Aluminio intercambiable.	mg kg ⁻¹
Cadmio EPA 3050B/6010s/7000s Acid digestion of sediments sludges and soils	mg kg ⁻¹

Tabla 2 Métodos de ensayo para análisis de granos de cacao

Parámetros	Metodología	Unidades de medida
Materia seca y humedad	Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2451:2018	
Cadmio	Metales MP-AES 4210 / Mexicana NOM-117-SSA1-1994/EPA 6010C./MET-UCCIRT/Res-22 SENASA	mg kg ⁻¹

Los procesos de análisis de ambos ítems (suelo y grano) consiste en varias fases: pesado de muestras, digestión ácida en Hot block a 95°C, disolución.

Preparación de curvas de calibración y lectura en el espectrofotómetro de emisión atómica MP AES Agilent.

Lectura de las muestras con muestras en blanco y repeticiones respectivas.

Los datos pasan por proceso de cálculo en el software del equipo y luego reportadas para su evaluación y elaboración de informes de ensayo correspondientes.

Los resultados obtenidos fueron comparados con las Normas Nacionales vigentes; para el caso de suelos con tablas de fertilidad del Laboratorio y para metales pesados con el Estándar de Calidad Ambiental para Suelos D.S. N° 011-2017-MINAM que indica un valor de 1,4 mg kg⁻¹ y para los granos de Cacao con la NTP -ISO 2451:2018 que indica 0,9 mg kg⁻¹ y el Reglamento (UE) N° 488/2014 que menciona el límite máximo permisible de 0,6 mg kg⁻¹.

Se utilizaron cuadros comparativos de resultados de fertilidad en suelos como son los siguientes:

Tabla 3 Clasificación de Suelos según el valor de pH

pH	Evaluación	Efectos
< 5,0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5,1 – 6,5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos
6,6 - 7,3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos
7,4 – 8,5	Medianamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos nutrientes
> 8,5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes

Fte: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31/12/02)

Tabla 4 Interpretación de la materia orgánica en suelos

Clasificación	Materia orgánica (%)
Muy Bajo	< 0,5
Bajo	0,6 – 1,5
Medio	1,6 – 3,5
Alto	3,6 – 6,0
Muy Alto	> 6,0

Fte: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31/12/02)

Tabla 5 Interpretación de suelos por concentración de fósforo disponible

Clasificación	(mg kg ⁻¹) de P
Bajo	< 5,5
Medio	6,5 – 11,0
Alto	>11,0

Fte: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31/12/02)

Tabla 6 Interpretación de suelos por concentración de potasio disponible

Clasificación	(mg kg ⁻¹) de K
Muy bajo	< 40
Bajo	41 - 117
Medio	118 - 234
Alto	235 - 468
Muy Alto	> 469

Fte: Instituto Internacional del Potasio;

<https://www.ipipotash.org/udocs/Sesion%201.pdf>

3.5 Procesamiento y análisis de datos.

El análisis de suelos y granos de cacao fueron sistematizados en tablas Excel; promediados por localidad y cuya información se utiliza para elaborar figuras comparativas con las normas establecidas para estándares de calidad.

El D.S. N° 011-2017-MINAM, establece que la concentración de cadmio para suelos agrícolas no debe superar 1,4 mg kg⁻¹de Cadmio.

La NTP -ISO 2451:2018 que indica 0,9 mg kg⁻¹como concentración máxima en el grano de cacao.

El reglamento (UE) N° 488/2014.; que entró en vigor desde el 2019 establece como máxima concentración de cadmio en cacao $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$.

Análisis estadístico

Los datos organizados han sido analizados con el programa estadístico “R”, determinando entre ellos el análisis de correlación de Pearson.

Se aplicó estadística no paramétrica, a los resultados obtenidos en laboratorio se calculó desviación estándar y coeficiente de variación como se muestra en tablas y figuras.

En caso de reporten significativo se le realizó análisis de significancia de Tukey.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de fertilidad y concentración de cadmio en los suelos de Jaén y San Ignacio

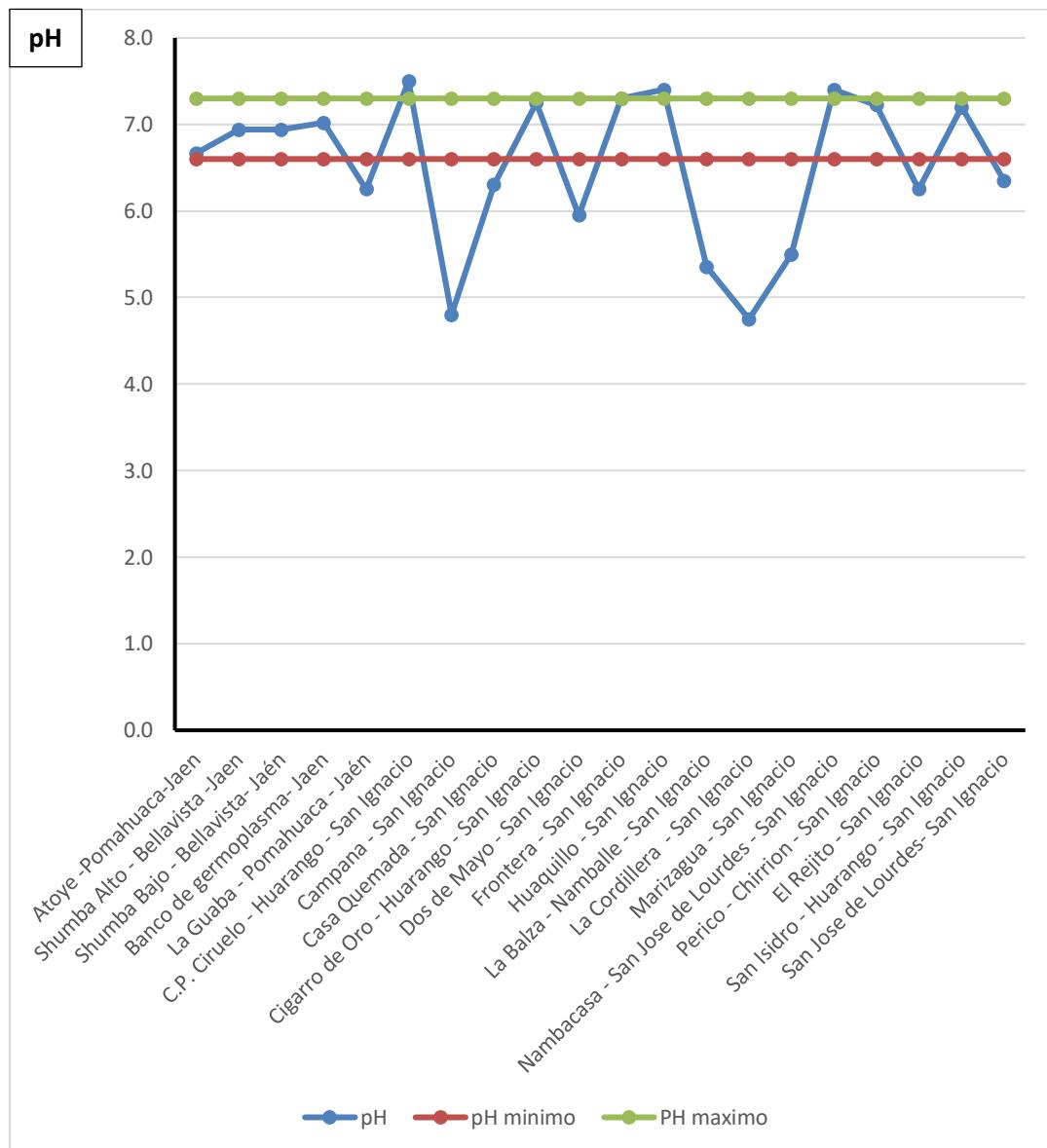
Se analizaron 99 muestras de suelos en total, luego de agrupar por localidad y promediar los valores de fertilidad se representa en la Tabla 6.

Tabla 7 Determinación de fertilidad de los suelos por comunidad en promedio

Provincia	Localidad	pH	Al (meq/100g)	M.O(%)	P (ppm)	K(ppm)	Cd (mg kg ⁻¹)
Jaén	Atoye - Pomahuaca	6,7	--	3,23	11,16	313,33	0,07
Jaén	Shumba Alto - Bellavista	6,9	--	1,92	10,11	328,00	0,07
Jaén	Shumba Bajo - Bellavista	6,9	--	1,54	11,23	327,00	0,07
Jaén	Banco de germoplasma	7,0	--	2,17	4,86	331,33	0,08
Jaén	La Guaba - Pomahuaca	6,3	--	3,67	5,85	292,50	0,06
San Ignacio	C.P. Ciruelo - Huarango	7,5	--	2,27	5,73	357,50	0,04
San Ignacio	Campana	4,8	--	2,99	2,38	220,00	0,06
San Ignacio	Casa Quemada	6,3	--	3,90	7,16	295,00	0,12
San Ignacio	Cigarro de Oro - Huarango	7,3	--	2,36	6,87	344,00	0,06
San Ignacio	Dos de mayo	6,0	--	3,29	4,53	280,00	0,09
San Ignacio	Frontera	7,3	--	2,20	8,59	345,00	0,09
San Ignacio	Huaquillo	7,4	--	2,45	8,11	350,00	0,08
San Ignacio	La Balza - Namballe	5,4	0,2	1,92	13,30	247,78	0,08
San Ignacio	La Cordillera	4,8	0,3	3,57	3,19	217,50	0,07
San Ignacio	Marizagua	5,5	--	4,47	3,34	255,00	0,12
San Ignacio	Nambacasa - San Jose de Lourdes	7,4	--	2,25	0,94	350,00	0,05
San Ignacio	Perico - Chirrón	7,2	--	0,76	8,34	341,25	0,12
San Ignacio	El Rejito	6,3	--	3,56	30,53	292,50	0,08
San Ignacio	San Isidro - Huarango	7,2	--	2,35	3,82	335,00	0,08
San Ignacio	San José de Lourdes	6,4	--	3,28	2,68	298,13	0,06

NOTA: Cabe mencionar el significado de las abreviaturas utilizadas en la Tabla M.O. es materia orgánica, P es fósforo, K es Potasio y Cd es Cadmio.

Figura 2 pH de suelo en las zonas productoras de caco en Jaén y San Ignacio

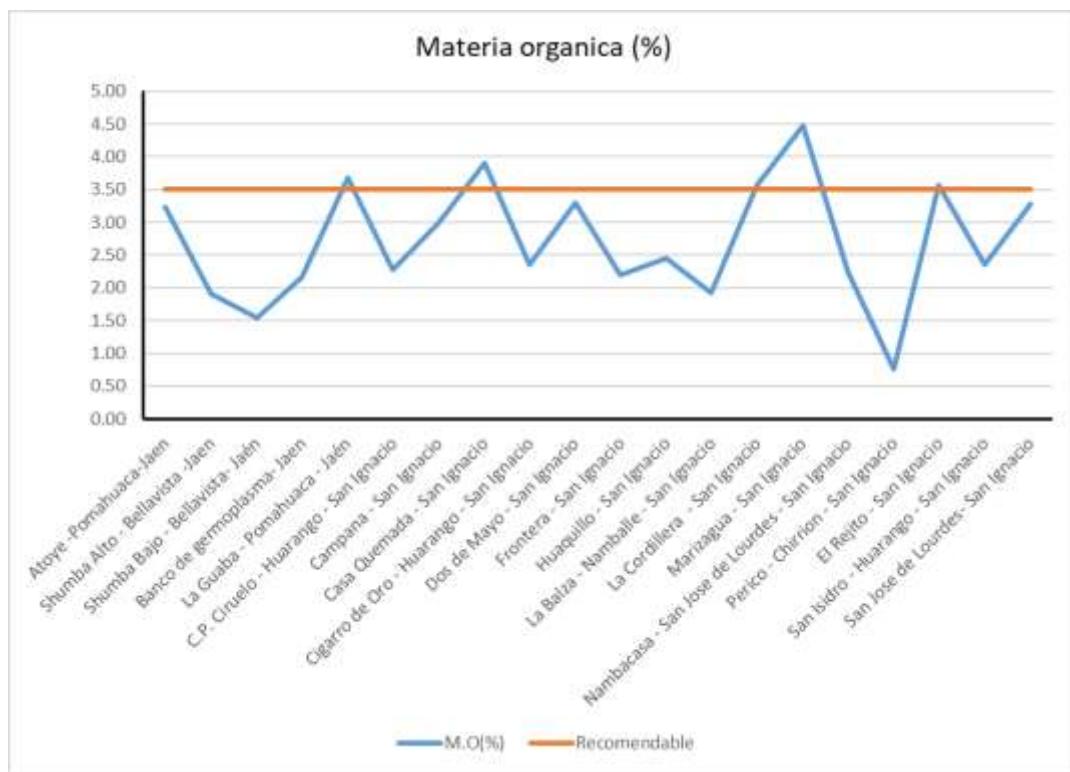


NOTA: Del análisis de los resultados de pH en suelos, comparado con la Tabla 4 de interpretación podemos indicar que los suelos tienen pH neutro en las comunidades de Jaén a excepción de La Guaba donde están en el rango de ligeramente ácidos, una de cinco; no presentan toxicidad por aluminio.

En lo referente al pH de los suelos de San Ignacio, se identificaron las comunidades de Campana, Casa Quemada, Dos de Mayo, La Balza, La Cordillera, Marizagua, El Rejito y San José de Lourdes con presencia de acidez en ocho de quince muestras; las demás comunidades están en el rango de neutralidad a ligeramente ácidos.

Sin embargo; al evaluar todas las muestras de suelos 40 muestras de 99 dieron en rango de acidez; de los cuales 13 muestras se reportaron extremadamente ácidas (13,13%) de las comunidades de Cordillera, La Balza y Campana. Según Thomas et al. (2023) en el estudio realizado a nivel macro en el Perú indica que los predictores más importantes de presencia de cadmio en los modelos nacionales fueron la geología, la estacionalidad de las precipitaciones, el pH del suelo y las precipitaciones.

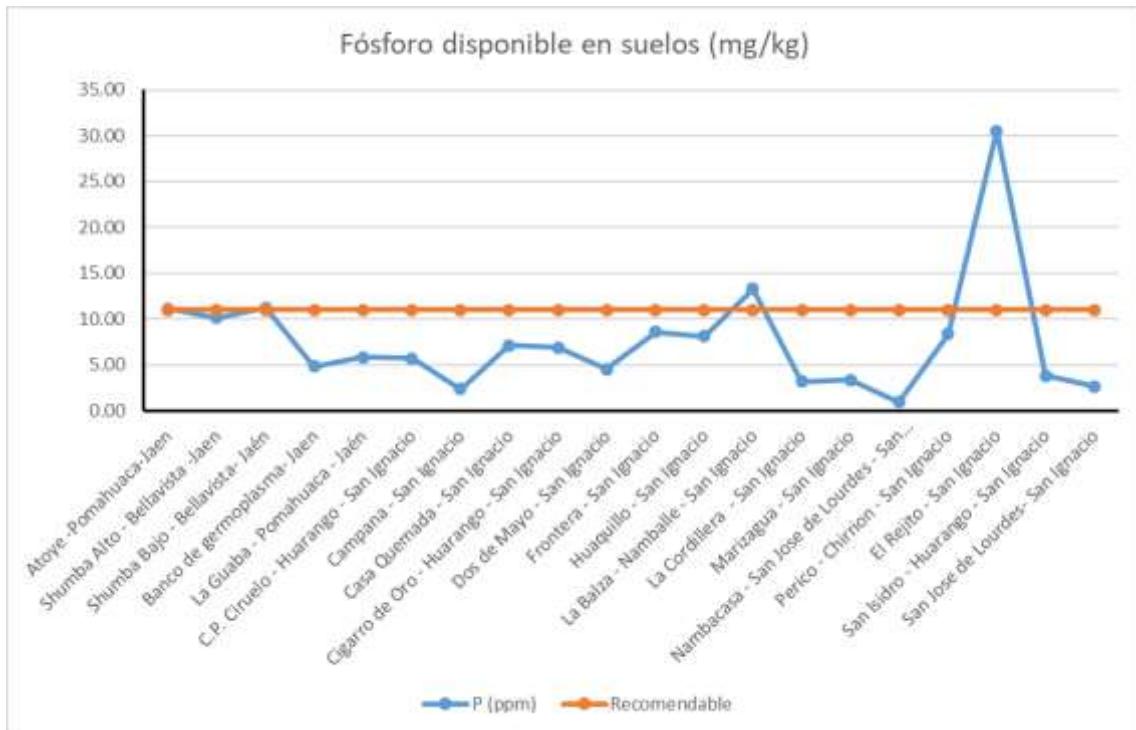
Figura 3 Contenido de materia orgánica en los suelos por localidad



Respecto al contenido de materia orgánica podemos indicar que los suelos de la comunidad de Pericos son considerados muy bajos; mientras que Namballe está como bajo en lo referido a la Provincia de San Ignacio; en la provincia de Jaén las localidades de Shumba Alto, Shumba Bajo tienen un nivel bajo y las demás están en nivel medio; al respecto es necesario mejorar el contenido de materia orgánica con abonamientos y buenas prácticas de manejo; porque el cultivo de cacao en su mayoría se desarrollan en zonas de ladera.

Haciendo una evaluación a detalle solo dos puntos contienen materia orgánica alta de 99 puntos, el 85% de los suelos tienen porcentaje bajo a muy bajo según la tabla 5 de interpretación para fertilidad de suelos; esto es una limitante para la productividad del cultivo de cacao, porque afecta la disponibilidad de nutrientes, porosidad de los suelos, retención de humedad.

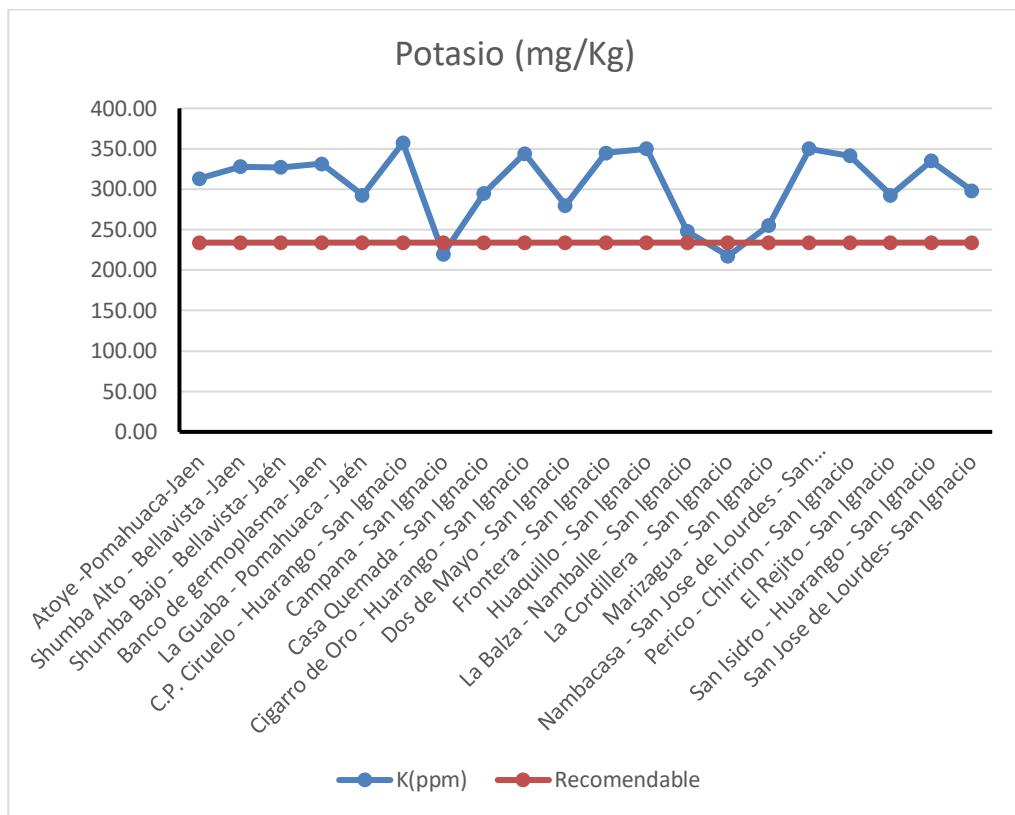
Figura 4 Contenido de fósforo disponible en suelos



El contenido de fósforo en los suelos productores de cacao está en niveles medio a bajo según la Tabla 6 de interpretación de resultados de análisis de suelos; solo dos localidades reportan nivel alto de fósforo, como son las comunidades de La Balsa y El Rejito en la provincia de San Ignacio, de acuerdo a la interpretación consignada en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (cuyos procedimientos son usados en la acreditación de Laboratorio de suelos del INIA).

Del total de las muestras el 44,4% (44 puntos) contienen niveles bajos de fósforo.

Figura 5 Contenido de potasio disponible en suelos



El contenido de potasio es medio a alto en las provincias evaluadas, según la Tabla 7 de interpretación de contenido de potasio disponible en suelos agrícolas. Lo que significa que no presentan deficiencia en este macronutriente importante.

En la evaluación de la fertilidad de los suelos dedicados a la producción de cacao en las provincias de Jaén y San Ignacio, se encontró que en su mayoría son ácidos, bajos en materia orgánica dando condiciones para la disponibilidad del cadmio; según Martínez & Charrupi (2017) encontró una relación similar con los aspectos de pH, materia orgánica y fósforo y la presencia de cadmio en Colombia; así mismo, Argüello et al. (2019), en el análisis de regresión multivariado mostró que las concentraciones de Cd en frijol aumentaron con el aumento del Cd total del suelo y con la disminución del pH del suelo, lo que demuestra que la solubilidad del cadmio afecta directamente la absorción.

4.2. Evaluación de contenido de cadmio en suelos

Al realizar la evaluación de cadmio en el suelo dedicado a la producción de cacao, según los puntos de muestreo indicados anteriormente se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8 Contenido de cadmio en el suelo

Provincia	Localidad	Cd (mg kg ⁻¹)
Jaén	Atoye - Pomahuaca	0,07
Jaén	Shumba Alto - Bellavista	0,07
Jaén	Shumba Bajo - Bellavista	0,07
Jaén	Banco de germoplasma	0,08
Jaén	La Guaba - Pomahuaca	0,06
San Ignacio	C,P, Ciruelo - Huarango	0,04
San Ignacio	Campana	0,06
San Ignacio	Casa Quemada	0,12
San Ignacio	Cigarro de Oro - Huarango	0,06
San Ignacio	Dos de mayo	0,09
San Ignacio	Frontera	0,09
San Ignacio	Huaquillo	0,08
San Ignacio	La Balza - Namballe	0,08
San Ignacio	La Cordillera	0,07
San Ignacio	Marizagua	0,12
San Ignacio	Nambacasa - San Jose de Lourdes	0,05
San Ignacio	Perico - Chirrión	0,12
San Ignacio	El Rejito	0,08
San Ignacio	San Isidro - Huarango	0,08
San Ignacio	San José de Lourdes	0,06

NOTA: Laboratorio de Suelos, aguas y foliares de la EEA Baños del Inca - INIA

Se han procesado 99 muestras de suelo en total; 44 pertenecientes a la provincia de Jaén y 55 a la provincia de San Ignacio, utilizando el método EPA 3050B, según lo establecido en el ECA de suelos (D.S. N° 011-2017-MINAM). Los puntos fueron determinados por las Agencias Agrarias de cada Provincia que conocen las zonas productoras de cacao.

Se ha considerado el promedio por comunidad para la Tabla 9; sin embargo, los resultados fueron reportados de las 99 muestras y entregadas a los productores de Cacao con recomendaciones de manejo de cultivo.

Relacionado a la presencia de cadmio en los suelos se puede indicar que el origen es natural porque no es usual el uso de fertilización en las zonas cacaoteras; Herrera (2011) indica que algunas plantas pueden concentrar el elemento y llegar a tener niveles mucho mayores que las del suelo, por lo que se requiere un mayor control de las concentraciones de cadmio en los alimentos, que coincide con nuestro estudio porque la concentración de cadmio en el suelo está por debajo de los estándares; sin embargo, si hay cadmio en los granos de cacao; lo que nos indica la bioacumulación del metal en la planta.

Coincidimos con el estudio de Gramlich et al.(2018) que indica que el origen del cadmio es de material parental en su mayoría y es necesario vigilar el cadmio total porque dependiendo del PH podría estar disponible para la absorción por la planta.

4.3. Concentración de cadmio en granos de cacao

Se ha procesado 95 muestras de grano de cacao de diferentes localidades, se ha promediado y cuyos datos se reportan a continuación.

Tabla 9 Contenido de cadmio en los granos de cacao

Provincia	Localidad	Cd (mg kg⁻¹)
Jaén	Atoye - Pomahuaca	0,34
Jaén	Shumba Alto - Bellavista	0,30
Jaén	Shumba Bajo - Bellavista	0,53
Jaén	Banco de germoplasma	0,26
Jaén	La Guaba - Pomahuaca	0,24
San Ignacio	C.P. Ciruelo - Huarango	0,22
San Ignacio	Campana	0,40
San Ignacio	Casa Quemada	0,37
San Ignacio	Cigarro de Oro - Huarango	0,30
San Ignacio	Dos de mayo	0,33
San Ignacio	Frontera	0,36
San Ignacio	Huaquillo	0,43
San Ignacio	La Balza - Namballe	0,45
San Ignacio	La Cordillera	0,50
San Ignacio	Marizagua	0,46
San Ignacio	Nambacasa - San Jose de Lourdes	0,66
San Ignacio	Perico - Chirrío	0,21

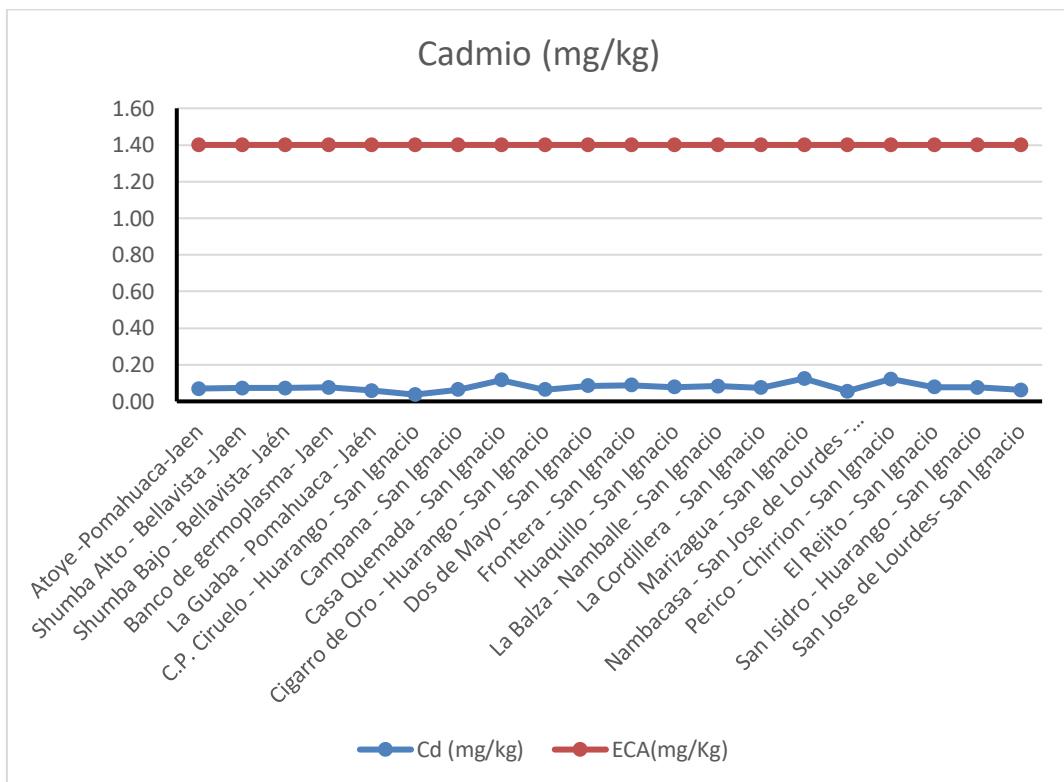
San Ignacio	El Rejito	0,23
San Ignacio	San Isidro - Huarango	0,26
San Ignacio	San José de Lourdes	0,57

NOTA: Laboratorio de suelos, aguas y foliares de la EEA Baños del Inca – INIA

De los 95 puntos de muestreo 15 reportan niveles iguales y superiores a $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ al ser comparado con los estándares de la Unión Europea ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$) representando aproximadamente el 16% del total. Es necesario tomar en cuenta estos puntos para una evaluación puntual y estudio posterior.

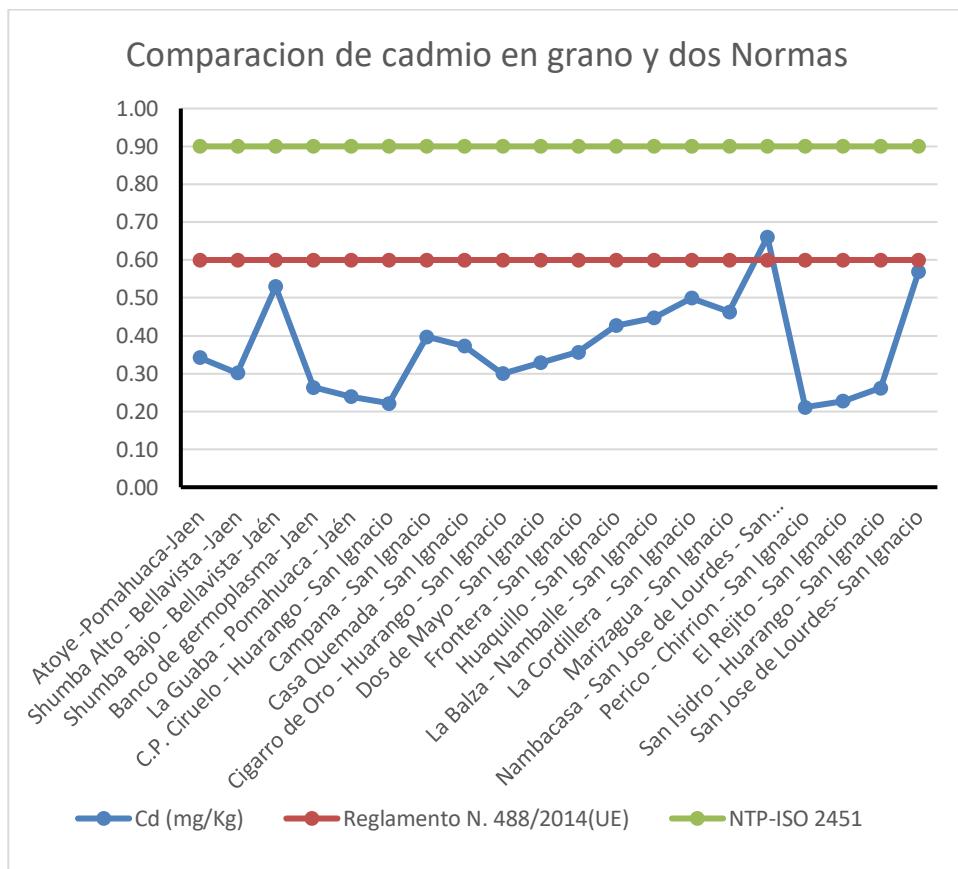
4.4. Comparación de concentración de cadmio con Normatividad

Figura 6 Concentración de cadmio en el suelo por localidad



Luego de evaluar la concentración de cadmio en los 99 puntos de muestreo de suelos, al promediar no se observa que superen el ECA Suelos D.S. N° 011-2017-MINAM que indica 1,4 mg kg⁻¹; sin embargo, cabe mencionar que hay zonas con concentraciones de 0,1 a 0,5 mg kg⁻¹ que se sugiere hacer estudios más a detalle para evaluar medidas de control de biodisponibilidad.

Figura 7 Concentración de cadmio (mg kg^{-1}) en granos por localidad



Al realizar la comparación del contenido de cadmio en los granos de cacao y la Norma Técnica Peruana - ISO 2451:2018, todas las localidades contienen niveles por debajo del límite permisible ($0,9 \text{ mg kg}^{-1}$); sin embargo, al comparar con el reglamento de la unión Europea N° 488/2014 ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$) se localizó un punto que está superando dicho estándar y corresponde a la localidad de Nambacasa en el distrito de San José de Lourdes provincia de San Ignacio.

Al evaluar al detalle se observa que en las localidades de Shumba Bajo, La Balza, San José de Lourdes y La Cordillera presentan niveles altos de cadmio; es necesario evaluar a mayor detalle en estas zonas para determinar el origen del cadmio que podría estar dado por el material parental, considerando que no hacen uso de fertilizantes fosforados y considerar la edad de las plantaciones por tener capacidad fito acumuladora.

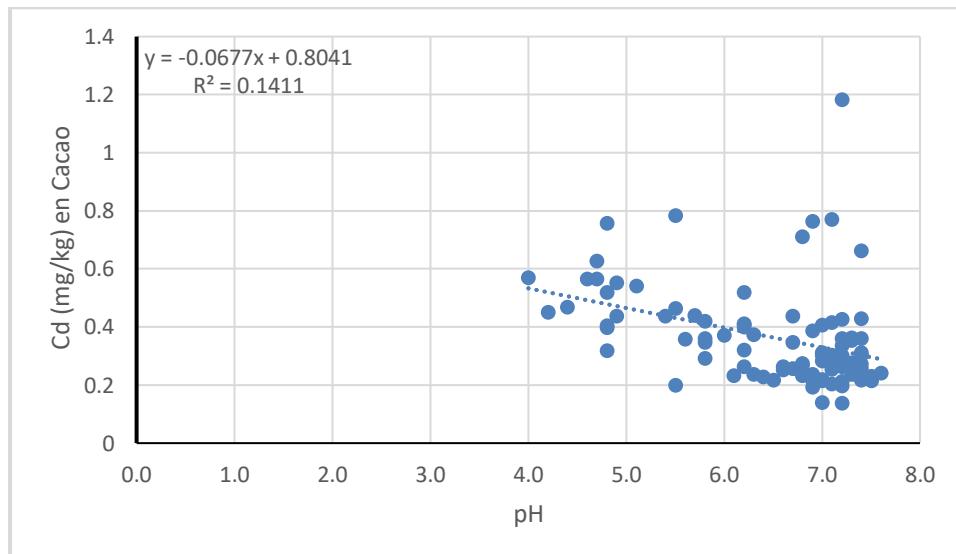
4.5. Evaluación estadística

4.5.1. Relación del pH del suelo con la concentración de cadmio en granos

Tabla 10 Análisis de correlación y regresión para el pH del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao

Parámetros del suelo	Cd (mg kg ⁻¹) en el grano			Ecuación de regresión
	Correlación de Pearson	r^2	p-valor	
	pH	-0,3756	0,1411	0,000

Figura 8 Relación entre pH y cadmio contenido en el grano de cacao



En la Figura 8, se observa una correlación negativa moderada entre el pH del suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao, con un coeficiente de correlación de -0,3756. El coeficiente de determinación (r^2) fue de 0,1411 e indica que aproximadamente el 14,11 % de la variabilidad en la concentración de cadmio puede explicarse por la variabilidad del pH del suelo. Además, el p-valor asociado al análisis de correlación fue de 0,000, el cual es menor al 0,05, lo que indica que la correlación observada es estadísticamente significativa, es decir, que el pH influye significativamente en la concentración de cadmio de los granos de cacao.

La ecuación de regresión lineal obtenida es $y = -0,0677x + 0,8041$, donde "y" representa la concentración de cadmio en los granos de cacao (Cd en ppm) y "x" representa el pH del suelo. Esta ecuación proporciona una estimación lineal de cómo la concentración de cadmio varía con cambios en el pH del suelo. La pendiente negativa (-0,0677) indica que a medida que el pH del suelo disminuye, se espera que la concentración de cadmio en los granos de cacao aumente.

En general, los resultados indican una correlación estadísticamente significativa y negativa entre el pH del suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao, lo que indica que el pH del suelo podría tener un impacto en la absorción de cadmio por parte de las plantas de cacao.

Tabla 11 Análisis de ANOVA y prueba de TUKEY para la correlación de pH y el cadmio contenido en el suelo

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	F	p-valor
Categoría de pH	0,003392	3	2,1396	0,1009
Residual	0,046499	88	–	–

El efecto del pH sobre la concentración de cadmio en el suelo no fue estadísticamente significativo ($p = 0,1009 > 0,05$).

Esto indica que las variaciones de pH entre los rangos ácido, ligeramente ácido, neutro y ligeramente alcalino no afectan de manera significativa la concentración total de Cd en el suelo.

Tabla 12 Análisis de ANOVA y prueba de Tukey para la correlación de PH y concentración de Cadmio en los granos de cacao

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	F	p-valor
Categoría de pH	0,429388	3	5,7801	0,00118
Residual	2,179084	88	–	–

El pH del suelo sí ejerce un efecto altamente significativo sobre la concentración de cadmio en el grano ($p = 0,00118 < 0,01$); esto significa que el pH del suelo influye directamente en la bio absorción de Cd por la planta de cacao.

Tabla 13 Prueba de significación de Tukey y cadmio en granos de cacao

Comparación de nivel de pH	Diferencia	p-	Significativo
	media	valor	
Ácido – Neutro	Diferente	< 0,05	**
Ácido – Ligeramente alcalino	Diferente	< 0,05	**
Ligeramente ácido – Neutro	No significativa	> 0,05	NS
Ligeramente ácido – Ligeramente alcalino	No significativa	> 0,05	NS

Interpretación:

Las plantas cultivadas en suelos ácidos ($pH < 5,5$) presentaron mayor concentración de Cd en el grano que aquellas en suelos neutros o ligeramente alcalinos.

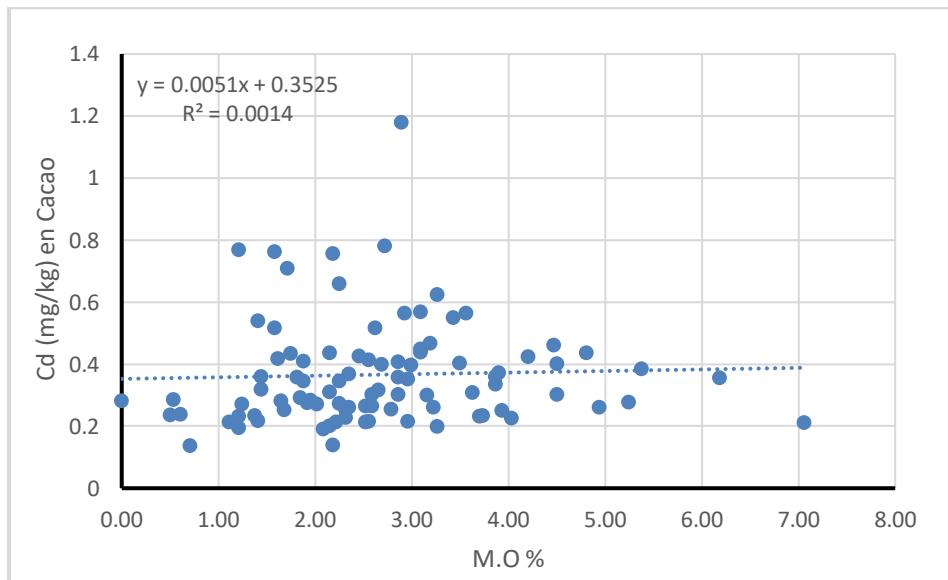
Esto se debe a que la disponibilidad del Cd aumenta en medios ácidos, favoreciendo su absorción por las raíces y su posterior translocación al fruto.

4.5.2. Relación del porcentaje de materia orgánica con el cadmio contenido en el grano

Tabla 14 Análisis de correlación y regresión para la materia orgánica del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao

Parámetros del suelo	Cd (mg kg ⁻¹)			Ecuación de regresión
	Correlación de Pearson	r ²	p-valor	
M.O (%)	0,0374	0,0014	0,644	y = 0,0051x + 0,3525

Figura 9 Relación entre la materia orgánica y el cadmio contenido en los granos de cacao



Los resultados de la Tabla 14 y Figura 9, muestra el valor de correlación calculado, el cual fue de 0,0374 e indica una correlación muy débil entre la materia orgánica del suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao. El coeficiente de determinación (r^2) fue de 0,0014 lo que indica que aproximadamente el 0,14 % de la variabilidad en la concentración de cadmio puede ser explicada por la variabilidad de la materia orgánica del suelo. Además, el p-valor asociado al análisis de correlación es de 0,644 y es mayor al 0,05, lo que indica

que la correlación observada no es estadísticamente significativa, es decir, que la materia orgánica no influye en la concentración de cadmio de los granos de cacao.

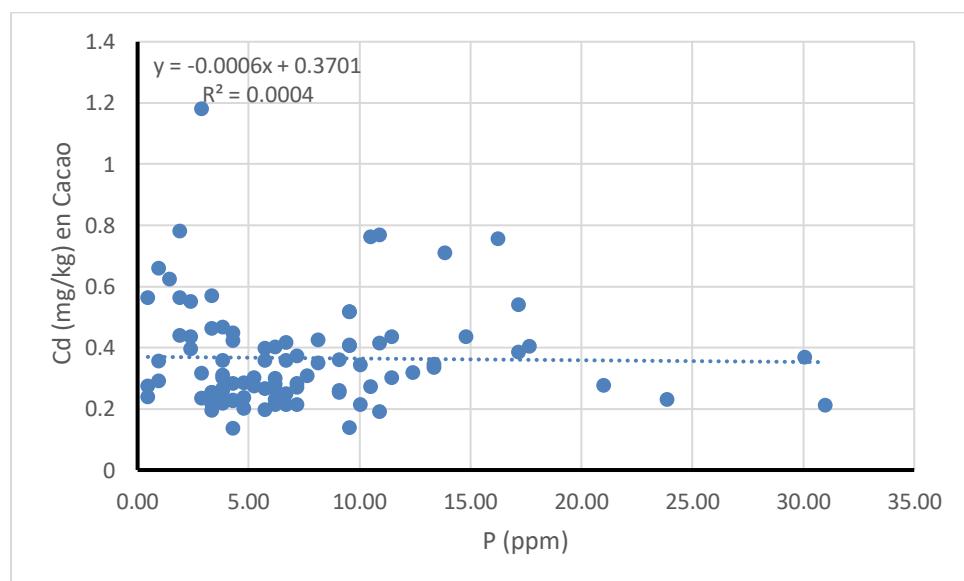
La ecuación de regresión $y = 0,0051x + 0,3525$ proporciona una estimación lineal de la relación entre la materia orgánica del suelo (%) y la concentración de cadmio. Sin embargo, dado el bajo coeficiente de determinación y el p-valor no significativo, la utilidad práctica de esta ecuación podría ser limitada, ya que la relación es no significativa.

4.5.3. Relación del fosforo con el cadmio contenido en el cacao

Tabla 15 Análisis de correlación y regresión para el fósforo disponible del suelo y el cadmio

Parámetros del suelo	Cd (mg kg ⁻¹) en el cacao			Ecuación de regresión
	Correlación de Pearson	r^2	p-valor	
P (mg kg ⁻¹)	-0,02	0,0004	0,211	$y = -0,0006x + 0,3701$

Figura 10 Relación entre el fósforo disponible en suelos y el cadmio contenido en los granos de cacao



En la Tabla 15 y Figura 10, se observa la correlación calcula de -0,02, el cual indica una correlación muy débil y prácticamente inexistente entre el fósforo del suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao. El coeficiente de determinación (r^2) de 0,0004 sugiere que apenas el 0,04 % de la variabilidad en la concentración de cadmio puede ser explicada por la variabilidad del fósforo del suelo. El p-valor asociado al análisis de correlación es 0,211, lo cual es mayor al 0,05, esto indica que la correlación observada no es estadísticamente significativa; es decir, que el fosforo no influye en la concentración de cadmio de los granos de cacao.

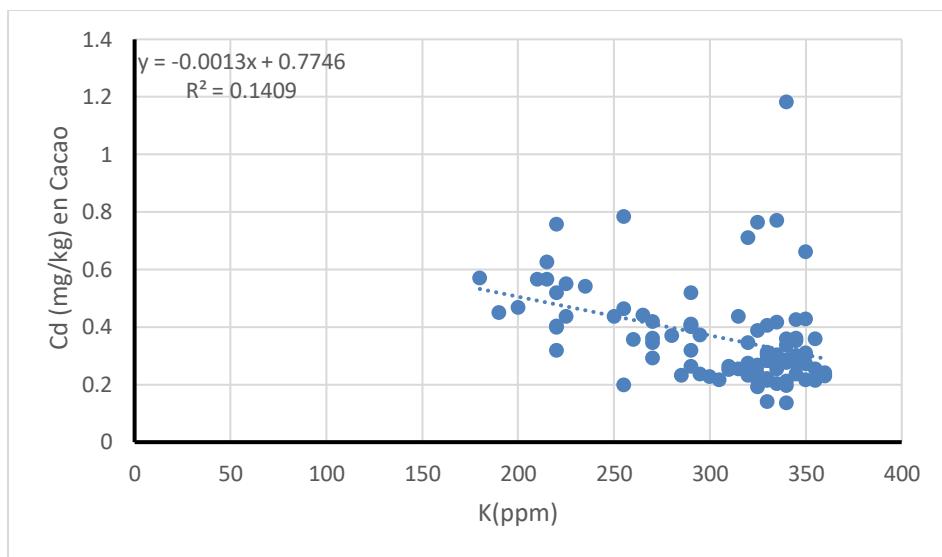
La ecuación de regresión $y = -0,0006x + 0,3701$ proporciona una estimación lineal de la relación entre el fósforo del suelo y la concentración de cadmio. Sin embargo, dado el bajo coeficiente de determinación y el p-valor no significativo, indica que la utilidad práctica de esta ecuación podría ser limitada, ya que la relación es no significativa.

4.5.4. Relación del potasio con el cadmio contenido en el cacao

Tabla 16 Análisis de correlación y regresión para el potasio del suelo y el cadmio contenido en los granos de cacao

Parámetros del suelo	Cd (mg kg ⁻¹) en el cacao				Ecuación de regresión
	Correlación de Pearson	r^2	p- valor		
K(mg kg ⁻¹)	-0,3754	0,1409	0,865		$y = -0,0013x + 0,7746$

Figura 11 Relación entre el potasio disponible y el cadmio contenido en los granos de cacao



La Tabla 16 y Figura 11, muestran la correlación calculada el cual es de -0,3754 e indica una correlación negativa moderada entre el potasio del suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao. Sin embargo, el p-valor asociado al análisis de correlación es mayor al 0,05 (0,865), lo cual indica que la correlación observada no es estadísticamente significativa, es decir, que el potasio no influye en la concentración de cadmio de los granos de cacao.

El coeficiente de determinación (r^2) de 0,1409 sugiere que aproximadamente el 14,09 % de la variabilidad en la concentración de cadmio puede ser explicada por la variabilidad en el potasio del suelo. Aunque el porcentaje es mayor en comparación con algunos otros parámetros, aún es relativamente bajo.

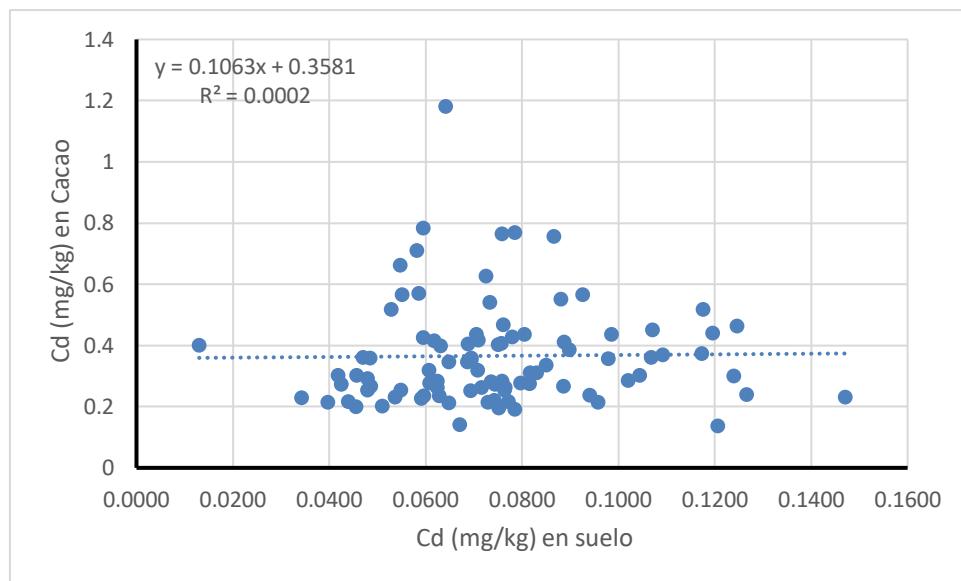
La ecuación de regresión $y = -0,0013x + 0,7746$ proporciona una estimación lineal de la relación entre el potasio del suelo y la concentración de cadmio. Sin embargo, dado el bajo coeficiente de determinación y el p-valor no significativo, indica que la utilidad práctica de esta ecuación podría ser limitada, ya que la relación es no significativa.

4.5.5. Relación del cadmio contenido en el suelo con el cadmio contenido en el cacao

Tabla 17 Análisis de correlación y regresión para el cadmio contenido en el suelo con el cadmio contenido en el cacao

Parámetros del suelo	Cd (mg kg ⁻¹) en el cacao			Ecuación de regresión
	Correlación de Pearson	r ²	p-valor	
Cd (mg kg ⁻¹) en el suelo	0,0141	0,0002	0,664	$y = 0,1063x + 0,3581$

Figura 12 Relación entre el cadmio contenido en el suelo con el cadmio en el cacao



La Tabla 17 y Figura 12, muestra la correlación calculada, la cual es de 0,0141 e indica una correlación muy débil y prácticamente inexistente entre el contenido de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao. El coeficiente de determinación (r^2) de 0,0002 indica que apenas el 0,02 % de la variabilidad en la concentración de cadmio en los granos de cacao puede ser explicada por la variabilidad en el contenido de cadmio en el suelo. El p-valor asociado al análisis de correlación es 0,664, lo cual es mayor que el 0,05. Esto indica que la correlación observada no es estadísticamente significativa, es decir, que

el cadmio contenido en el suelo no influye en la concentración de cadmio de los granos de cacao.

La ecuación de regresión $y = 0,1063x + 0,3581$ proporciona una estimación lineal de la relación entre el contenido de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en los granos de cacao. Sin embargo, dado el bajo coeficiente de determinación y el p-valor no significativo, indica que la utilidad práctica de esta ecuación podría ser limitada, ya que la relación es no significativa.

Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA) para el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio

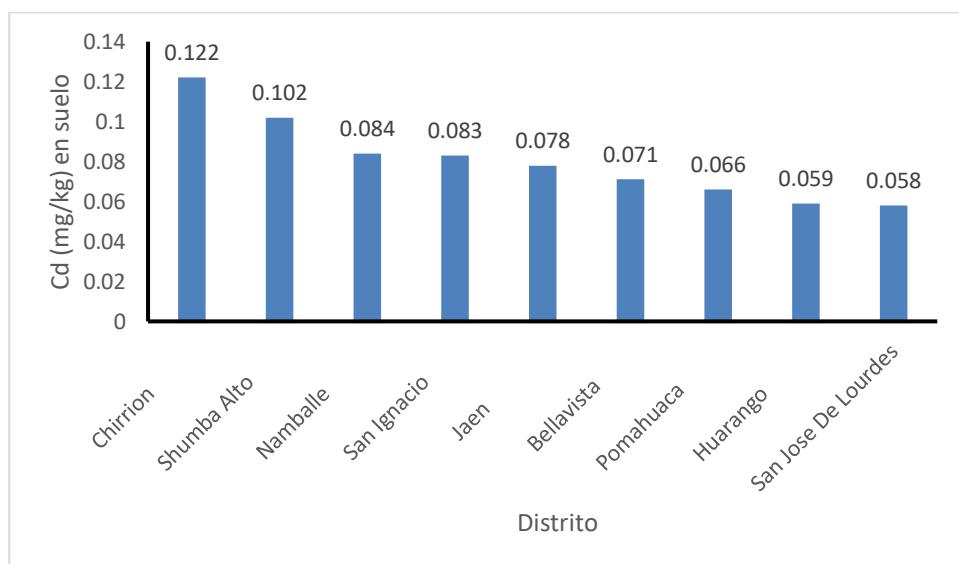
Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Distrito	0.005	8	0.0006	1.3787	0.2862
Error	0.0064	14	0.0005		
Total	0.0114	22			
CV = 27.74 %					

En la Tabla 18, se presentan los resultados del análisis de varianza, en el cual se observa que no existe significación para la fuente distrito, dado que el valor de significación (p-valor = 0,2862) es mayor al 5 %, por lo que el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio, no se diferencian. En términos prácticos, los niveles de cadmio en los suelos de los diversos distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio son bastante similares. En otras palabras, el análisis no respalda la existencia de disparidades estadísticamente significativas en la concentración de cadmio, según la división por distritos. Con respecto al coeficiente de variación, se obtuvo un valor de 27,74 % lo que indica la variación del cadmio obtenido en las distintas muestras de suelo tomadas dentro de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio.

Tabla 19 Concentración de cadmio en los suelos de los distritos de Jaén y San Ignacio

Distritos	Concentración del Cd (mg kg ⁻¹) en suelo
Chirrío (Pericos)	0,122
Shumba Alto	0,102
Namballe	0,084
San Ignacio	0,083
Jaen	0,078
Bellavista	0,071
Pomahuaca	0,066
Huarango	0,059
San José De Lourdes	0,058

Figura 13 Medias del cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio



En la Tabla 19 y Figura 13, se presentan las concentraciones de cadmio en los suelos de diferentes distritos de las provincias de Jaén y San Ignacio en Cajamarca. Las medias del

cadmio en los suelos varían entre los distintos distritos, siendo Chirrion el distrito con la concentración más alta ($0,122 \text{ mg kg}^{-1}$) y San José de Lourdes el distrito con la concentración más baja ($0,058 \text{ mg kg}^{-1}$). A pesar de que las medias varían entre los distritos, el hecho de que el ANOVA no haya encontrado diferencias significativas indica que estas variaciones no reflejan diferencias estadísticamente significativas en la concentración de cadmio entre los distritos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta los estándares para la interpretación de datos y riesgos de traslocación.

Tabla 20 Análisis de varianza (ANOVA) para el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Distrito	0,2074	8	0,0259	2,8559	0,0413
Error	0,1271	14	0,0091		
Total	0,3346	22			
CV = 25,91 %					

En la Tabla 20, se presentan los resultados del análisis de varianza, en el cual se observa que existe significación para la fuente distrito, dado que el valor de significación (p-valor = 0,0413) es menor al 5 %, por lo que el cadmio obtenido en los suelos de los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio, no se diferencian. Esto indica que la concentración de cadmio presentes en los granos del cacao se diferencia según el distrito de origen,

Con respecto al coeficiente de variación, se obtuvo un valor de 25,91 % lo que indica la variación del cadmio obtenido en las distintas muestras de granos de cacao tomadas dentro de los distritos de la provincia de la provincia de Jaén y San Ignacio.

Figura 14 Concentración de cadmio en los granos de cacao en los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio

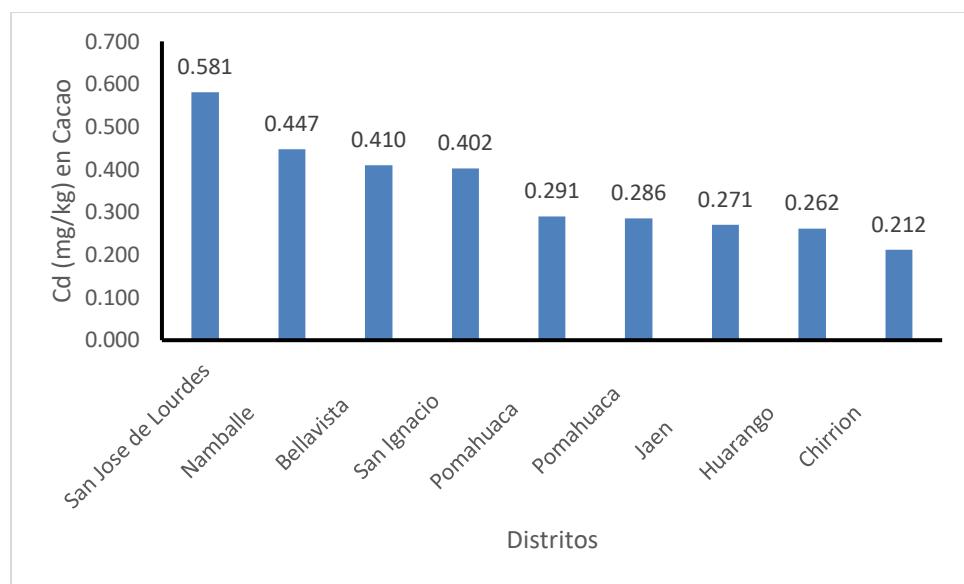


Tabla 21 Prueba de Duncan para el contenido de cadmio en los granos de cacao en los distritos de la provincia de Jaén y San Ignacio

Distrito	Concentración de	Agrupación
	Cd (mg kg^{-1}) en	
	Cacao	
San José De Lourdes	0,581	A
Namballe	0,447	AB
Bellavista	0,410	AB
San Ignacio	0,402	AB
Pomahuaca	0,291	B
Shumba Alto	0,286	B
Jaén	0,271	B
Huarango	0,262	B
Chirrion	0,212	B

Letras iguales no difieren estadísticamente y $p \leq 0.05$

La localidad de San José de Lourdes presentó una concentración promedio de 0.581 mg/kg de cadmio, siendo el valor más alto entre los distritos analizados y significativamente

diferente de los del grupo B. Este nivel se aproxima al límite máximo permitido por la Unión Europea (0,8 mg/kg), por lo que se considera una zona crítica de acumulación de Cd en el cacao.

Los distritos de Namballe (0,447 mg/kg), Bellavista (0,410 mg/kg) y San Ignacio (0,402 mg/kg) conforman un grupo intermedio (AB), con concentraciones de cadmio que no difieren significativamente del valor alto de San José de Lourdes (0,581 mg/kg) ni de los distritos del grupo B, por lo que se consideran zonas de riesgo medio.

Los distritos de Pomahuaca (0,91 mg/kg), Shumba Alto (0,286 mg/kg), Jaén (0,271 mg/kg), Huarango (0,262 mg/kg) y Chirrío (0,212 mg/kg) integran el grupo B, con concentraciones de cadmio bajas y estadísticamente menores que las del grupo A. En estas zonas, los valores se mantienen dentro de límites seguros, lo que sugiere suelos menos ácidos y con mejores condiciones edáficas que limitan la absorción del metal.

Prueba de significación de Tukey (Cd en granos)

La prueba de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$) permitió identificar qué pares de localidades difieren significativamente entre sí, Shumba Bajo y San José de Lourdes muestran los valores más altos de Cd (hasta 1,18 mg/kg); La Balza y La Cordillera mantienen valores intermedios con dispersión moderada, mientras que Perico, C.P Ciruelo y Atoye presentan valores bajos ($< 0,25$ mg/kg).

El efecto de la localidad sobre la concentración de Cd en el grano es estadísticamente significativo ($p < 0,01$), lo que confirma la influencia del entorno edáfico y microclimático.

Las localidades con suelos más ácidos o con menor contenido de materia orgánica tienden a presentar mayor absorción de Cd.

Los valores en San José de Lourdes y Shumba Bajo exceden en algunos casos los límites de referencia europeos para cacao (<0,8 mg/kg), sugiriendo la necesidad de monitoreo y medidas correctivas (encalado o mezcla de granos).

Se recomienda realizar un mapeo geoespacial del Cd en el suelo y grano, correlacionándolo con el pH, textura y contenido de arcilla para definir zonas críticas.

En la evaluación encontramos que el 16 % de las 95 muestras analizadas han superado el límite máximo permitido por el Reglamento N° 488/2014; sin embargo, en el estudio de Arguello (2019) determinó que el 45% de los granos de cacao superaron los límites establecido por la misma Norma; además en el estudio realizado por Thomas et al, (2023) donde determinaron las regiones del Perú que presentan altos niveles de cadmio no se encuentra Cajamarca, donde usaron 200 muestras a nivel nacional representando una evaluación macro; y nuestro estudio fue de 95 muestras en dos provincias de Cajamarca.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La concentración de cadmio en el suelo se encuentra dentro del límite establecido en el ECA Suelos del Perú; sin embargo, la concentración en los granos de cacao el 15% (15 muestras de 95) muestran concentraciones superiores a lo indicado en el Reglamento N° 488/2014 de la U.E en las localidades de San José de Lourdes y Shumba Bajo exceden en algunos casos los límites de referencia europea.

La evaluación de la fertilidad de los suelos dedicados a la producción de cacao en las Provincias de Jaén y San Ignacio, se determinó que 44,4% son ácidos y 13,13% extremadamente ácidos; el 85% de los suelos presentan bajo contenido de materia orgánica; el 83,8% son suelos bajos en fósforo; sin embargo, el contenido de potasio es medio a alto en general; se encontró una correlación negativa entre pH de suelos y la concentración de cadmio.

Los suelos dedicados a la producción de cacao en las provincias de Jaén y San Ignacio de la Región Cajamarca presentan niveles bajos de cadmio; debajo del ECA de suelos aprobados por el D. S. N° 011-2017-MINAM, registrando concentraciones entre 0,06 a 0,12 mg kg⁻¹ y la Norma establece 1,4 mg kg⁻¹

Al evaluar la concentración de cadmio en los granos de cacao en localidades de Jaén y San Ignacio; se determinó que en la provincia de Jaén en la Localidad de Shumba Alto tres puntos de muestreo dieron valores promedio de 0,75 mg kg⁻¹; tres puntos en San José de Lourdes, un punto en la Balsa y cinco puntos en La Cordillera en la provincia de San Ignacio superaron lo establecido en el reglamento N° 488/2014 de la U.E, que establece como 0,6 mg kg⁻¹ el límite; además se encontró un punto de muestreo en la Parcela Los Pozos en San José de Lourdes que presentó 1,8 mg kg⁻¹ que supera a la NTP ISO 2451:2018 que indica como 0,9 mg kg⁻¹ el límite máximo.

Recomendaciones:

Se sugiere realizar investigaciones más puntuales en las zonas identificadas con alto contenido de cadmio.

Probar estrategias de reducción de la bioabsorción de cadmio por el cultivo de cacao; así como la influencia de la edad de las plantaciones en la capacidad bioacumuladora de cadmio.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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/10.18041/1900-3803/entramado.2.6753>
- Ahmad, A. (2017). Salinity in soil increased cadmium uptake and accumulation potential of two terrestrial plants. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 10(3), 132–142. <https://doi.org/10.12692/ijb/10.3.132-142>
- Arévalo Gardini, E., Obando Cerpa, M. E., Zúñiga Cernades, L. B., Arévalo Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). 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>
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Arias-Contreras, M. A., Checca-Huaman, N. R., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Passamani, E. C., & Ramos-Guivar, J. A. (2024). Medium scale-up synthesis of nanomaghemit as an inhibitor of cadmium uptake in seedlings of *Theobroma cacao* L. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101295>

Bueno Buelvas, R., Cristian Fernández Lizarazo, J., Buelvas, B., Lizarazo, F., & Cristian, J. (2019). *La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos nutrición clave en la producción de alimentos.*
<https://ciencia.lasalle.edu.co/ai>

Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205–214.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>

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/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>

Environmental Protection Agency, U. (1996). *METHOD 3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS 1.0 SCOPE AND APPLICATION.*

Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, 51(8), 813–831.

Florida Rofner, N. (2022). Review on maximum limits of cadmium in cocoa (Theobroma cacao l.). *Granja*, 34(2), 113–126. <https://doi.org/10.17163/LGR.N34.2021.08>

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*, 612, 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>

- 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*, 612, 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>
- Gomis. Yagües. (2008). *Tipo de espectrometria*.
- He, S., He, Z., Yang, X., Stoffella, P. J., & Baligar, V. C. (2015). Soil Biogeochemistry, Plant Physiology, and Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils. *Advances in Agronomy*, 134, 135–225. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.005>
- Herrera Marcano, Teodoro. (2021). *LA CONTAMINACIÓN CON CADMIO EN SUELOS AGRÍCOLAS*. Stationery Office.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA Tacuarembó 20 de mayo de 2015. *Inia*, 19. http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA_Tacuaremb%C3%B3/2015/El_Suelo_20_de_mayo.pdf
- Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. y Naidu, R. (2012). Sorción y desorción de cadmio en suelos: una revisión. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42, 489-533. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.520234>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología 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)

Martínez, Diana., & Charrupi, N. (2017). Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño.

Universidad de La Salle - Ciencia UNISALLE, 131.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1717&context=ing_ambiental_sanitaria

Meter, A., Atkinson R., J., & Laliberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de America Latina y el Caribe. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v15n2/a03v15n2.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *COMMODITIES 2020 - Arroz*. 3–5.

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1026014/Commodities_arroz_abr-jun_2020.pdf.

Osorio, N. W. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES.

Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal, 1(4), 4–7.

http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf

Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in Theobroma cacao L. *Science of the Total Environment*, 693, 133563.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>

Schweizer Lassaga, S. (2011). *MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS PARA DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36–58.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>

Statement on tolerable weekly intake for cadmium. (2011). *EFSA Journal*, 9(2).

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>

Suquilanda V., M. B. (2008). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 29–31.

Thomas, E., Atkinson, R., Zavaleta, D., Rodriguez, C., Lastra, S., Yovera, F., Arango, K., Pezo, A., Aguilar, J., Tames, M., Ramos, A., Cruz, W., Cosme, R., Espinoza, E., Chavez, C. R., & Ladd, B. (2023). The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru. *Science of the Total Environment*, 881.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163372>

Toledo, M. (2017). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

<http://repositorio.iica.int/handle/11324/3108>

Wang, R., Sang, P., Guo, Y., Jin, P., Cheng, Y., Yu, H., Xie, Y., Yao, W., & Qian, H. (2023). Cadmium in food: Source, distribution and removal. In *Food Chemistry* (Vol. 405). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134666>.

Zug, K. L. M., Huamaní Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao L.*) and Opportunities for Mitigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(3).

<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1.

Georreferenciación de los puntos de muestreo

Distrito	Provincia	Departamento	UTM	Altitud (msnm)
Bellavista	Jaén	Cajamarca	744137	9387605
Bellavista	Jaén	Cajamarca	794134	9387610
Bellavista	Jaén	Cajamarca	744123	9387626
Bellavista	Jaén	Cajamarca	744116	9387644
Bellavista	Jaén	Cajamarca	744131	9387664
Bellavista	Jaén	Cajamarca	740515	9383329
Bellavista	Jaén	Cajamarca	740514	9383325
Bellavista	Jaén	Cajamarca	748495	9383330
Bellavista	Jaén	Cajamarca	740474	9383320
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698036	9347056
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697785	9346959
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698179	9346877
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697932	9346605
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698224	9346682
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697769	9347177
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697748	9347189
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697747	9347192
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697328	9346567
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697871	9347015
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697778	9346642
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697482	9346835
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698067	9346864
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697335	9346940
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	697334	9346582
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698331	9346955
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698336	9346962
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698362	9346968
Pomahuaca	Jaén	Cajamarca	698365	9346981
Jaén	Jaén	Cajamarca	746621	9371948
Jaén	Jaén	Cajamarca	746638	9371916
Jaén	Jaén	Cajamarca	746563	9371950
Jaén	Jaén	Cajamarca	746503	9371959
Jaén	Jaén	Cajamarca	746562	9371902
Jaén	Jaén	Cajamarca	746600	9371883
Jaén	Jaén	Cajamarca	946562	9371845
Jaén	Jaén	Cajamarca	746557	9371860

Jaén	Jaén	Cajamarca	746568	9371875	638
Jaén	Jaén	Cajamarca	746483	9371931	649
Jaén	Jaén	Cajamarca	746495	9371924	637
Jaén	Jaén	Cajamarca	746497	9371921	636
Jaén	Jaén	Cajamarca	746464	9371896	640
Jaén	Jaén	Cajamarca	746532	9371975	639
Jaén	Jaén	Cajamarca	766529	937990	639
Shumba Alto	Jaén	Cajamarca	740474	9383346	745
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	731314	9435521	1200
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	731358	9435454	1161
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	722840	9432702	1136
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	731355	9435450	1150
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	721072	9431189	1100
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	731250	9434201	1030
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	731248	9434477	1031
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	730642	9434764	1008
San José de Lourdes	San Ignacio	Cajamarca	723625	9932890	780
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	721310	9431865	1382
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	732234	9426569	583.65
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	732510	9425475	564.15
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	732320	9426061	557.36
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	726421	9433669	611.17
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	719368	9431991	1595.19
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	724564	9428574	1124.88
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	724343	9428165	1162.18
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	722614	9430450	1201
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742687	9413712	497
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742687	9413712	497
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742810	9413592	531
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742810	9413592	531
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742642	9413590	504
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	740163	9412914	
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742642	9413599	504
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742868	9413572	488
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	742868	9413572	488
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	740163	9412914	224
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	743178	9417313	598
Huarango	San Ignacio	Cajamarca	744169	9415254	553

Huarango	San Ignacio	Cajamarca	944109	9415254	553
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708129	9449614	722
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708086	9449592	737
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708161	9449640	716
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708469	9449500	705
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708465	9449475	706
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708440	9449382	720
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708392	9449469	730
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708386	9449469	721
Namballe	San Ignacio	Cajamarca	708421	9449505	703
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	718652	9434589	1461
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	718654	9434591	1450
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca			
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	718662	9434631	1441
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	718679	9434632	1460
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca			
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	720013	9436534	1282
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	720028	9436546	1274
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca			
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	720070	9436538	1284
San Ignacio	San Ignacio	Cajamarca	9430422	722659	1174
Chirrío	San Ignacio	Cajamarca	744884		442
Chirrío	San Ignacio	Cajamarca	744873	9408196	447
Chirrío	San Ignacio	Cajamarca			
Chirrío	San Ignacio	Cajamarca	744924	94088202	446

Anexo 2.

Estándar de Calidad Ambiental en Suelos – D.S. N° 011-2017 - MINAM

12	NORMAS LEGALES	Sábado 2 de diciembre de 2017 /  El Peruano
	<p>Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;</p> <p>Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;</p> <p>SE RESUELVE:</p> <p>Artículo 1.- Dispónase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del Índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe, por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe.</p> <p>Artículo 2.- Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.</p> <p>Regístrate, comuníquese y publique,</p> <p>ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA Jefe Autoridad Nacional del Agua 1593024-1</p> <p>AMBIENTE</p> <p>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo</p> <p>DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM</p> <p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p>	<p>CONSIDERANDO:</p> <p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p> <p>Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p> <p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p> <p>Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;</p> <p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p> <p>Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creadón, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;</p> <p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;</p> <p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado</p>
		<p>DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO</p> <p>El Peruano</p>

ANEXO

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

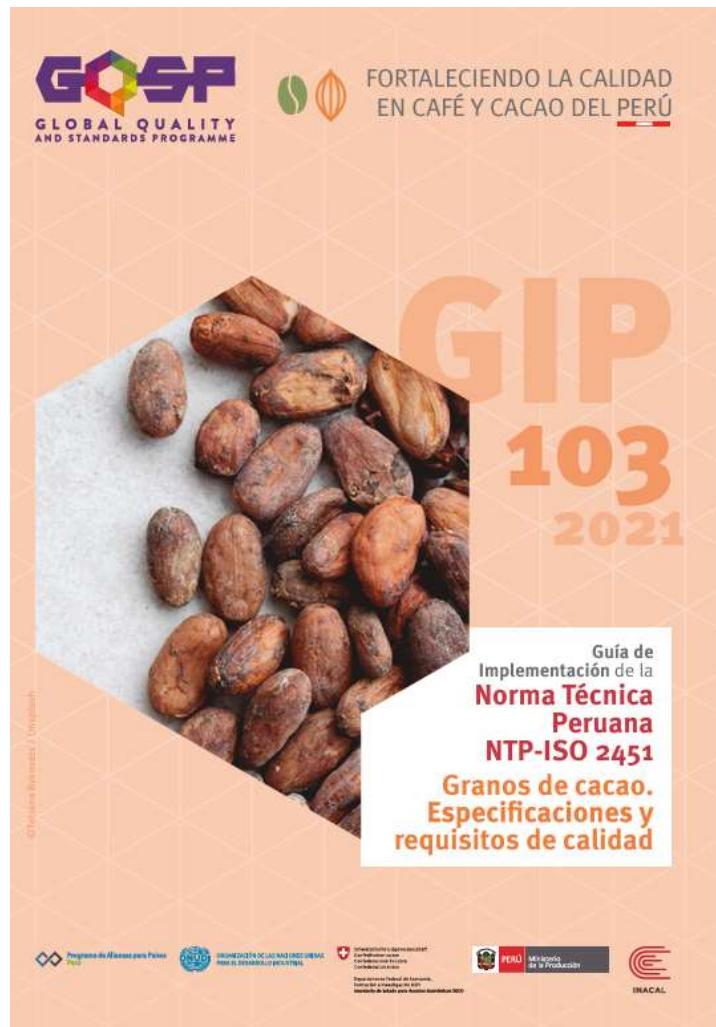
Parámetros en mg/kg PS ^a	Usos del Suelo ^b			Métodos de ensayo ^{c,d}	
	Suelo Agrícola ^e	Suelo Residencial/ Parques ^f	Suelo Comercial ^g / Industrial/ Extractivo ^h		
ORGÁNICOS					
Hidrocarburos aromáticos volátiles					
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁱ EPA 8021	
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021	
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021	
Xilenos ^j	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021	
Hidrocarburos poliaromáticos					
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270	
Benzo(a)pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270	
Hidrocarburos de Petróleo					
Fracción de hidrocarburos F1 ^j (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015	
Fracción de hidrocarburos F2 ^j ($>C10-C28$)	1200	1200	5000	EPA 8015	
Fracción de hidrocarburos F3 ^j ($>C28-C40$)	3000	3000	6000	EPA 8015	
Compuestos Organoclorados					
Bifenilos policlorados - PCB ^j	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270	
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260	
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260	
INORGÁNICOS					
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051	
Bario total ^j	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051	
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051	
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051	
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ^j	
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8	
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051 EPA 9013	
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17890:2015	

Notas:

Anexo 3.

Norma Técnica Peruana para Cacao R. D. N° 020-2017-INACAL/DN

NTP-ISO 2451:2018



GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN PERUANA							27 de 52																								
Requisito	Especificaciones y consideraciones					Evaluación de la conformidad/ Tamaño de muestra	Observaciones/ Recomendaciones																								
	<p>La regulación nacional (R.M. N° 591-2008-MINSA) con relación al cacao en pasta o leche de cacao o torta de cacao, establece en el siguiente cuadro los criterios microbiológicos para estos productos derivados del cacao, los cuales pueden ser utilizados como referencia para el requisito de inocuidad del grano de cacao.</p> <p>Tabla 6 - Criterios microbiológicos para cacao en pasta y torta de cacao</p> <table border="1"><thead><tr><th>Agente microbiano</th><th>Categoría</th><th>Clase</th><th><i>n</i></th><th><i>c</i></th><th>Límite por g u mL</th><th></th></tr><tr><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th><i>m</i></th><th><i>M</i></th></tr></thead><tbody><tr><td>Salmonella sp.</td><td>10</td><td>2</td><td>5</td><td>0</td><td>Ausencia</td><td>>22g</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>—</td><td>—</td></tr></tbody></table>	Agente microbiano	Categoría	Clase	<i>n</i>	<i>c</i>	Límite por g u mL							<i>m</i>	<i>M</i>	Salmonella sp.	10	2	5	0	Ausencia	>22g						—	—		<ul style="list-style-type: none">Criterios microbiológicos: ausencia/25g de <i>Salmonella</i> sp. según la Tabla 6.Niveles máximos permitidos de metales pesados, tales como:<ul style="list-style-type: none">Cadmio: 0.9 mg/kg (referencia del CXS-191, en chocolate que contiene o declara $\geq 70\%$ del total de sólidos de cacao sobre la base de materia seca).Aspergillus A (referencia CXC-72-2014);Residuos de plaguicidas; entre otros.
Agente microbiano	Categoría	Clase	<i>n</i>	<i>c</i>	Límite por g u mL																										
					<i>m</i>	<i>M</i>																									
Salmonella sp.	10	2	5	0	Ausencia	>22g																									
					—	—																									

Anexo 4.

Reglamento UE

13.5.2014	33	Diario Oficial de la Unión Europea	1.118/75																																							
REGLAMENTO (UE) N° 488/2014 DE LA COMISIÓN																																										
de 12 de mayo de 2014																																										
que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios																																										
(Sólo pertinente a efectos del EEE)																																										
LA COMISIÓN EUROPEA,																																										
Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,																																										
Visto el Reglamento (CEE) n° 2155/91 del Consejo, de 8 de febrero de 1991, por el que se establecen procedimientos comunitarios en relación con los contaminantes presentes en los productos alimenticios (1), y, en particular, su artículo 2, apartado 3,																																										
Considerando lo siguiente:																																										
(1)	El Reglamento (CE) n° 1881/2006 de la Comisión (2) establece el contenido máximo de cadmio en una serie de productos alimenticios;																																									
(2)	El 30 de enero de 2009, la Comisión Técnica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria (Comit) de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) adoptó un dictamen sobre el cadmio en los alimentos (3). En dicho dictamen, la EFSA estableció una ingesta semanal tolerable (IT) de 2,3 µg/kg de peso corporal para el cadmio. En su «Deducción sobre la ingesta semanal tolerable de cadmio» (4), la EFSA tuvo en cuenta la revisión evaluación del riesgo llevada a cabo por el Comité técnico FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (ECAA) (5) y confirmó la ingesta semanal tolerable de 2,3 µg/kg de peso corporal.																																									
(3)	En su dictamen científico sobre el cadmio en los alimentos, la Comit llegó a la conclusión de que la exposición alimentaria media al cadmio en los países europeos se acerca o supera ligeramente la ingesta semanal tolerable de 2,3 µg/kg de peso corporal. En algunos subgrupos de la población, la ingesta semanal tolerable llega casi a doblarse. La Comit llegó asimismo a la conclusión de que, pese a que es poco probable que se produzcan efectos negativos sobre la función renal en un individuo expuesto a dicho nivel, es necesario reducir la exposición al cadmio en la población.																																									
(4)	Según el dictamen científico de la Comit sobre el cadmio en los alimentos, los grupos de alimentos que contribuyen en mayor grado a la exposición alimentaria al cadmio, principalmente a causa de su aporte consumo, son los cereales y los productos a base de cereales, los berenjenas, los frutos secos y las legumbres, los aceites refinados o los patatas y la carne y los productos cárnicos. Las concentraciones más elevadas de cadmio se detectaron en productos alimentarios como las algas marinas, los pescados y mariscos, el chocolate y los alimentos destinados a una alimentación especial, así como en los hongos, las semillas oleaginosas y los despojos comestibles.																																									
ANEXO																																										
El anexo del Reglamento (CE) n° 1881/2006 queda modificado como sigue:																																										
1) La subsección 3.2 (Cadmio) se modifica por el texto siguiente:																																										
<table border="1"><thead><tr><th>3.2.</th><th>Cadmio</th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td>3.2.3.</td><td>Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de raíz y tubérculo, las hortalizas de hoja, las berenjenas, las frutas secas y las legumbres, las semillas oleaginosas y las algas marinas (1)</td><td>0,030</td></tr><tr><td>3.2.2.</td><td>Hortalizas de raíz y tubérculo (excluidas las apioñadas, las chirivías, los calabacines y los rábanos rizantes), tallos jóvenes (excluidos el apioj (1)). En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas</td><td>0,10</td></tr><tr><td>3.2.3.</td><td>Hortalizas de hoja, berenjenas, hortalizas de hoja del girasol (bruselas, apio, apioñadas, chirivías, calabacines, rábanos rizantes y las siguientes varas (1)), Agaves (maguey (agave), Mezcal, mescal (data de maguey) y Lechuga (data de maguey))</td><td>0,20</td></tr><tr><td>3.2.4.</td><td>Semillas, excluidas las enumeradas en el punto 3.2.3 (1)</td><td>1,0</td></tr><tr><td>3.2.5.</td><td>Cereales, excluidos el arroz y el arroz</td><td>0,10</td></tr><tr><td>3.2.6.</td><td>— Granos de trigo, granos de arroz — Salvado de trigo y granos de trigo para el consumo directo — Harina de trigo</td><td>0,20</td></tr><tr><td>3.2.7.</td><td>Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación (1): — chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao > 50 % — cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en suero en polvo adicionado vendido al consumidor final (chocolate para bebé)</td><td>0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019</td></tr><tr><td>3.2.8.</td><td>Carne (excluidas las despojos de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1))</td><td>0,030</td></tr><tr><td>3.2.9.</td><td>Carne de caballo, excluidas las despojos (1)</td><td>0,20</td></tr><tr><td>3.2.10.</td><td>Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)</td><td>0,10</td></tr><tr><td>3.2.11.</td><td>Ribetes de berenjenas, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)</td><td>1,0</td></tr><tr><td>3.2.12.</td><td>Carne de pescado (1), excluidas las especies enumeradas en los puntos 3.2.13, 3.2.14 y 3.2.15</td><td>0,010</td></tr></tbody></table>				3.2.	Cadmio		3.2.3.	Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de raíz y tubérculo, las hortalizas de hoja, las berenjenas, las frutas secas y las legumbres, las semillas oleaginosas y las algas marinas (1)	0,030	3.2.2.	Hortalizas de raíz y tubérculo (excluidas las apioñadas, las chirivías, los calabacines y los rábanos rizantes), tallos jóvenes (excluidos el apioj (1)). En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas	0,10	3.2.3.	Hortalizas de hoja, berenjenas, hortalizas de hoja del girasol (bruselas, apio, apioñadas, chirivías, calabacines, rábanos rizantes y las siguientes varas (1)), Agaves (maguey (agave), Mezcal, mescal (data de maguey) y Lechuga (data de maguey))	0,20	3.2.4.	Semillas, excluidas las enumeradas en el punto 3.2.3 (1)	1,0	3.2.5.	Cereales, excluidos el arroz y el arroz	0,10	3.2.6.	— Granos de trigo, granos de arroz — Salvado de trigo y granos de trigo para el consumo directo — Harina de trigo	0,20	3.2.7.	Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación (1): — chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao > 50 % — cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en suero en polvo adicionado vendido al consumidor final (chocolate para bebé)	0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019	3.2.8.	Carne (excluidas las despojos de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1))	0,030	3.2.9.	Carne de caballo, excluidas las despojos (1)	0,20	3.2.10.	Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)	0,10	3.2.11.	Ribetes de berenjenas, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)	1,0	3.2.12.	Carne de pescado (1), excluidas las especies enumeradas en los puntos 3.2.13, 3.2.14 y 3.2.15	0,010
3.2.	Cadmio																																									
3.2.3.	Hortalizas y frutas, excluidas las hortalizas de raíz y tubérculo, las hortalizas de hoja, las berenjenas, las frutas secas y las legumbres, las semillas oleaginosas y las algas marinas (1)	0,030																																								
3.2.2.	Hortalizas de raíz y tubérculo (excluidas las apioñadas, las chirivías, los calabacines y los rábanos rizantes), tallos jóvenes (excluidos el apioj (1)). En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas	0,10																																								
3.2.3.	Hortalizas de hoja, berenjenas, hortalizas de hoja del girasol (bruselas, apio, apioñadas, chirivías, calabacines, rábanos rizantes y las siguientes varas (1)), Agaves (maguey (agave), Mezcal, mescal (data de maguey) y Lechuga (data de maguey))	0,20																																								
3.2.4.	Semillas, excluidas las enumeradas en el punto 3.2.3 (1)	1,0																																								
3.2.5.	Cereales, excluidos el arroz y el arroz	0,10																																								
3.2.6.	— Granos de trigo, granos de arroz — Salvado de trigo y granos de trigo para el consumo directo — Harina de trigo	0,20																																								
3.2.7.	Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación (1): — chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 50 % — chocolate con un contenido de materia seca total de cacao > 50 % — cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en suero en polvo adicionado vendido al consumidor final (chocolate para bebé)	0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019 0,10 a partir del 1 de enero de 2019																																								
3.2.8.	Carne (excluidas las despojos de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1))	0,030																																								
3.2.9.	Carne de caballo, excluidas las despojos (1)	0,20																																								
3.2.10.	Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)	0,10																																								
3.2.11.	Ribetes de berenjenas, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos (1)	1,0																																								
3.2.12.	Carne de pescado (1), excluidas las especies enumeradas en los puntos 3.2.13, 3.2.14 y 3.2.15	0,010																																								
2) Se añade la siguiente cláusula:																																										
En el caso de los contaminantes enumerados en el anexo																																										

Anexo 5

Resultados de Análisis de suelo

LABSAF

INFORME DE ENSAYO
Nº 060604-22/SU/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	PI MUELLOS
Propietario / Productor	DRA JAEN
Dirección del cliente	JR. VRAICODHA S/N
Entidad por	Cliente
Muestreado por	Cliente
Número de muestra(s)	1
Producto muestreado	Suero AgroSAF
Presentación de los muestras(s)	Bolsas de plástico
Referencia del muestras(s)	Reservado por el Cliente
Presentación de muestra(s)	JASCH JAEN JAEN CALIDAD RICA
Fecha(s) de muestra(s)	28/08/2021
Fecha de Recibimiento de muestra(s)	21/09/2021
Lugar de ensayo	LABSAF Baños del Inca
Fecha(s) de análisis	02/10/2021
Colaboración del servicio	0219-23-8
Fecha de envío	13/10/2021

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3
Código de Laboratorio	060604-22/SU-01	060604-22/SU-02	060604-22/SU-03
Mátrix Analizada	Suero	Suero	Suero
Fecha de Muestra	28/08/2021	29/08/2021	29/08/2021
Fecha de Envío de Muestra(s) (R)			
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Características de la muestra por el Cliente	15L	14L	14L
Unidad	Medida	Medida	Medida
Ensayo	Unidad	U.C.	
Ca (Cadmio)	mg/kg	—	0,049
Pb (Plomo)	mg/kg	—	1,636
Zn (Zinc)	mg/kg	—	33,900

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	MÉTODOS DE REFERENCIA
Método tituló (Cadmio): Plomo: Zn	Zn: Method 6010: ACID DIGESTION OF REFRACTORY, SILICATE AND SOILS (Rev 2); 1986.

IV. CONSIDERACIONES

Este es un informe que ingresa la muestra. Bases: Condiciones de almacenamiento:
Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos o tratados.
Los resultados se aplican a los ensayos, tanto como se recibieron.
Este documento es válido solo para el producto mencionado anteriormente.
El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF BAÑOS DEL INCA
Av. Presidente Dr. Vraicodha S/N Barrio del Inca-Cajamarca
Telf: 041-012345
Email: labsaflaboratorio@outlook.com.pe

de 1

Anexo 6

Resultados de Análisis de granos de cacao

Anexo 7

Toma de muestras de suelos y cacao.





Anexo 8

Pretratamiento de muestras en Laboratorio



Anexo 9

Análisis en Laboratorios

