

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Determinación del contenido de metales pesados tóxicos en
almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el distrito de
Kimbiri a 739 msnm – Cusco**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Miguel Flores Paniagua**

Ayacucho – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

TESIS

Determinación del contenido de metales pesados tóxicos en almendras de cacao (*Theobroma Cacao*) en el distrito de Kimbiri a 739 msnm – Cusco

Expedito : 23 de junio de 2021
Sustentado : 18 de agosto de 2021
Calificación : Muy Bueno
Jurados :



Dr. RÓMULO AGUSTÍN SOLANO RAMOS
Presidente



Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATEO
Miembro



Ing. RODOLFO ALCA MENDOZA
Miembro



Ing. JUAN BENJAMÍN GIRÓN MOLINA
Asesor

A Dios y a mi familia por el incondicional apoyo que me brindaron para hacer realidad mi sueño.

Con profunda gratitud a mis padres Francisca Juanita y William César, por su apoyo incondicional y por ser la razón de mi esfuerzo en mi formación profesional.

A mis queridas hermanas Brenda, Gina Fiorella, Camila, Chris Franchesca y a todos los que aportaron en la ayuda de este trabajo.

A mi esposa Betty Rosa, a mi hijo Lincol Miguel y Gael Valentino, quienes me incentivan cada día a ser mejor.

AGRADECIMIENTO

A la UNSCH, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía, gestaron de mis estudios superiores y ser fuente de conocimientos agronómicos y zootécnicos, por la excelente formación personal y profesional que me brindó durante mi carrera universitaria.

Al Ing. Juan Benjamín Girón Molina, al Ing. Alex L. Tineo Bermúdez, al Ing. José Antonio Quispe Tenorio y al Ing. Eduardo Robles García por su asesoramiento, aporte y colaboración en el desarrollo y conducción del presente Trabajo de Tesis.

A la Municipalidad Distrital de Kimbiri - Cusco, por la oportunidad de ejecutar de mi trabajo de investigación mediante el proyecto “*Mejoramiento de Capacidades Genéticas en la Transferencia de Tecnología y Mejora Genética del Cultivo de Cacao en Instituciones Públicas del Distrito de Kimbiri - La Convención - Cusco.*” y a todos los que componen, en especial al Ing. Willy O. Cárdenas Urbano residente de dicho proyecto, por toda la facilidad que supo brindarme para la ejecución del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de anexos.....	ix
Resumen.....	1
Introducción	2

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO	4
1.1. Centro de origen y antecedentes históricos.....	4
1.2. Taxonomía	5
1.3. Variedades de cacao.....	5
1.3.1. Naturales	6
1.3.2. Artificial.....	7
1.4. Distribución geográfica.....	8
1.4.1. Distribución mundial	8
1.4.2. Distribución en Perú.....	8
1.5. Importancia del cacao	8
1.5.1. Social.....	8
1.5.2. Ambiental.....	8
1.5.3. Económica.....	9
1.6. Usos.....	9
1.6.1. Mejora el estado de ánimo	9
1.6.2. Bueno contra el estreñimiento.....	9
1.6.3. El cacao es muy rico en antioxidantes	9
1.7. Composición química y aspectos nutricionales del grano de cacao	10
1.8. Morfología de la planta	11
1.8.1. La raíz	11
1.8.2. El tallo.....	11
1.8.3. Las hojas	12

1.8.4. Inflorescencia	12
1.8.5. La flor.....	12
1.8.6. El fruto	13
1.8.7. La semilla.....	13
1.9. Citología.....	13
1.10. Requerimiento del cultivo	13
1.10.1. Condiciones edafoclimáticas.....	13
1.10.2. Requerimiento de suelo.....	15
1.11. Fenología del cultivo.....	17
1.12. Fertilización y abonamiento.....	18
1.13. Contaminación del suelo con metales pesados	19
1.13.1. Los metales pesados.....	19
1.13.2. Origen.....	19
1.13.3. Actividad agrícola	19
1.13.4. Metales pesados tóxicos en estudio	21
1.13.5. Factores del suelo relacionados con la biodisponibilidad.....	22
1.14. Toxicidad	26
1.15. Contaminación del suelo	28
1.16. Fitotoxicidad de los metales pesados	28
1.17. Nutrición vegetal.....	28
1.18. Mecanismos de absorción de metales pesados por las plantas	29
1.19. Evolución de los plaguicidas en el suelo	30
1.20. Expansión del uso de agroquímicos.....	31
1.21. Agroquímicos y la producción de coca en el Perú.....	32
1.22. La contaminación por fitosanitarios.....	33

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA	36
2.1. Zona de estudio	36
2.1.1. Ubicación	36
2.1.2. Extensión y demografía	36
2.1.3. Límites	36
2.1.4. Vías de comunicación	37
2.2. Características climáticas	37

2.2.1. Clima.....	37
2.2.2. Temperatura	37
2.2.3. Hidrografía.....	37
2.2.4. Precipitación.....	37
2.3. Selección del área y toma de muestras.....	38
2.3.1. Selección del área a muestrear	38
2.3.2. Criterios para la determinación de la muestra de las almendras de cacao para el análisis.....	38
2.3.3. Colecta de las muestras de almendras de cacao	39
2.3.4. Procedimiento para tomar las muestras	39
2.3.5. Análisis químico de la muestra	41
2.4. Factores en estudio.....	41
2.4.1. Metales pesados tóxicos.....	41
2.4.2. Condiciones edafoclimáticas del cultivo.....	41
2.5. Material genético en estudio	42
2.5.1. Común.....	42
2.5.2. CCN – 51	42
2.5.3. VRAE – 15.....	43
2.5.4. VRAE – 99.....	43
2.6. Análisis estadístico.....	43
2.7. Características del campo en estudio	44
2.7.1. Unidad en estudio.....	44
2.7.2. Mapa del campo en estudio.....	44
 CAPÍTULO III	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1. Del contenido de metales pesados por centro poblado	45
3.2. Del contenido de metales pesados por altitud.....	47
3.3. Del contenido de metales pesados por clones	49
3.4. Del contenido de metales pesados por edades de las plantas de cacao.....	51
 CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	63
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Caracteres diferenciales de los grupos de cacao: “Criollo”, “Forastero y “Trinitario”	7
Tabla 1.2. Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas	10
Tabla 1.3. Contenido de nutrientes en las semillas del cacao (por 100 g).....	11
Tabla 1.4. Requerimientos nutricionales de cacao desde plántula hasta la cosecha.....	18
Tabla 1.5. Fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados en Europa.....	19
Tabla 1.6. Metales pesados en guano, en década de los ‘90 en Alemania	20
Tabla 1.7. Metales pesados en fertilizantes	20
Tabla 1.8. Directivas de Kelley en la clasificación de suelos contaminados.....	27
Tabla 1.9. Vida media y tiempo de residencia metales pesados en el suelo.....	27
Tabla 1.10. Alteración fisiológica de plantas producidas por metales pesados.....	29
Tabla 1.11. Metales pesados en suelos y plantas terrestres	34
Tabla 1.12. Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos para Europa	34
Tabla 2.1. Distribución de los puntos de muestreos, en los diferentes Centros Poblados.....	38
Tabla 3.1. Resultados de análisis de metales pesados tóxicos en almendras de cacao por centros poblados	45
Tabla 3.2. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao por piso altitudinal	47
Tabla 3.3. Resultados de los análisis de metales pesados en almendras considerando clones de cacao	49
Tabla 3.4. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao por edad de plantas de cacao	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Mapa del distrito de Kimbiri con sus puntos de muestreo.....	44
Figura 3.1. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en las almendras de cacao según altitud sobre el nivel de mar. VRAEM, Kimbiri 739 msnm.....	47
Figura 3.2. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en almendras de cacao según clones varietales. VRAEM, Kimbiri, 739 msnm	49
Figura 3.3. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en las almendras de cacao según la edad. VRAEM, Kimbiri 739 msnm.....	51
Figura 3.4. Concentración de Cobre (Cu) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.....	53
Figura 3.5. Concentración de Plomo (Pb) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.....	55
Figura 3.6. Concentración de Cadmio (Cd) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Puntos de muestreo para la recolección de las almendras de cacao.....	71
Anexo 2. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao en el distrito de Kimbiri-Cusco.....	73
Anexo 3. Límites máximos admisibles en polvo de cacao	75
Anexo 4. Niveles topes de Cadmio en chocolate y otros derivados de cacao, regulados por la Unión Europea.....	76
Anexo 5. Resultados de análisis de metales pesados por comunidades	77
Anexo 6. Temperatura media, máxima, mínima, precipitación y balance hídrico del año 2018, de la Estación Meteorológica de Kimbiri, La Convención, Cusco	78
Anexo 7. Diagrama ombrotérmico	79
Anexo 8. Panel fotográfico de la evaluación	80

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la determinación del contenido de metales pesados tóxicos en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) en el distrito de Kimbiri a 739 msnm- Cusco. Estos análisis se efectuaron en diferentes clones, edad de la planta y altitud donde se cultiva el cacao. El trabajo consistió en un diagnóstico basado en una muestra probabilística para seleccionar el campo de un determinado agricultor. El análisis de las muestras fue realizado en el Laboratorio de AGROLAB, cuyos resultados, fueron de 5.60 a 5.79 % de humedad de las almendras de cacao de Kimbiri. No se encontró aluminio en almendras de cacao. En zona baja, las almendras de cacao presentan los mayores valores promedio con 21.50 y 12.13 ppm de cobre (Cu) y plomo (Pb), respectivamente, mientras que el cadmio (Cd) se presenta en mayor cantidad en la zona media. Considerando los clones, la variedad VRAE-15 presenta mayor contenido de cobre (Cu) con 25.5 ppm; mientras que el cultivar CCN-51 contiene mayor cantidad de plomo, 10.1 ppm y cadmio (Cd), 1.8 ppm. En cuanto a la edad de la planta, se encontró 22.2 ppm de cobre (Cu) y 13.13 ppm de plomo (Pb) en los almendros de cacao de plantas maduras de 21 años a más, sin embargo, en estas mismas plantas se encontraron valores bajos de cadmio (Cd), 0.85 ppm; finalmente, se encontró el valor promedio más alto de cadmio (1.87 ppm) en almendras de cacao de plantas semi-maduras.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, metales pesados tóxicos, almendras de cacao.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en el país. En el año 2017, la producción de cacao alcanzó las 120,058 toneladas en 130,000 hectáreas, generando 9.9 millones de jornales anuales, que benefició aproximadamente a 90 mil familias y en forma indirecta a más de 450 mil personas cercanas a los centros de producción, específicamente en la selva.

El Perú es un productor importante de cacao alta calidad; ocupa el segundo lugar como productor y exportador mundial de cacao orgánico de los cuales el 48.6% fue en grano y lo que es más, el 20% se exportó con certificación orgánica y comercio justo. Asimismo, ocupa el octavo lugar como productor mundial de cacao en almendra con 1.7% de la producción de cacao.

Además, el cacao en nuestro país es el segundo cultivo alternativo a los ilícitos, luego del café, por lo cual, resulta más evidente su interés y su importancia.

El cultivo del cacao está concentrado en las regiones de Huánuco con 6%. Ucayali con 8%, Cusco con 9%, Junín con el 18% y San Martín con el 43%; representando el 84% de la producción nacional. Finalmente, señalaremos que el cultivo de cacao orgánico es una de las principales actividades socio - económicas en el Valle del Río Apurímac Ene y Mantaro (VRAEM), especialmente, en el distrito de Kimbiri – Cusco, con demanda de los mercados europeos (Francia, Inglaterra, Bélgica) y de Estados Unidos. Sin embargo, metales pesados como: el cadmio, el plomo, el aluminio y el cobre se encuentran presentes de manera natural en la corteza terrestre en forma disponible y podrían ser absorbidos por las plantas y consumidos a través de las cosechas por el ser humano, constituyendo un riesgo para la salud humana y animal, en especial cuando se indica que la planta de cacao absorbe el cadmio, aluminio, plomo y cobre del suelo y los concentra en las almendras de cacao.

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (FAO) establecen límites máximos permisibles (LMP) de cadmio en granos de cacao que es 0,50 ppm en peso fresco con vigencia desde el 1 de enero de 2019, de acuerdo a la Comisión Europea. 2013.

Tomando en cuenta lo señalado y el riesgo que pueden causar en la salud de las personas y la economía del país, se busca contribuir un diagnóstico para determinar la presencia o no de los metales pesados (Cd, Pb, Al y Cu) en las almendras de cacao, en las distintas zonas productoras del país.

En virtud a ello y con el afán de conocer los niveles de concentración de los metales pesados tóxicos (Cu, Pb, Cd y Al), y de acuerdo a ello, identificar la necesidad de proponer estrategias de mitigación, se diseñó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar las concentraciones de Cadmio, Plomo, Aluminio y Cobre en diferentes pisos altitudinales, edad de la planta y clones de cacao de diversa procedencia del distrito de Kimbiri.

Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de cobre, plomo, cadmio y aluminio en almendras de cacao según pisos altitudinales (baja, media y alta).
2. Determinar la concentración de cobre, plomo, cadmio y aluminio en almendras de cacao según la edad de planta (plantas jóvenes, semi-maduras y maduras).
3. Determinar la concentración de cobre, plomo, cadmio y aluminio en almendras de cacao según el clon (común, CCN-51, VRAE-15 y VRAE-99).
4. Verificar si la concentración de cobre, plomo, cadmio y aluminio en almendras de cacao se encuentra dentro del Límite Máximo Permisible según la OMS.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. CENTRO DE ORIGEN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Según García (2000) “El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie endémica de América del Sur cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, tributarios del río Amazonas”.

Soria (1970) menciona que “en la referida región se encontraron diversos tipos de frutos, algunos parecidos a la variedad 'Criollo', denominados "criollos de montaña", "amelonados" grandes parecidos a la variedad 'Nacional' del Ecuador, "angoletas" parecidos a los clones Parinaris y otros tipos de "amelonados”.

García (2000) señala “que el centro primario de diversidad del cacao se encuentra en la región nororiental de Perú; sin embargo, la existencia de una gran diversidad de poblaciones silvestres y nativas dispersos en la región central y sur de la Amazonia alta, apoyaría la hipótesis de que el centro de origen no solo estaría confinado a dicha región, sino que además incluiría la región centro y suroriental del Perú, i.e., las cuencas de los ríos Huallaga, Ucayali y Urubamba”

Asimismo, Toxopeus (1985) indica que “desde la década del 60 se estableció que la región de domesticación del cacao fue en Centroamérica, cuya domesticación por los indígenas de Centroamérica, se realizó durante la época pre-colombina siendo cultivado desde el siglo VI. Ellos lo utilizaban como bebida y también como moneda en sus transacciones. Después que México fuera conquistado por los españoles, las variedades de cacao 'Criollo' de América Central, fueron introducidos primero en la región del Caribe y Venezuela y después a las Filipinas, Indonesia, India y Madagascar”.

Eskes & Lanaud (2001) manifiestan que “el cacao Forasteros del Bajo Amazonas, particularmente del tipo "amelonado”, inicio su cultivo en Brasil en el siglo XVIII. En 1822, el cacao tipo "amelonado" fue llevado al África, Santo Tomás y posteriormente, a Costa de Marfil, Ghana y Nigeria. Los híbridos de 'Criollo' x 'Forasteros', denominados 'Trinitarios', fueron detectados en Trinidad por el año 1,800.

1.2. TAXONOMÍA

Carlos Linneo llamado el "padre de la taxonomía", clasifica la planta como "*Theobroma cacao*", cuyo nombre proviene de tres partes: Theos, del griego "Dios", Broma, del griego "alimento", y Cacao, del azteca cacaoathl.

Montes (2016) presenta la siguiente clasificación botánica:

Reino	: Plantae (plantas)
Subreino	: Tracheobionta (plantas vasculares)
División	: Magnoliophyta (plantas con flores, angiospermas)
Clase	: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Orden	: Málvales
Familia	: Sterculiaceae
Género	: <i>Theobroma</i>
Especie	: <i>Theobroma cacao</i> L.

1.3. VARIEDADES DE CACAO

Lachenaud (1997) señala que “a través de estudios moleculares y argumentos paleoclimáticos, paleogeográficos y etnobotánicos, propuso una clasificación de grupos de cacao, estableciendo cuatro complejos germoplásmicos naturales o simplemente grupos: Criollo, Amazonas o Forastero del Alto Amazonas, Guyanas o Forastero del Bajo Amazonas, y Nacional. Del mismo modo, planteo su distribución geográfica de cada uno de ellos”.

Toxopeus (1985) señala que “existe un tercer grupo, el 'Trinitario', que resultó ser una población segregante producto de un cruce entre una variedad amelonada de la Guyana ('Forastero del Bajo Amazonas') y una variedad de 'Criollo' de Venezuela”.

1.3.1. Naturales

a) Criollos

M & O Consulting S.A.C (2008) menciona que los cacaos criollos: “Crecen bajo condiciones semi-silvestre y están distribuidos desde México hasta Colombia y Venezuela. Son árboles poco vigorosos, de lento crecimiento, más susceptibles a enfermedades e insectos que los 'Forasteros' se caracterizan por su alta diversidad morfológica. El fruto, es de forma variable (alargados, amelonados y cundeamor), con ápice acuminado y de superficie lisa o rugosa. Las mazorcas son rojas o verde al estado inmaduro y tienen un pericarpio ligeramente lignificado. Las almendras son generalmente grandes y gruesas, con cotiledones blancos o rosados y tienen mejor calidad de chocolate que los Forasteros”.

b) Forasteros del Alto Amazonas

M & O Consulting S.A.C (2008) menciona que “Crecen al estado silvestre y domesticado en la Amazonia Alta (Perú, Ecuador y Colombia). Son árboles vigorosos con frutos verdes y de forma variable . En los Forasteros del Alto Amazonas, pueden existir mazorcas con mayor rugosidad y constricción basal acentuada. Las almendras son generalmente pequeñas y con ciertas excepciones grandes; de sección transversal aplanada y cotiledones morado o violeta. Ciertamente hay excepciones en el color, pudiéndose encontrar cotiledones blancos como en la variedad Porcelana de Piura (Perú). Generalmente, los cacaos Forasteros del Alto Amazonas producen un chocolate de calidad corriente o básica”.

c) Forasteros del Bajo Amazonas

M & O Consulting S.A.C (2008) menciona que “Crecen al estado silvestre y domesticado en la Amazonia Baja (Brasil, Surinam, Guyana Francesa), y a lo largo del Orinoco (Venezuela). Las mazorcas generalmente son de menor tamaño, ligeramente rugosas y de forma amelonada, comparado con los Criollos-tipo cundeamor”.

A la forma calabacillo se conoce como la variedad Para de Brasil), cuyas mazorcas son pequeñas, redondeadas y de superficie lisa. Las almendras son generalmente pequeñas e intermedias; de color de cotiledón morado y excepcionalmente, blanco como la variedad Catongo de Brasil.

d) Nacional

M & O Consulting S.A.C (2008) afirma que: “Es el único grupo natural de cacao que se cultiva en el occidente de Ecuador. Se cree que se originó en la región oriental de la Amazonia alta del Ecuador. Por su calidad fina de la almendra éste grupo está más relacionado al grupo 'Criollo' que al grupo 'Forastero'. Los árboles son altos, producen mazorcas grandes semejantes a los "amelonados", pero con surcos más profundos; las almendras son grandes y de color morado pálido u oscuro o marrón. Las semillas fermentan en 4 - 5 días y tienen un intenso aroma floral. Las variedades de cacao 'Nacional', siempre se han plantado con variedades del grupo 'Trinitario' desde su introducción en el Ecuador, en 1892”.

1.3.2. Artificial

a) Trinitarios

M & O Consulting S.A.C (2008) manifiesta que los trinitarios son: “Arboles que nunca se han encontrado en estado silvestre y que generalmente poseen características intermedias entre los 'Criollos' y 'Forasteros'. Los clones 'Trinitarios' han sido obtenidos de cruces naturales entre 'Criollos' de origen desconocido con 'Forasteros' que probablemente provenían del estado de Bolívar en Venezuela. Los 'Trinitarios' vigorosos fueron diseminados en los países de América Latina y el Caribe e introducidos, alrededor de 1850, al África Occidental donde fueron cruzados con el “amelonado” que fue introducido más antes”.

Tabla 1.1. Caracteres diferenciales de los grupos de cacao: “Criollo”, “Forastero y “Trinitario”

ORGANO/CARACTER SEMILLA	TRINITARIO	FORASTERO	CRIOLLO
1. Color cotiledones	Morado	Morado, excepc. blanco.	Blanco o violeta
2. Forma (sec. Transversal)	Variable	Aplanada o intermedia	Redondeada
FRUTO			
1. Color al estado inmaduro	Rojo o verde	Verde o verde pigmentado	Verde o rojo
2. Rugosidad	Variable	Liso o medio	Rugoso o lig. liso
3. Constricción basal	Variable	Variable	Ausente o ligero
4. Grosor de cascara	Delgada a media	Gruesa o media	Delgada a media
5. Numero de semillas	30 - 45	20 - 60	20-40
AGROINDUSTRIAL			
1. Inicio de la producción	3° - 4° año	3° - 5° año	4°-6° año
2. Periodo de la fermentación	5 – 6 días	5 – 7 días	3-4 días
3. Sabor y aroma	Fino - medio	Corriente	Extrafino - fino
4. Contenido de grasa	Variable (45-57%)	Variable (45-60%)	Bajo (54%)

Fuente: “Caracterización del Potencial Genético del Cacao en el Perú”. Luis F. García Carrión. M & O Consultores. Perú. 2008.

1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

1.4.1. Distribución mundial

La distribución natural de *Theobroma cacao* abarca desde la región de la cuenca de las Guyanas y del Amazonas hasta el sur de México. Después de la llegada de los españoles a América, el cultivo se extendió al Caribe, África y Asia siendo en la actualidad un cultivo pan tropical, principalmente, entre 10°N y 10°S. Los productores más importantes son Ghana, Indonesia y Costa de Marfil.

1.4.2. Distribución en Perú

Según MINAGRI (2019), “las regiones con mayor producción de cacao son, la región San Martín con una participación del 41%, seguido de Junín con 18%, Ucayali con 12%, Huánuco con 8% y Cuzco con 6%, respectivamente. Mientras que los demás departamentos vienen produciendo en menores cantidades tales como Madre de Dios, Cajamarca, Piura, Tumbes, La libertad, Lambayeque, Puno y Loreto”.

1.5. IMPORTANCIA DEL CACAO

1.5.1. Social

El cultivo de cacao genera ingresos a las familias productoras y es fuente alimenticia y nutricional; es primordial en la soberanía alimentaria, debido a que sus nutrientes esenciales son buenos para la salud de las familias, y no requiere de mucha inversión económica para su establecimiento y manejo, tornándose como una buena alternativa en la agricultura familiar.

1.5.2. Ambiental

Las plantas de cacao y los arboles utilizados como sombra permanente reducen la erosión del suelo y la presencia de malezas y contribuyen para mantener un microclima equilibrado. Las hojas que caen de la planta forman una cobertura que luego se descompone y aumenta el contenido de materia orgánica del suelo. La materia orgánica en el suelo contribuye en la infiltración de agua y como consecuencia de ello, la restauración del nivel freático que contribuye a conservar las cuencas hidrográficas. Cuando los arboles de sombra son leguminosas, fijan el nitrógeno de aire y lo incorporan al suelo. Finalmente, el cacao dentro de un sistema agroforestal junto con otras especies, es hábitat y refugio de la biodiversidad.

1.5.3. Económica

Lares (2020) señala que: “El cacao es un producto agrícola importante, con presencia en 16 regiones del Perú. Actualmente son alrededor de 90,000 los productores a nivel nacional que se dedican a este cultivo, que alcanzó en el 2018 una producción de 135,268 toneladas, con rendimiento por hectárea (promedio nacional) de 940 kg. Estas cifras son relevantes y muestran que existe un incremento sostenido de la producción desde 2011 cuando la producción anual era de 54,550 toneladas y el rendimiento de 630 kg por hectárea. El 71% de la producción total de cacao tiene como destino la exportación, cuyo valor y con sus derivados en el 2019 fue de USD\$ 257,232 millones, 9.3% más respecto al 2017”.

1.6. USOS

1.6.1. Mejora el estado de ánimo

MINAGRI (2016) manifiestan que “El cacao ayuda a aumentar la producción de endorfinas: hormonas que mejoran nuestro estado de ánimo. Además, destaca por ser un alimento energético, por lo que nos ayuda a recuperar fuerzas en situaciones de cansancio físico y mental”

1.6.2. Bueno contra el estreñimiento

Varios estudios comprobaron que el cacao alivia naturalmente el estreñimiento, además, se traduce en un alimento para estimular y tonificar el sistema digestivo. Asimismo, ciertas sustancias que se encuentran en el cacao pueden llegar hasta el colon, donde se fermentan gracias a la acción de microorganismos y bacterias benéficas de nuestra flora bacteriana, curando el estreñimiento.

1.6.3. El cacao es muy rico en antioxidantes

Muchos estudios in vivo e in vitro afirman la capacidad antioxidante del cacao. Por el contenido de antioxidantes polifenólicos que protegen debido a sus componentes fotoquímicos, que son compuestos naturales del cacao capaces de prevenir la degeneración de células, permitiendo reducir el riesgo de sufrir enfermedades relacionadas con el estrés y el envejecimiento así como las enfermedades degenerativas y cardiovasculares.

1.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ASPECTOS NUTRICIONALES DEL GRANO DE CACAO

Jorge (218) indica que “La composición química de los granos de cacao depende de varios factores entre los que se pueden citar: tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado. El beneficio post-cosecha también influye sobre su composición química. Los principales constituyentes químicos del cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón y otros carbohidratos”

Tabla 1.2. Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas

Componentes	Fermentado y seco (%)	Germen o radícula (%)	Cascara (%)
Agua	5,00	8,50	4,50
Grasa	54,00	3,50	1,50
Cafeína	0,20	-	-
Teobromina	1,20	-	1,40
Polihidroxifenoles	6,00	-	-
Proteína bruta	11,50	25,10	1,90
Mono-oligosacáridos	1,00	2,30	0,10
Almidón	6,00	-	-
Pentosanos	1,50	-	7,00
Celulosa	9,00	4,30	26,50
Ácidos carboxílicos	1,50	-	-
Otras sustancias	0,50	-	-
Cenizas	2,60	6,30	8,00

Fuente: Mejía & Arguello (2000)

El contenido de grasa generalmente oscila de 50 a 55% en cacao fresco y luego en cacao tostado dicho contenido varía de 48 a 52% en el licor de cacao. La grasa está constituida por glicéridos como el ácido oleico, láurico, palmítico y esteárico.

En cuanto a minerales y vitaminas, la semilla de cacao contiene una gran cantidad de éstos minerales y vitaminas, muchos de los cuales persisten en altas concentraciones en los subproductos. El grano de cacao sometido a procesos de fermentación y tratamientos térmicos sufre una hidrólisis de los fitatos, lo cual permite que la biodisponibilidad de los minerales contenidos en los derivados del cacao permanezca intacta, considerando que los fitatos presentes naturalmente en las semillas del cacao interfieren en la absorción de ciertos minerales. Las semillas son ricas en flavonoides, en especial, en flavanoles, seguidos de flavonas, antocianos y otros compuestos fenólicos. (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Contenido de nutrientes en las semillas del cacao (por 100 g)

Nutrientes	Cantidad	Nutrientes	Cantidad
Calorías	456	Nicotinamida	2.1 mg
Agua	3.6 ml	Ácido Pantoténico	1.35 mg
Proteína	12.0 gr	Histidina	0.04-0.08 gr
Grasa	46.3 gr	Arginina	0.03-0.08 gr
Carbohidratos (totales)	34.7 gr	Treonina	0.14-0.84 gr
Fibra	8.6 gr	Serina	0.88-1.99 gr
Glucosa	8-13 gr	Ácido Glutámico	1.02-1.77 gr
Sucrosa	0.4-0.9 gr	Alanina	1.04-3.61 gr
Fosforo	537 mg	Glicina	0.09-0.35 gr
Hierro	3.6 mg	Prolina	0.72-1.97 gr
Calcio	106 mg	Valina	0.57-2.60 gr
Tiamina	0.17-0.24 mg	Lisina	0.08-0.56 gr
Riboflavina	0.14-0.41 mg	Leucina	0.45-4.75 gr
Piridoxina	0.9 mg	Fenilalanina	0.56-3.36 gr
Ácido Ascórbico	3.0 mg	Tirosina	0.57-1.27 gr
Niacina	1.7 mg	Isoleucina	0.56-1.68 gr

Fuente: Collazos, 1996

1.8. MORFOLOGÍA DE LA PLANTA

1.8.1. La raíz

Nenito (1991) menciona que “La raíz principal es pivotante y puede alcanzar de 1.5 – 2.0 m de profundidad. Las raíces laterales mayormente se encuentran en los primeros 30 cm del suelo alrededor del árbol pudiendo alcanzar de 5 – 6 m de longitud horizontal”.

1.8.2. El tallo

M & O Consulting S.A.C. (2008) menciona que “El tallo en su primera fase de crecimiento es ortotrópico (vertical) y perdura por 12-15 meses. Luego, este tipo del crecimiento se interrumpe para dar lugar a la aparición de 4 - 5 ramas secundarias plagiotrópicas (horizontal) formando a manera de una "horqueta". Debajo de la horqueta aparecen con frecuencia brotes ortotrópicos verticales, denominados "chupones" que darán lugar a nuevas “horquetas”; este evento puede repetirse por 3 a 4 veces consecutivas en el ciclo de vida de la planta.”

1.8.3. Las hojas

M & O Consulting S.A.C. (2008) sostiene que “Las hojas son enteras, de 15 - 50 cm de longitud y de 5 - 20 cm de ancho, con ápice acuminado o romo; simétricas en el brote ortotrópico y asimétricas en las ramas plagiotrópicas. La forma del limbo pueden ser elíptica, ovada o abovada, con peciolo que presentan dos engrosamientos, denominados "pulvínulos", uno en la inserción con el tallo, y otro en la inserción con el limbo foliar. En las ramas plagiotrópicas, los dos pulvínulos están casi unidos. Las hojas tiernas generalmente presentan pigmentación antociánica, con excepción de árboles mutantes que presentan hojas verdes”.

1.8.4. Inflorescencia

Batista (2009) manifiesta que “desde el punto de vista botánico, la inflorescencia del cacao es una cima decasiforme, la cual se forma directamente en la madera más vieja del tronco y de las ramas adultas del árbol y, de manera muy específica, en la base de una hoja, alrededor de la cicatriz y de la yema axilar que queda al caer la hoja. La inflorescencia en su proceso de formación y crecimiento, se transforma en una masa densa que conforme se desarrolla forma un cojín que agrupa entre 40 a 60 flores”.

1.8.5. La flor

M & O Consulting S.A.C. menciona que: “Las flores, son hermafroditas, pentámeras (5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios, 5 estambres, y 5 lóculos por ovario); completas (todos sus verticilios florales) y perfectas (con androceo y gineceo). Las flores aparecen en el tronco en forma solitaria o en grupos denominados "cojines florales" con un diámetro que oscila entre 1 - 1.5 cm de longitud. Los sépalos son de prefloración valvar con o sin pigmentación antociánica y los pétalos de prefloración imbricada, presentando una base cóncava seguido de un puente delgado y en el extremo superior amplio con ápice redondeado denominado lígula. Los 05 estambres están bifurcados en el ápice y cada bifurcación posee una antera biteca. Los 05 estaminodios son infértiles y actúan como órganos de atracción de insectos y de protección del gineceo. El ovario es supero, pentacarpelar y pentalocular. Cada lóculo contiene dos series de óvulos anátropos de placentación axial pudiéndose encontrar en promedio 30 - 60 óvulos por ovario”.

Según Batista (2009) la polinización de las flores “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”.

1.8.6. El fruto

M & O Consulting S.A.C. (2008) señala que “los frutos son bayas, con tamaños que oscilan de 10 - 42 cm, de forma variable (oblonga, elíptica, ovada, abovada, esférica y oblata); de superficie lisa o rugosa, y de color rojo o verde al estado inmaduro, según los genotipos. El ápice puede ser agudo, obtuso, atenuado, redondeado, apezonado o dentado; la cascara gruesa o delgada, y los surcos superficiales o profundos. El epicarpio y el endocarpio son carnosos estando separados por un mesocarpio fino y leñoso”.

1.8.7. La semilla

Pichis Palcazú (2009) describe que “la semilla se encuentra cubierta por una pulpa mucilaginoso de color blanco y de sabor agradable con una longitud que puede variar entre 15 y 30mm de largo, el ancho entre 8 y 20 mm y el grosor entre 5 y 15 mm, denominadas almendras. El número de semillas por frutos difiere de acuerdo a las especies desde 24 a 30 pudiendo llegar hasta de 60 a70 en otras. El fruto del cacao puede contener entre 20 a 60 semillas o almendras con diferentes tamaños y formas según su carga genética”.

1.9. CITOLOGÍA

El cacao es diploide ($2n = 20$ cromosomas), de porte alto (de 8 a 20 m de altura) con ciclo vegetativo perenne. Esta especie crece y se desarrolla bajo sombra entre los bosques tropicales húmedos de Sudamérica

1.10. REQUERIMIENTO DEL CULTIVO

1.10.1. Condiciones edafoclimáticas

a) Precipitación

En el Perú es un factor muy variable entre años y a lo largo del año, además varía de una región a otra. El cacao es sensible a la escasez y abundancia de agua, razón por la cual requiere suelos con buen drenaje. Los requerimientos de agua varían desde 1500 a 2500 mm en zonas bajas cálidas, y en las zonas altas y frescas entre 1200 y 1500 mm (UNODC – DEVIDA, 2014). Una adecuada distribución mensual de la lluvia permite

una frecuencia óptima de humedad evitando déficit hídrico en la plantación; situación que permite obtener cosechas 16 regulares y permanentes en el año con dos picos poco evidentes. Batista (2009) manifiesta que “la precipitación en el VRAEM oscila entre 2500 a 3000mm, con una distribución constante durante el año, lo cual es bueno para el cultivo. La distribución de lluvias determina la campaña cacaotera, la cual abarca 04 etapas: descanso, brotamiento, floración y cosecha”.

b) Humedad relativa

IICA (2006) indica que “la humedad relativa está muy relacionada con la lluvia. El cacao es una planta xerófila, por tanto, se ve afectada si se presentan periodos secos prolongados y de humedad relativa baja. La humedad influye mucho en el desarrollo de la enfermedad de la pudrición parda (*Phytophthora palmívora*), y de otras enfermedades. La humedad relativa óptima está entre 70 y 80%, según el ICT; si la zona es demasiado lluviosa (3500 mm/año) los suelos deben presentar un drenaje perfecto, la humedad relativa debe ser mayor de 70% (IICA, 2006). Para las condiciones del VRAEM, la humedad relativa oscila entre 70 y 80%”

c) Temperatura

Oblitas (2015) señala que: La planta de cacao requiere de climas cálidos y lluviosos para el crecimiento y desarrollo. La temperatura es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las plantaciones de cacao pues está relacionado con el desarrollo, floración y fructificación. La temperatura media anual debe estar entre los 24 y 26°C y no debe exceder los 30°C. La temperatura media no debe ser inferior a 15°C y las oscilaciones diarias entre el día y la noche no deben ser inferiores a 9°C. En el VRAEM la temperatura media anual es de 26°C con picos máximos de 34°C que principalmente se dan en los meses de julio y agosto, y no representa un problema pues las plantaciones crecen además bajo sombra. Las temperaturas mínimas alcanzan los 18°C. En general las condiciones de temperatura son óptimas para el cultivo.

d) Radiación solar

Oblitas (2016) indica que: “La cantidad de horas de luz e intensidad de la misma tienen efectos muy importantes en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad del cacao, mediante acciones directas en los procesos de: fotosíntesis, apertura de estomas, crecimiento o alargamiento de las células, época y maduración de mazorcas e intensidad

de la floración. En la etapa de establecimiento del cultivo, es recomendable la plantación de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantas jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares. Intensidad lumínica menor de 50% limita los rendimientos, mientras que una intensidad lumínica ligeramente superior al 50% lo incrementa”.

e) Sombreado

El cacao es un cultivo que para su crecimiento requiere de sombra. La sombra en 50 %, al inicio de la plantación (3-4 primeros años) es necesario para que la planta se desarrolle adecuadamente, se evita la erosión del suelo, impide el desarrollo de las malezas y protege las plantas del viento, también genera un microclima adecuado en el terreno. Cuando el cultivo entra en producción, se reduce la sombra hasta 25 o 30 %.

f) Altitud

“No obstante que, la altitud no es determinante como si lo son los factores climáticos y edafológicos, es menester afirmar que el cacao crece mejor en zonas tropicales, entre los 250 a 900 msnm. En cambio, en latitudes cercanas a la línea ecuatorial, las plantaciones se desarrollan mejor en altitudes que van desde los 1000 a 1400 msnm. La altitud promedio en todo el VRAEM es de 650 msnm, lo que significa la prosperidad del cultivo del cacao” (Oblitas, 2016).

g) Viento

Oblitas (2015) describe que “el viento determina la velocidad de la evapotranspiración en la superficie de la planta y del suelo. En las plantaciones expuestas a fuertes vientos se produce caída prematura de hojas En plantaciones en donde la velocidad del viento es de 4m/s y con poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes, sin embargo, en regiones con velocidades de viento de 1 a 2m/s no se observa dicho problema. En zonas con problemas de vientos, es común el uso de cortavientos alrededor de la plantación con plantas frutales o madereras”.

1.10.2. Requerimiento de suelo

a) Textura

Gordillo (2005) al referirse a la textura, menciona que: Los suelos ideales para el cultivo del cacao son aquellos que comprenden desde suelos arcillosos agregados hasta francos

arenosos. Los suelos arenosos, aunque permiten la penetración de las raíces, son inapropiados para el cultivo del cacao a menos que tengan un buen estado nutricional y que las lluvias sean fuertes y continuas, ya que son muy secos. Los suelos más apropiados para el cacao son aquellos en que la “tierra fina” está compuesta por 30 a 40% de arcilla, alrededor de 30 % de arena y de 10 a 20 % de partículas de tamaño limoso. El cacao requiere terrenos con texturas francos, franco arcilloso y franco arenoso.

b) Profundidad

Alcaraz (1973), menciona que “la profundidad del suelo debe estar entre los 120 y 150 cm; prospera en aquellos suelos que tienen una precipitación superior a 1500 mm. Para el cacao la capa de suelo penetrable por las raíces deberá ser de cuando menos 1.5 m, el cacao requiere un suelo con una profundidad de 1.5 m a 2 m. La profundidad del suelo es uno de los factores que determina la cantidad de agua susceptible a almacenar en el suelo y puesta a disposición de las plantas”.

c) pH del suelo

Nosti (1958) manifiesta que “los suelos más apropiados comprenden un rango de 6-7 de pH, siendo los mejores aquellos que tengan de 6.5 a 6.8 de pH”.

Braudeau (1970). Menciona que “el cultivo del cacao para su buen desarrollo requiere de un pH de 6.5 a 6.8, el cacao se cultiva en suelos hasta con un pH de 8.5, pero los suelos alcalinos en algunas veces están asociados con un exceso de carbonato de calcio que puede dar lugar a una clorosis foliar del árbol del cacao”.

d) Drenaje

Según Marrero (2009) “El drenaje está determinado por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la susceptibilidad del área a sufrir inundación y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad así como disponer de una adecuada aireación. Se producen problemas de drenaje interno por la disposición de texturas en el perfil del suelo. Texturas arcillosas en el subsuelo no permiten el rápido movimiento del agua originando procesos de óxido reducción que ocasionan la aparición de moteaduras”.

e) **Materia orgánica**

La materia orgánica influyen las condiciones físicas y biológicas del suelo. Favorece la formación de gránulos bien conformados y evita la desintegración de estos gránulos del suelo por efecto de las lluvias. Otro efecto importante de la materia orgánica es que contiene microelementos útiles para las plantas. La materia orgánica al descomponerse forma el humus, que es una sustancia bastante estable.

f) **Topografía**

Paredes (2003) menciona que: “La topografía del terreno es importante para establecer las plantaciones de cacao. Un terreno accidentado dificulta la mecanización y la aplicación de técnicas modernas. Zonas con pendiente eestán sujetas a la erosión constante de la capa arable por efecto de las lluvias lo cual constituye un serio problema en Selva. En este caso, para evitar la erosión del suelo se realizan prácticas de conservación de suelos, barreras vivas y muertas, siembra a curvas de nivel, coberturas vegetales, etc. En general cuando la pendiente es mayor de 15% las actividades agrícolas se realizan manualmente; en tanto que en pendientes menores se puede hacer uso de maquinarias y tecnología moderna. Se ha observado que la incidencia de la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), es menor en terrenos con pendientes menores de 15%”.

1.11. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Arbelaez (2010) menciona que: “El cacao es una planta que responde a los hidroperíodos y dependiendo de éstos muestra su comportamiento y desarrollo. Por lo tanto, si la región o lugar de establecimiento del cultivo presenta solo una época de lluvia es unimodal (Urabá, Llanos Orientales), si presenta dos épocas de lluvias es bimodal (Andina y Montaña Santandereana). Dependiendo de estas condiciones presenta cuatro etapas para el desarrollo de la planta:

- **Período de reposo:** condición climática seca, formación escasa de frutos.
- **Período vegetativo:** ocurre cuando se inician las lluvias, el árbol presenta una actividad fisiológica abundante, con menor prioridad en formación de frutos y mayor prioridad en crecimiento vegetativo.
- **Período reproductivo:** en esta etapa el árbol desarrolla gran parte de sus flores y frutos. Desde que se poliniza la flor de cacao y los óvulos de esta son fecundados,

deben pasar seis meses para que se convierta en una mazorca fisiológicamente madura lista para la recolección y cosecha y su posterior beneficio, dependiendo también del régimen de temperatura. Solo el 0.1 del total de flores que produce un árbol de cacao son fecundadas. Durante los primeros tres meses, la mazorca puede sufrir pasmazón (Cherellis) por motivos fisiológicos y/o nutricionales y puede ser afectada por enfermedades.

- **Período de cosecha:** la cosecha principal dura de 2 – 3 meses. La frecuencia de cosecha depende de la época del año; en la temporada de mayor cantidad de mazorcas, se cosecha cada 8 a 15 días; mientras que en la temporada de menor cantidad de frutos, se cosecha cada mes”.

1.12. FERTILIZACIÓN Y ABONAMIENTO

Borrero (2009) afirma que: “Antes de iniciar cualquier tipo de fertilización es preciso conocer la fertilidad natural del suelo. Sobre la base de la interpretación del análisis de suelos se recomendarán los niveles de fertilización requeridos.

Una cosecha de 1000 kg de cacao seco extrae aproximadamente 44 Kg de nitrógeno (N), 10 kg de fósforo (P₂O₅) y 77 kg de potasio (K₂O). Cuando las cascara se quedan en el mismo terreno, se reciclan aproximadamente 2 kg de N, 5 kg de P₂O₅ y 24 kg de K₂O. Como se comprenderá, cuando se sacan las cosechas se empobrece el suelo y decae la producción de frutos. Por esta razón, es necesario mantener la fertilidad de los suelos adicionando oportunamente abonos orgánicos, fertilizantes químicos y enmiendas, etc.”.

Tabla 1.4. Requerimientos nutricionales de cacao desde plántula hasta la cosecha

Estado del Cultivo	Edad de la Planta (Meses)	Requerimiento nutricional - promedio en Kg.ha ⁻¹						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5 – 12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio de Producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena Producción	50 – 87	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Fuente: Thong YNG, citado por Morais, F.I., Santana, M.B. y Santana, Ch. Nutricao Mineral e Adubacao do cacauerio. CEPLAC, Bahía, Brasil.

1.13. CONTAMINACIÓN DEL SUELO CON METALES PESADOS

1.13.1. Los metales pesados

Se consideran como metales pesados a aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a 5 g/cm³, cuando está en forma elemental; y en la tabla periódica son aquellos que tienen densidades mayores al del hierro y su número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos (Toral, 1996).

En la corteza terrestre, a los metales pesados solo corresponde el 0.1% y son pocos los elementos requeridos por las plantas y animales.

1.13.2. Origen

“Los metales pesados y elementos traza importantes en el medio ambiente por su trascendencia en la contaminación de suelos y, por tanto, de cultivos agrícolas son de origen geogénica (origen natural) o antropogénica. Son de origen natural, cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición presente en el suelo. Los metales son de origen antrópogenico cuando las concentraciones son mayores a la composición geoquímica, como resultado de las actividades del hombre: actividad industrial, minera y agrícola” (Biblioteca-digital. sag.gob.cl, s/f).

Tabla 1.5. Fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados en Europa

Fuente ¹	Cadmio	Cobre	Plomo	Aluminio
Depositación atmosférica	+	+	+++	+
Plaguicidas ²	-	+/+++	-	+/+++
Estiércol y purines	+	++	+	++
Fertilizantes minerales ² (Principalmente fosfatos) ³	+++	+/+++	+	+
Lodos de aguas residuales ²	+/+++	+/+++	+/+++	+/+++

Fuente: Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente. Holanda (1992)

1 Además, existen otras fuentes: lluvia ácida (solubiliza los cationes); incineración de residuos, transporte.

2 Pueden existir diferencias importantes según la legislación de cada país.

3 Ligado especialmente a los fosfatos minerales: - Sin aporte; + aporte bajo; ++ aporte moderado; +++ aporte alto

1.13.3. Actividad agrícola

Biblioteca-digital. Sag.gob.cl (s/f) señala que:

“La actividad agrícola puede contaminar el suelo con metales pesados a través de la aplicación de fertilizantes que contienen trazas de metales pesados (ej. fosfatos), aplicación de plaguicidas con metales pesados, aplicación de estiércol, purines, compost, y lodos de aguas residuales.

En la tabla 1.5 se muestra las principales fuentes antropogénica de metales pesados en suelos europeos, donde se observa que hay un aporte alto de plomo por depositación atmosférica, un aporte moderado de cobre y cinc, provenientes de los plaguicidas y lodos de aguas residuales o servidas. Los fertilizantes minerales aportan cantidades altas de cadmio y moderadas de cobre. En agricultura es común el uso de estiércol de cerdo y pollo como abonos orgánicos; estos abonos contienen altas concentraciones de metales pesados como cinc y cobre. El superfosfato y otros fertilizantes fosforados tienen alta concentración de cromo, cobre, níquel, plomo y cinc. Los fertilizantes con calcio o cal tienen una mayor concentración de plomo y cinc” (Tabla 1.7).

Tabla 1.6. Metales pesados en guano, en década de los ‘90 en Alemania

MATERIAL	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
mg kg ⁻¹							
Guano de bovino	0,43	5,5	44,5	5,2	8,5	225	0.05
Guano de cerdo	0,68	8,4	443	18,6	8,9	1035	0.04
Guano de pollo	0,25	4,4	63	8,1	7,2	430	0.02
Fecal de bovino	0,44	5,0	39	10,0	7,0	213	NA ¹
Fecal de cerdo	0,43	11,0	740	13,0	NA	1220	NA
Fecal de pollo	0,36	12,0	69,75	9,0	NA	406	0,05

Fuente: De diferentes fuentes mencionadas en Eurich-Menden et al. (1996); Poultry-dung: Diez Muller (1997)

¹ NA = no analizado.

Tabla 1.7. Metales pesados en fertilizantes

Fertilizante	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ masa seca						
Calcio amonio nitrato	0,31	10,5	5,0	4,7	24,6	55,0
Solución NH ₄ NO ₃ -urea	0,03	1,3	6,3	0,30	0,20	2,3
Urea	0,15	0,68	0,38	0,48	0,36	2,4
Otro fert. nitrogenado	0,10	6,6	5,2	10,4	1,0	4,0
Superfosfato	20,8	224	21,4	31,3	7,2	380
Otro fertilizante de P	7,5	147	15,4	15,4	1,8	225
Sal potásica	0,06	10,7	2,4	5,4	0,77	1,6
Potasio cloruro	0,10	3,3	3,4	1,3	0,65	4,1
Potasio sulfato	0,09	5,3	3,4	1,9	0,85	2,3
Calcio carbonato	0,50	6,9	8,2	4,6	7,3	58,0
Cal calcinada	0,10	19,20	11,1	6,0	2,8	15,8
Steelwork lime	0,10	50,6	4,2	2,5	7,0	8,8
Otro fert. con cal	0,33	17,0	19,5	12,5	23,8	35,0
Fertilizante con NP	10,2	84,8	24,8	17,1	2,6	116
Fertilizante con PK	4,80	389	22,9	21,4	2,7	154
Fertilizante con NPK	2,4	32,0	11,8	8,9	12,0	125

Fuente: Wilcke and Döhler (1995)

1.13.4. Metales pesados tóxicos en estudio

a) Cadmio (Cd)

“El Cadmio es un elemento no esencial, sus propiedades químicas son intermedias entre el Zn y el Hg. En ambientes dulce acuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como CdCl_2 y CdSO_4 . Las principales fuentes de Cd en ambientes acuáticos son debidas al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria. Otro origen importante son los desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento. En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstructora del pulmón y se ha ligado al cáncer del pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer. El Cadmio puede también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis) en seres humanos y animales. Además, el Cadmio también puede estar relacionado con un aumento en la presión arterial y efecto sobre el miocardio de los animales” (Villanueva y Botello, 1992).

Aguilar (2018) señala que “Cuando los contenidos de cadmio en los suelos son relativamente bajos, la absorción en los vegetales es relativamente pobre, por lo que, en condiciones normales de cultivo, no suele ser preocupante esta vía de entrada en la cadena alimenticia, pero se pueden dar valores más elevados al utilizar fuentes de abonos fosforados ricos en Cadmio o bien residuos urbanos, al igual que en suelos que eventualmente contienen altas concentraciones de este metal”.

b) Plomo (Pb)

En la corteza terrestre el plomo se encuentra en forma natural tanto en suelos, plantas y agua a niveles de traza. Como plomo metálico no es frecuente su aparición.

“Los principales minerales de Pb son la galena (PbS) y cerusita (PbCO_3); anglesita (PbSO_4) y piromorfita ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$) son menos importantes, pero se presentan con frecuencia. El Pb se encuentra generalmente en los minerales que también contienen Cu, Zn y Ag, y se extrae como un co-producto de estos metales. Los efectos tóxicos producidos por el Pb son conocidos desde hace más de 2000 años y a pesar de ello, continúa siendo un importante tema de salud pública en la mayoría de los países industrializados. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del

organismo. El más sensible es el sistema nervioso, especialmente en los niños (en forma orgánica). También daña los riñones y el sistema reproductivo. La conexión entre estos efectos y la exposición a bajos niveles de Pb es incierta. Una de las principales fuentes de contaminación del ambiente es el proveniente de la combustión de la gasolina. Una vía importante de entrada en la cadena alimenticia ocurre cuando se consume la carne de animales de áreas contaminadas. Otra posible fuente de entrada es cuando los animales lamen las pinturas de las instalaciones ganaderas” (Marrugo, 2011).

c) Aluminio (Al)

Barrio (s/f) señala que “el aluminio proviene de la alteración de silicatos que tienen dicho elemento. A pH menores de 5.5 es soluble en el suelo y por ello en procesos de acidificación a causa de la lluvia ácida, el Al aumenta en los cursos de agua llegando al ser humano y pudiendo provocar desórdenes neurológicos e incluso Alzheimer”.

d) Cobre (Cu)

“El contenido de Cu en el suelo dependerá de la roca madre. Su biodisponibilidad también depende del pH, de la materia orgánica y la arcilla. El cobre tiene muchas funciones muy importantes como la formación de metaloproteínas, asimismo, participa en el desarrollo de los huesos y en el metabolismo de lípidos. Su deficiencia origina anemia hipocupremica y neutropenia. El cobre interrumpe la actividad en los suelos, influye negativamente en la actividad de los microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede volverse considerablemente lento debido a esto” Barrio (s/f).

1.13.5. Factores del suelo relacionados con la biodisponibilidad

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) menciona que “los factores que afectan la concentración de los metales en la solución del suelo afectan la biodisponibilidad, por tanto, esta depende de la naturaleza del metal, su interacción con los coloides del suelo, las propiedades del suelo y el tiempo de contacto del suelo con el metal. Los factores del suelo que afectan la biodisponibilidad del metal son pH, potencial redox, textura, contenido y tipo de arcillas, materia orgánica, óxidos de Fe, Mn y Al, y la presencia de cationes y aniones en solución”

a) pH

Cárdenas (2012) menciona que: “El pH del suelo es el factor principal que condiciona los procesos de adsorción en el suelo y la actividad de los metales, por lo que afecta la adsorción de cadmio, cobre y plomo. Este efecto es debido a diversos mecanismos como precipitación, hidrólisis metálica, adsorción de metales, competencia de los cationes metálicos por los sitios de intercambio, ionización de grupos superficiales, desplazamiento del equilibrio en las reacciones de complejación superficiales, la competencia con H_3O^+ y Al^{3+} por los sitios negativos y los cambios en la especiación metálica. Los metales quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas, excepto algunos metales, como el arsénico, selenio y cromo hexavalente, más biodisponibles a pH básicos”.

b) Contenido de materia orgánica

Adriano (2001) menciona que: Los constituyentes de la materia orgánica le proporcionan sitios para la adsorción de metales (grupos funcionales con comportamiento ácido, tales como carboxílicos, fenólicos, alcohólicos, enólicos-OH y grupos aminos), pudiendo ser la principal fuente de la capacidad de intercambio catiónico en las capas superficiales del suelo. Incluso en suelos agrícolas, generalmente con bajas concentraciones de materia orgánica, la contribución de la materia orgánica a la capacidad de intercambio catiónico es significativa, aunque varía en función del tipo de suelo. Además, la materia orgánica puede retener a los metales tanto por su capacidad de intercambio catiónico como por su capacidad quelante. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables. La complejación por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo.

c) Adsorción específica

Se produce por la afinidad de algunos cationes metálicos por un sitio particular de adsorción, por esta razón los metales son adsorbidos específicamente en cierto orden de preferencia, por ejemplo, $Cd < Zn < Cu$.

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) menciona que: “Es un fenómeno de alta afinidad, que involucra mecanismos de intercambio entre el metal y el ligando de la superficie de los coloides por medio de enlaces covalentes o iónicos. Este término ha sido utilizado para explicar la razón por la cual algunos suelos adsorben determinados cationes en concentraciones superiores a su capacidad de intercambio catiónico. La adsorción específica es altamente dependiente del pH e involucra a los coloides orgánicos e inorgánicos (materia orgánica y óxidos hidratados de Al, Fe y Mn), y ocurre cuando la concentración de los metales es baja”.

d) Contenido y tipo de arcilla

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) menciona que: “La mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas principalmente negativas en su superficie. Estas cargas son responsables de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo, que constituyen un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo y hacen que los metales permanezcan por más tiempo en el suelo y disminuyen su solubilidad y biodisponibilidad. Tanto el contenido como el tipo de arcillas son importantes en la capacidad de retención de los iones. El tipo de arcilla tiene que ver con su estructura y se tienen arcillas con carga permanente (carga generada por sustitución isomórfica) y arcillas con carga variable o dependiente del pH (generada por la adsorción o remoción de iones hidrógeno en la superficie de los coloides). Por lo tanto, el tipo de arcilla afecta la CIC y el grado de retención de los cationes metálicos en el suelo. Ejemplo, las arcillas montmorilloníticas tienen la mayor capacidad de retención para Cu y Cd y las kandíticas presentan la menor capacidad de retención”.

e) Potencial redox

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) menciona que: “Las condiciones de óxido/reducción (redox) de un suelo pueden influir en la biodisponibilidad de los metales. La condición redox afecta el tipo de especies de metales en la solución suelo alterando su solubilidad. El potencial redox tiene un gran efecto sobre la especiación y solubilidad del Mn en la solución suelo, el cual puede existir como Mn (II), Mn (III) y Mn (IV). Sólo la forma

reducida Mn (II) es más estable y soluble en la solución del suelo. En los suelos compactados e inundados, que tienen poca aireación, se ven favorecidas las condiciones de reducción, incrementando la biodisponibilidad de algunos metales como el Mn, Cd, Cu, Cr y Zn y aumentando su toxicidad”.

f) Óxidos de hierro, manganeso y aluminio

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) afirma que: “Los óxidos hidratados de Fe, Mn y Al adsorben metales pesados en forma específica y determinan su biodisponibilidad. También actúan en el intercambio catiónico ya que, dependiendo del pH pueden tener carga negativa en su superficie. Los óxidos también pueden co-precipitar a los iones metálicos. La importancia de los óxidos hidratados en la retención de los metales depende aparentemente de las condiciones de óxido-reducción del suelo, ya que en condiciones reductoras hay mayor disolución de los óxidos. Recientemente se ha demostrado que los óxidos de Fe y Mn tiene mayor capacidad de adsorción de metales pesados que los óxidos de Al y otros minerales de arcilla”.

Basta et al. (1993) indica que “Los óxidos hidratados de Fe y Mn influyen la solubilidad de Pb, Zn, Cd, y Cu; los óxidos de Mn en particular presentan una fuerte afinidad por la adsorción de Pb y probablemente en menor grado por la adsorción de Cd. 30 A menor grado de cristalinidad, los óxidos de Fe, Mn y Al tienen mayor adsorción de metales pesados en el suelo. La superficie de los óxidos es más reactiva desde el punto de vista químico en la medida que sea menos cristalina, situación que se ve favorecida en suelos de zonas con clima húmedo, como ocurre con los suelos de la zona centro sur del país”.

g) Presencia de cationes y aniones en la solución suelo

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) afirma que: “La adsorción de los cationes metálicos es un proceso selectivo que depende principalmente de la carga y radio iónico de los cationes, existiendo una competencia por los sitios de adsorción. Por ejemplo, el Ca^{+2} compite efectivamente con los cationes de metales pesados por sitios de adsorción, y esta competencia puede ser mayor para Zn y Cd que para Cu y Pb. Esto ocurre porque el Zn y el Cd están retenidos en el suelo básicamente por reacciones de intercambio, mientras que el Cu y el Pb forman complejos con la materia orgánica y con los óxidos de Fe, Mn, y Al. La concentración de aniones también puede tener efecto sobre la

solubilidad de los metales; los aniones tanto inorgánicos como orgánicos pueden formar complejos con los cationes metálicos y tales reacciones pueden afectar la biodisponibilidad de los metales”.

h) Otros factores

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) refiere que: “Hay otros factores que afectan la solubilidad de los metales en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas. Entre ellos la actividad microbiana del suelo, por ejemplo, puede inmovilizar metales favoreciendo la precipitación de sulfatos y óxidos de Fe hidratados. Las bacterias del suelo afectan la biodisponibilidad al adsorber metales a través de grupos orgánicos funcionales de su pared celular o al acidificar el suelo. Las propiedades físicas del suelo también pueden afectar la biodisponibilidad, por ejemplo el anegamiento y la compactación bajan el potencial redox del suelo. La temperatura es otro factor, así la absorción de Cd y Pb por la planta al igual que de otros iones es función de la temperatura. Además, a bajas temperaturas, la tasa de descomposición de la materia orgánica es menor. La actividad de las raíces afecta la biodisponibilidad al bajar el pH de la rizósfera. Al exudar ácidos orgánicos se solubilizan los metales y su absorción por las plantas aumenta. Los exudados orgánicos de las raíces también pueden actuar como agentes complejantes de los metales y pueden movilizar los metales adsorbidos a la solución suelo”.

1.14. TOXICIDAD

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) afirma que: “El efecto de los metales pesados en la vida de los organismos del suelo y en los principales procesos biológicos (degradación de la materia orgánica, fijación de nitrógeno, respiración) es de consideración. Los microorganismos son más sensibles al estrés por metales pesados que los animales del suelo o plantas. La mayor parte del riesgo ecológico se asocia con los metales pesados que están biológicamente disponibles para la absorción. La lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) es sensible a suelos contaminados con Zn, Cd y Pb, pero al aplicar enmiendas que inmovilizan los metales pesados, se observó una reducción de la toxicidad, mostrando una relación de los metales pesados biodisponibles con la ecotoxicidad. Los metales pesados no son degradados en los suelos y muchos son considerados como toxinas bioacumulativas persistentes (PBTs). El riesgo para la salud humana y los ecosistemas depende de la solubilidad y biodisponibilidad de los metales pesados en el

suelo, por ende, la inmovilización química de estos contaminantes reduciría el riesgo ecológico”.

Tabla 1.8. Directivas de Kelley en la clasificación de suelos contaminados

Parámetro	Valores típicos para suelos no contaminados	Contaminación ligera	Contaminación	Contaminación alta	Contaminación inusualmente alta
mg/kg suelo seco					
pH (ácido)	6-7	5 – 6	4 – 5	2 – 4	< 2
pH alcalino	7-8	8 – 9	9 – 10	10 – 12	>12
Arsénico	0 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 500	>500
Cadmio	0 – 1	1 – 3	3 -10	10 – 50	>50
Cromo	0 -100	100 – 200	200 – 500	500 – 25000	>2500
Cobre (disponible)	0 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 25000	>2500
Plomo	0 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	2000 – 1,0%	>1,0%
Plomo disponible	0 – 200	200 – 500	500 – 1000	1000 – 5000	>5000
Manganeso	0 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	2000 – 1,0%	>1,0%
Níquel (disponible)	0 – 20	20 – 50	50 – 200	200 – 1000	>1000
Zinc (disponible)	0 - 250	250 - 500	500 - 1000	1000 - 5000	>5000

Fuente: c:\ukqaa\steering committee info\environment agency and waste\code of practice y/o risk assessment \environmental testing and emerging uk and eu legislation November, 2002.doc page 11 of 11 Date printed: 30/01/03

Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f) afirma que:

“Los metales acumulados en el suelo desaparecen lentamente por lixiviación, absorción por las plantas y erosión. En la Tabla 1.9 se muestra la vida media estimada para algunos metales pesados en estudios de lixiviación realizados, junto con el tiempo de residencia, para suelos en clima templado. En suelos de bosques lluviosos tropicales la velocidad de lixiviación de los elementos es mucho mayor y la vida media es más corta estimándose en alrededor de 40 años. Todas las estimaciones que se han realizado indican claramente que la remoción completa de los contaminantes metálicos de los suelos es casi imposible”.

Tabla 1.9. Vida media y tiempo de residencia metales pesados en el suelo

Elemento 1 ^a	Vida media, según Tiempo d residencia, en clima estudios de lixiviación templado	
	(Bowen, 1979)	(Limura et al, 1977)
Años		
Ni		1000 a 3000
Cu	310 a 1500 años	1000 a 3000
Zn	70 a 510	1000 a 3000
Se		1000 a 3000
Cd	13 a 1100	75 a 380
Hg		500 a 1000
Pb	740 - 5900	1000 a 3000

Fuente: Limura et al. (1977) citado por Acosta, 2007

1.15. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

“Los metales pesados participan en varios procesos desde que son incorporados en el suelo principalmente por actividades antropogénicas; se pueden incorporar al ciclo del agua o acumularse en tejidos vegetales o en el suelo por el resultado de diversas transformaciones químicas, vía proceso de adsorción, solubilización, precipitación y cambios en el estado de oxidación” (Panduro, 2015)

Las características físico-químicas del suelo, son un factor importante para la concentración y disposición de éstos, tanto para las plantas como para los animales, por lo que es imposible establecer un patrón de bioacumulación y captación de metales pesados.

1.16. FITOTOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS

Acosta (2007) menciona que, “El término fitotoxicidad normalmente ha sido asociado con el fenómeno causado por una sustancia potencialmente dañina en el tejido vegetal que afecta su óptimo crecimiento y el desarrollo; la fitotoxicidad en las plantas se establece según su comportamiento y los signos que presentan a lo largo de su crecimiento, además de tomar en cuenta las características ambientales y de manejo del área donde estén cultivadas. A las concentraciones bajas de elementos químicos contaminantes (<0.1%), en las plantas se les llama "elementos traza", independientemente de que sean esenciales para su metabolismo o tengan efectos tóxicos”.

1.17. NUTRICIÓN VEGETAL

Acosta (2007) manifiesta que: “En la nutrición vegetal, existen algunos elementos traza, necesarios, que se incorporan cuando están disponibles en el suelo o agua y según la especie vegetal son requeridos en ciertas concentraciones actuando de diferente manera, ya sea por deficiencia o excedente. Cuando los elementos son abundantes para las plantas se convierten en tóxicos y generan la pérdida de la calidad y propiedades alimenticias de los productos agrícolas. Si la planta crece en diferentes tipos de suelo con igual concentración de metales, varía notablemente el nivel de fitotoxicidad, por su capacidad de absorción. Esto se relaciona con el contenido de arcillas, la composición mineral, la cantidad de materia orgánica, el pH y la composición de la solución del suelo. La toxicidad de algunos metales en las plantas, depende en mucho del tipo de

vegetal de que se trate y las vías metabólicas a las que afecte; esta toxicidad se puede manifestar con la alteración del balance iónico de la membrana plasmática ocasionando la salida de iones como el potasio o alterando el balance iónico en organelos celulares y el citoplasma”.

Tabla 1.10. Alteración fisiológica de plantas producidas por metales pesados

Metal	Efecto en los vegetales
Aluminio	Inhibición y alteración de las funciones de la membrana celular, a nivel del citoplasma.
Arsénico	Reducción del crecimiento y alteración de la concentración de Ca, K, P y Mn en la planta.
Cadmio	Inhibición de la fotosíntesis y la transpiración. Inhibición de la síntesis de clorofila. Modificación de las concentraciones de Mn, Ca y K.
Cobre	Desbalance iónico, alteración de la permeabilidad de la membrana celular, reducción del crecimiento e inhibición de la fotosíntesis.
Cromo	Degradación de la estructura del cloroplasto, inhibición de la fotosíntesis, alteración de las concentraciones de Fe, Ca, K y Mg.
Mercurio	Alteración de la fotosíntesis, inhibición del crecimiento, alteración de la captación de K.
Plomo	Inhibición de la fotosíntesis, el crecimiento y de la acción enzimática.
Zinc	Alteración de la permeabilidad de la membrana celular, inhibición de la fotosíntesis, alteración en las concentraciones de Cu, Fe y Mg.

Fuente: McGrath y McCormack, 1999

1.18. MECANISMOS DE ABSORCIÓN DE METALES PESADOS POR LAS PLANTAS

Acosta (2007) indica que: “Las especies vegetales, incluidos los cultivos agrícolas, tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos; a esta capacidad se le conoce como bioacumulación y es diferente entre las especies vegetales y son atribuidas también, a la capacidad de retención de metales por el suelo y a la interacción planta - raíz – metal. El agua y los minerales disponibles en el suelo, se incorporan a las plantas a través de las raíces; en éstas existen unos pelos radicales que son extensiones unicelulares de las células epidérmicas y que poseen una pared muy fina con vida efímera (1-3 días); estos pelos radicales, aumentan el área de contacto con el estrato y permite una absorción más eficiente del agua y los minerales necesarios. La endodermis contiene una cinta de material impermeable conocida como la banda de Caspary, que evita el paso de exceso de agua y elementos disueltos a través de células endodérmicas y de esta manera, regula el paso de nutrimentos y agua que llega a la xilema. La vacuola es el orgánulo celular que ocupa un espacio considerable en las células vegetales (40 al

70%) y en muchas plantas es un almacén con gran capacidad masiva para acumular niveles elevados de materiales tóxicos sin dañar a otras células. Cuando un metal pesado entra en una célula vegetal es inmovilizado por sustancias orgánicas quelantes (fitoquelatinas) que forman iones complejos con el metal y evitan la fitotoxicidad de estos; otro camino es que, al formar los quelatos, estos pasan por la vacuola y ahí se alojan. Las sustancias quelantes pueden ser producidas por la propia planta y liberadas al suelo a través de las raíces, o pueden ser añadidas directamente por el hombre, empleando insumos químicos para descontaminarlos. Las plantas capaces de crecer en suelos con altos contenidos de metales lo hacen excluyendo iones potencialmente tóxicos de sus sistemas de raíces. En otras plantas, los metales son utilizados como micronutrientes, aunque a menudo aún en concentraciones mínimas, saturan a la planta. La habilidad de tolerar la presencia de metales pesados está determinada por el nivel de variación genética de cada especie vegetal. La capacidad de las plantas de absorber y almacenar elementos minerales, como los metales pesados en sus órganos, se denomina bioacumulación y ha sido utilizada para monitorear el índice de contaminación de algunos ecosistemas, sin embargo, los patrones de bioacumulación son muy variables, tanto entre especies vegetales como entre los diferentes elementos minerales, y no siempre existe una relación extrapolable”.

1.19. EVOLUCIÓN DE LOS PLAGUICIDAS EN EL SUELO

Edafología.net (s/f) señala que:

“Los mecanismos que rigen la evolución de los plaguicidas en el suelo son:

- **Descomposición química**, que tiene lugar por procesos de oxidación, reducción, hidroxilación, de alquilación, rotura de anillos, hidrólisis e hidratación;
- **Descomposición fotoquímica**, que se produce por efecto del espectro de luz ultravioleta de la luz solar. Las fuentes de luz y su intensidad regulan el grado de descomposición de un compuesto;
- **Descomposición microbiana**, la acción de los microorganismos del suelo sobre los plaguicidas es probablemente el mecanismo de descomposición más importante. Los microorganismos del suelo, bacterias, algas y hongos, obtienen alimento y energía para su crecimiento por descomposición de estos compuestos orgánicos sobre todo cuando carecen de otras fuentes;

- **Volatilización**, es la pérdida del compuesto en forma de vapor . Todas las sustancias orgánicas son volátiles en algún grado dependiendo de su presión de vapor, del estado físico en que se encuentre y de la temperatura ambiente;
- **Movimiento**, el transporte de un plaguicida en el suelo, por disolución o arrastre mecánico, se hace bajo la influencia del agua . El grado de lixiviación está influido por las características fisicoquímicas del suelo, solubilidad del producto, frecuencia e intensidad de la lluvia, etc.;
- **Descomposición por las plantas y organismos**, como consecuencia de los procesos metabólicos que tienen lugar en las plantas”.

1.20. EXPANSIÓN DEL USO DE AGROQUÍMICOS

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación – FAO define “plaguicida como cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos. A los plaguicidas usados en relación a las actividades agrarias los denominamos agroquímicos y a ellos nos referiremos de aquí en adelante”.

Además, señala que “en la década de 1950 los pesticidas químicos fueron lanzados a nivel internacional como un milagro de la ciencia para enfrentar a los problemas de plagas. Sin embargo, el uso cotidiano de esos químicos contribuye a la crisis de la agricultura que dificulta la preservación de los ecosistemas, los recursos naturales, y afecta la salud de las comunidades rurales y de los consumidores urbanos. La búsqueda de la productividad a corto plazo por encima de la sustentabilidad ecológica, practicada en las últimas décadas, ha dejado un saldo a nivel mundial la contaminación y envenenamiento donde el pretendido remedio universal ha resultado ser peor que la enfermedad”.

Carson (1962) “destaca las consecuencias nocivas para el ser humano y el medio ambiente que provoca el uso de peligrosos venenos químicos para combatir las plagas y enfermedades de las plantas. Las investigaciones sucesivas demostraron la presencia de plaguicidas clorados en el tejido adiposo de mamíferos marinos y otros vertebrados e

incluso en los seres humanos y en la leche materna. También quedó en evidencia que muchos plaguicidas causan daños genéticos," cáncer y depresión del sistema inmunológico. Aunque los trabajadores agrícolas enfrentan la mayor exposición a esos tóxicos, los consumidores también con-en los riesgos al comer alimentos contaminados. Estudios científicos todavía no han podido aclarar los efectos a largo plazo de ingerir residuos de distintos plaguicidas en los alimentos, cotidianamente y por muchos años”.

1.21. AGROQUÍMICOS Y LA PRODUCCIÓN DE COCA EN EL PERÚ

UNODC (2010) menciona que: “En los últimos años ha llamado la atención el incremento del uso de insumos agroquímicos utilizados en la producción de cultivos de coca. Se precisa que para lograr altos niveles de productividad, los cultivos de coca destinados al narcotráfico son sometidos a la aplicación de frecuentes y altas dosis de agroquímicos, entre ellos fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas.

Analistas estiman, que anualmente se aplica alrededor de 700 mil litros de agroquímicos a los cultivos de coca, destinados al narcotráfico envenenando ríos, suelos y depredando la flora y fauna de los valles cocaleros. La falta de conocimiento de los productores cocaleros, que no miden las consecuencias ambientales al usar grandes cantidades de productos agroquímicos, al ser utilizados persisten un tiempo en un suelo agrícola y luego por factores climáticos discurren a los cursos de agua, afectando a la biodiversidad y a la población al consumir el agua y los alimentos, ocasionando enfermedades y mortandad por acumulación de toxinas.

En el mercado local existe una gran variedad de productos para obtener mayores rendimientos en la producción de hoja de coca. Los agroquímicos más utilizados son el Gramoxil, Gramoxone (Herbicidas), otros productos altamente tóxicos es el Tamaron, Thiodan, Caporal y Monitor; productos altamente tóxicos. Es importante señalar que los establecimientos informales que venden estos productos tóxicos se han propagado sobre todo en el VRAEM en la actualidad. Es también muy difundida la venta de estos productos en las diferentes zonas cocaleras donde los centros de expendio se hacen llamar Agroquímica, Ferretería, Agro fertilizantes, Multiagro, Agroventas, etc.

Una de las más grandes preocupaciones que existe hoy en día en el Perú es la excesiva utilización de productos químicos para la agricultura y en especial para los valles con cultivos de coca”.

UNODC y DEVIDA (2017) informe que: “A nivel nacional, las zonas cocaleras más relevantes siguen siendo el Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), La Convención y Lares e Inambari-Tambopata que representan el 75 % de la superficie de coca en producción. Cabe indicar que ninguna de estas tres áreas estuvo sujeta a intervenciones del Plan anual de reducción del espacio cocalero ilegal, con responsabilidad social implementado por el Proyecto Especial de Control y Reducción de Cultivos Ilegales en el Alto Huallaga (CORAH). Las áreas con mayor incremento en términos absolutos son VRAEM e Inambari - Tambopata con 1,342 ha y 1,095 ha, respectivamente. En términos relativos, las áreas de Pichis - Palcazú - Pachitea (554 %) y San Gabán (226 %) muestran el mayor incremento en la superficie cultivada con coca en producción respecto del 2016. En cultivo de coca se ha registrado en trece departamentos; de ellos, cuatro contienen el 81 % (40,287 ha) del área total cultivada con coca en producción: Cusco presenta la mayor superficie con 17,282 ha, seguido de Ayacucho con 12,906 ha, Puno con 6,492 ha y Junín con 3,607 ha. Estos departamentos involucran a seis zonas de producción: La Convención y Lares, Kcosñipata, VRAEM, Mazamari, San Gabán e Inambari-Tambopata. VRAEM, es la zona con mayor producción de hoja de coca, aportando un volumen aproximado de 78,511 TM de hoja seca, que equivale al 67 % del total nacional (117,292 TM); esto como consecuencia de la mejora tecnológica empleada en esta zona por los agricultores cocaleros (abono foliar, fungicidas y otros). La densidad de plantas por hectárea en esta zona es superior a 200,000”.

1.22. LA CONTAMINACIÓN POR FITOSANITARIOS

Docplayer.es(s/f) señala que: “Tradicionalmente se han venido usando todo tipo de fitosanitarios (fertilizantes y plaguicidas) para conseguir mejorar la producción de las cosechas. Como resultado del cultivo el suelo va agotando sus nutrientes y el agricultor compensa ese déficit incorporando fertilizantes al suelo. Por otro lado para combatir las plagas y las malas hierbas que disminuyen la producción se utilizan plaguicidas, herbicidas, insecticidas, etc. Hasta aquí todo correcto, ahora bien el agricultor, en general, tiene un conocimiento muy pobre del suelo y sus propiedades, es por ello que a la hora de utilizar los fitosanitarios no hace un uso racional de estos productos y ante el miedo a quedarse corto emplea dosis masivas que van acumulándose en el suelo, contaminándolo y frecuentemente pasan a las aguas subterráneas y superficiales”.

Tabla 1.11. Metales pesados en suelos y plantas terrestres

Elementos	Suelos (mg/kg)	Plantas terrestres (mg/kg)
Cadmio (Cd)	0.35	0.1 – 2.4
Cobalto (Co)	8.0	< 1.0
Cobre (Cu)	30.0	-
Cromo (Cr)	70.0	0.03 – 1.0
Hierro (Fe)	4.0	70 - 700
Mercurio (Hg)	0.06	< 0.02
Manganeso (Mn)	1,000.0	20 - 700
Níquel (Ni)	50.0	-
Plomo (Pb)	35.0	-
Selenio (Se)	0.4	0.03
Zinc (Zn)	90.0	20 -400
Arsénico (As)	6.0	0.2 - 7

Fuente: Más y azcue 1993, citado por García y Dorronsoro, 2002

Los estándares máximos de metales pesados admisibles en productos alimenticios, y en especial en las almendras de cacao, se presentan en la tabla 1.12. Estos niveles pueden variar de acuerdo a los países. Hungría es el más exigente. Surge la preocupación de contaminación con estos metales tóxicos en las almendras de cacao, por el uso excesivo de agroquímicos para el cultivo de coca que se están sustituyendo por otros cultivos como el cacao, lo cual se analizarán las almendras de cacao secas donde se verán los niveles permitidos para el consumo en los consumidores.

Tabla 1.12. Contenido máximo admisible de metales pesados en productos nutricionales en humanos para Europa

Metal pesado	UE	UE	CODEX
	Productos alimenticios	Almendras de cacao	Almendras de cacao
	ppm	ppm	ppm
Cadmio (Cd)	1.0	0.5	-
Cobre (Cu)	350.0	50.0	30.0
Aluminio (Al)	40.0	0.03	0.03
Plomo (Pb)	5.0	2.0	2.0
Zinc (Zn)	500.0	-	-
Mercurio (Hg)	1.0	0.02	0.02
Cromo (Cr)	45.0	-	-
Selenio (Se)	0.5	-	-

Fuente: Más y Azcue 1993, citado por García y Dorronsoro, 2002

“Para la Unión Europea a partir del 1 de enero del 2019 entro en rigor para toda UE la norma que considera como contenido máximo de cadmio en diversos productos de cacao en un rango de 0.10 a 0.80 mg/kg. (OMC). Para el Canadá; para un chocolate de más 50% de sólidos de cacao tiene un rango de 0,02 a 0,86mg/kg. Ecuador: para un chocolate de más de 50% de sólidos de cacao tiene un rango de 0,03 a 1,56 mg/kg; con un promedio de 0,378mg/kg. Mercosur: para un chocolate y productos de cacao menor al 40% de cacao tiene un límite recomendado de 0,2mg/kg.” (Santander y Mendieta, 2019).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. ZONA DE ESTUDIO

2.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en plantaciones de cacao en producción del distrito de Kimbiri, comprendida entre los paralelos 11°64', 13°22' de Latitud Sur y 73°11', 75°35' de Longitud Oeste, a una altitud de 739 msnm en la ceja de selva (selva alta) de la provincia de La Convención, Región Cusco.

a) Ubicación política

Departamento : Cusco
Provincia : La Convención
Distrito : Kimbiri
Anexos : Comunidades cacaoteras.

b) Ubicación geográfica

Altitud : 739 msnm.
Latitud Sur : 11°64', 13°22'
Longitud Oeste : 73°11', 75°35'

2.1.2. Extensión y demografía

Según el INEI 2017, el distrito de Kimbiri tiene una extensión de 1,134.69 km², y una población de 18,722.00 habitantes, de los cuales el 73% es rural y el 27% es urbana.

2.1.3. Límites

Por el Norte : Con el distrito de Pichari.
Por el Este : Con el distrito de Echarate
Por el Sur : Con el distrito de Villa Kintiarina.
Por el Oeste : Con los distritos de Sivia, Ayna y Santa Rosa.

2.1.4. Vías de comunicación

Esta interconectada por una carretera en proceso de asfaltado; con una distancia de 550 km de la ciudad de Lima y 194 km de la ciudad de Ayacucho.

2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El Distrito de Kimbiri, se ubica en la región de la selva Alta o Rupa Rupa, siendo una zona subtropical húmeda, Según ONERN (1986), ecológicamente el distrito de Kimbiri esté comprendido dentro de la zona de vida: Bosque muy Húmedo - Subtropical, (Bmh - S).

2.2.1. Clima

El valle Rio Apurímac y Ene y el distrito de Kimbiri tienen la característica de poseer un clima subtropical húmedo, con densa vegetación, compuesto de bosque primario y arbustivo, formado por un angosto valle con una topografía montañosa lo que le da una superficie irregular, con diversos pisos altitudinales.

2.2.2. Temperatura

Los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos, con una temperatura máxima promedio de 30.9 °C, temperatura mínima promedio 17.8 °C y una temperatura media de 24.3 °C (Anexo N° 06).

2.2.3. Hidrografía

El sistema hidrográfico está condicionado por la presencia de las montañas las que hacen derivar su potencial hídrico en dirección de la vertiente del Rio Apurímac, eje del sistema hidrográfico del Valle. Entre sus afluentes destacan los Ríos Ubiato, rio de Camunachari, río Kimbiri, rio Roca, río Samaniato, rio Mapitunari, rio Tahuantinsuyo Lobo, Chirumpiari, rio Imperial M., rio Kintiarina y Rio Sinkivine.

2.2.4. Precipitación

La precipitación total anual en el VRAE fue 1179.0 mm. Se presentaron dos épocas, una lluviosa, que inició en el mes de octubre y se prolongó hasta marzo con exceso de agua de lluvia, y otra la época seca que inició en abril y terminó en setiembre con un déficit de agua tal como se observa en el balance hídrico para el jardín clonal de la “Asociación de Productores CACAO VRAE, correspondiente al año 2018. (Anexo 7).

2.3. SELECCIÓN DEL ÁREA Y TOMA DE MUESTRAS

2.3.1. Selección del área a muestrear

En esta investigación se realizó la selección del área a nivel distrital de las zonas cacaoteras del distrito de Kimbiri, Provincia La Convención y región Cusco, que se extiende desde la comunidad de Ubiato (frontera con el distrito de Pichari) hasta la comunidad de San Juan de la Frontera (frontera con el distrito Vilcabamba). Su territorio se encuentra comprendido entre los paralelos 11°64', 13°22' de Latitud Sur y 73°11', 75°35' de Longitud Oeste, está ubicado desde los 540 msnm a 3,000 msnm en la ceja de selva (selva alta), a orillas del río Apurímac.

En este ensayo se consideraron los puntos de muestreo (sitios) como un factor fijo, puntos que fueron escogidas *a priori* por sus condiciones particulares o de acuerdo a los posibles variables (fuente de contaminación), realizando 03 zonificaciones para la recolección de muestras de granos como: zona alta (751 a 1,150 msnm), zona media (651 a 750 msnm) y zona baja (540 a 650 msnm) adecuados para el cultivo de cacao. Ver Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Distribución de los puntos de muestreos, en los diferentes Centros Poblados

CC. PP.	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
Cercardo Kimbiri	12	6	5	23
Samaniato	6	5	3	14
Progreso	5	3	5	13
Lobo T.	3	5	5	13
Chirumpiari	2	4	1	7
Villa Kintiarina	-	8	12	20
	28	31	31	90

2.3.2. Criterios para la determinación de la muestra de las almendras de cacao para el análisis

- Se tuvo en cuenta que las plantaciones cacaotales sean de la misma edad.
- Las muestras son de plantaciones del mismo clon.
- Tamaño de la parcela
- Sistema de plantación
- Prácticas de manejo, uso de pesticidas y fertilizantes

- Análisis de suelo de cada parcela.
- Ubicación si está cerca de actividades de procesamiento, mineras, borde carreteras etc.
- Se consideró la fisiografía del terreno donde están las plantaciones, la cual es el más representativo de la parcela, se tomó nota de algunas características del suelo: color, profundidad, textura, etc.
- Los frutos se tomaron de la parte central (dos tercios) de la planta de cacao.

2.3.3. Colecta de las muestras de almendras de cacao

Se colectaron semillas secadas por procedimientos convencionales con el apoyo de los técnicos y agricultores de la parcela, en época de cosecha del cultivo de cacao (mayo, junio 2015) en una cantidad de 90 muestras en total de 1.0 kg cada muestra en baba para ser secadas convencionalmente y dejar 300 gr de almendras secas seleccionadas, distribuidas en las 32 comunidades y en diferentes zonas del distrito.

2.3.4. Procedimiento para tomar las muestras

Las plantaciones cacaoteras establecidas en suelos agrícolas muy heterogéneos haciendo la extracción de cada planta sean diferentes en la absorción de los nutrientes.

- La toma de muestra se hizo durante la época de maduración de las mazorcas de cacao, la cual se ejecutó en el mes de mayo.
- Se determinó el tamaño de la muestra previa cálculo. Ver figura 2.1
- Se determinaron la muestra la más representativa de la plantación de cacao y para ello se tomó en diversos puntos siguiendo un zigzag y diagonal por toda la plantación. Ver figura 2.2.
- La localización adecuada para determinar las mazorcas adecuadas de cacao es el tercio medio de la planta, para tener un resultado más verídico y exacto de los metales pesados tóxicos y se colectó las semillas de la parte media de la mazorca madura, descartando la base y la parte terminal de la mazorca.
- Como se menciona en el párrafo anterior de la localización se procedió a la recolección de 40 mazorcas/ha de cada parcela seleccionada, para hacer una muestra compuesta, luego se realizó el quiebre agrupándolo las almendras en costales nuevos de color blanco y posteriormente se trasladó para posterior secado sin fermentar llegando a la humedad de 8 a 7%, pesando solo 300 gramos.

- Se colocaron en bolsas de papeles adecuados (sobre manila) libre de contaminación, limpios y secos para evitar la acumulación de humedad, se cerraron herméticamente debidamente etiquetados con los datos necesarios como: nombre del agricultor, comunidad, clon de la semilla, fecha de la colecta, ubicación georreferenciados (coordenadas). Forrando con cinta de embalaje por encima, trasladándolo al laboratorio de AGROLAB en la ciudad de Ayacucho.

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{B^2} \quad n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Dónde:

n_0 = submuestra

n = tamaño de muestra

$Z = 1.96$. (Nivel de confianza del 95%) - (Probabilidad del nivel de confianza)

$S = \text{Rango}/6 = (2.4 - 0.1) / 6 = 0.38 \text{ mg/kg}$ (caso de Cadmio).

(Desviación estándar estimada)

$B = E * \text{Promedio} = 0.1 (1.15 \text{ mg/kg})$ se está asumiendo ese promedio. (Es el error que puedes cometer en el tamaño de muestra) (Error absoluto o precisión)

$B = 0.115 \text{ mg/kg}$

$N = 1111 \text{ plantas/ha}$

Reemplazando en la primera fórmula: $n_0 = \frac{Z^2 S^2}{B^2} = 42$

Reemplazando en la segunda fórmula: $n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = 41$

Se tomó 40 mazorcas, que se mezclaron uniformemente obteniendo una muestra representativa que sería aproximadamente 2.5 kg de peso en baba, para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario y obtener una muestra compuesta representativa. De allí tomar los **300** gramos en seco para el análisis en laboratorio.

2.3.5. Análisis químico de la muestra

Se realizó el análisis químico para estimar la cantidad de metales pesados tóxicos en la almendra de cacao en un momento dado. Nos permitirá medir una parte del total nutrientes de los granos.

2.4. FACTORES EN ESTUDIO

2.4.1. Metales pesados tóxicos

- Cobre.
- Cadmio.
- Plomo.
- Aluminio.

2.4.2. Condiciones edafoclimáticas del cultivo

- Piso Altitudinal
- Edad de la planta
- Clones de cacao

a) Piso altitudinal

Zona baja	: 540 a 650 msnm.
Zona media	: 651 a 750 msnm.
Zona alta	: 751 a 1150 msnm.

b) Edad de la planta

Planta joven (PJ)	: 3 a 10 años.
Planta semi madura (Psm)	: 11 a 20 años
Planta madura (PM)	: 21 años a más.

c) Clones de cacao

CCN – 51

VRAE -15

VRAE -99 y

Común. (Híbridadas)

2.5. MATERIAL GENÉTICO EN ESTUDIO

Los clones evaluados son 04 (común, CCN-51, VRAE-15, VRAE-99), teniendo en cuenta la instalación del tipo de clon cacao en su parcela del agricultor, cuyas características son:

2.5.1. Común

Principales características

Son plantas híbridas resultado del cruzamiento de 2 individuos o progenitores diferentes de la misma especie, estos cruzamientos pueden darse en forma natural, libre, sin control, no conociendo al progenitor macho, pero si hembra o madre. Generalmente se da por la acción de los agentes polinizadores, especialmente mosquitas del genero *Forcypomia*. (Sánchez L. R, 2006.)

2.5.2. CCN – 51

Principales características

Grupo genético	: Complejo
País de origen	: Ecuador
Tamaño del fruto	: Grande (> 24 cm)
Forma del fruto	: Alargado
Tamaño de la semilla	: Intermedia (1.1 a 1.4 cm)
Numero de semilla	: 35 - 55
Compatibilidad	: Autocompatible
Color de cotiledones	: Morado a pálido
Reacción a:	
• Pudrición parda	: Susceptible
• Escoba de bruja	: Moderadamente resistente
• Moniliasis	: Moderadamente susceptible
Rendimiento	: 2,760 kg
Índice de mazorca	: 16
Calidad organoléptica	: Corriente o básico

Fuente: García C. L, 2009. Catálogo de Cultivares de Cacao.

2.5.3. VRAE – 15

Principales características

Producción	: Alto
Comportamiento a enfermedades	: Tolerante
Periodo de producción	: Continuo
Porte o vigor de la planta	: Medio
Compatibilidad	: Autocompatible
Índice de mazorcas	: Medio
Inicio de producción	: Medio
Aromaticidad	: Alto
Densidad siembra sugerida	: Densidad media a alto.

Fuente: Paredes A. M, 2008. Clones Promisorios de Cacao Peruano.

2.5.4. VRAE – 99

Principales características

Producción	: Alto
Comportamiento a enfermedades	: Tolerante
Periodo de producción	: Estacional
Porte o vigor de la planta	: Medio
Compatibilidad	: Autocompatible
Índice de mazorcas	: 19 mazorcas. /kg
Inicio de producción	: Precoz
Aromaticidad	: Medio
Peso de grano	: 1.5 g

Fuente: Proyecto cacao (Pichari, 2011)

2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la evaluación estadística de los resultados obtenidos, se aplicó estadística descriptiva de promedio, rango, desviación estándar, coeficiente de variabilidad, todas estas variables con el fin de diagnosticar los Límites Máximos Permisibles (LMP) de toxicidad de los metales pesados evaluados, con respecto en el análisis de correlación entre los metales pesados no se ha encontrado significación estadística, en donde los datos se expresan en Tablas y Figuras.

2.7. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EN ESTUDIO

2.7.1. Unidad en estudio

Se recogió muestras de grano de cacao de todas las áreas cacaoteras previo piso altitudinal de acuerdo a los posibles variables (fuente de contaminación), luego se envió al laboratorio.

Numero zonas	: 06 centros poblados
Número total de comunidades	: 32
Área total del distrito	: 1,134.69 km ²
Total de muestras	: 90 de 300 gr de almendras secas.

2.7.2. Mapa del campo en estudio

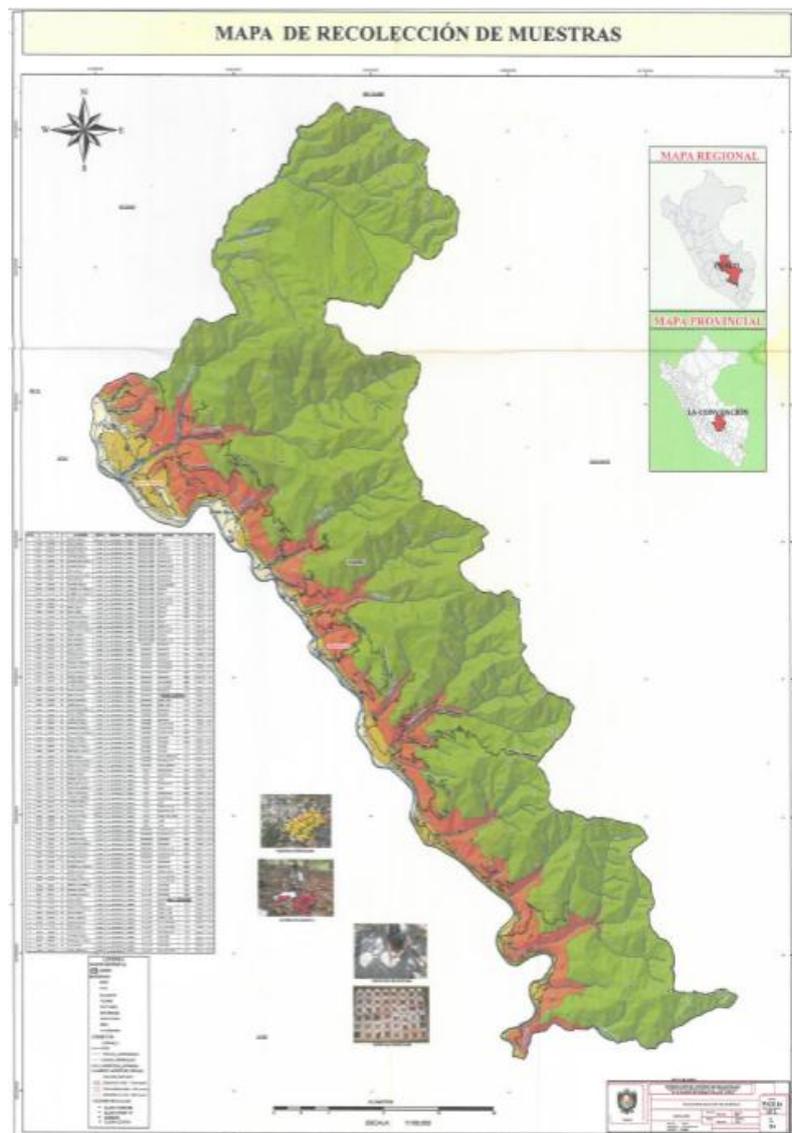


Figura 2.1. Mapa del distrito de Kimbiri con sus puntos de muestreo

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS POR CENTRO POBLADO

Inicialmente, debemos manifestar que durante los análisis del contenido de las almendras de cacao no se ha encontrado aluminio (Al) en dichos productos del distrito de Kimbiri.

Los resultados obtenidos se han distribuido en tablas estadísticas para la mayor comprensión de los mismos. En ellas se muestran la concentración de metales en las almendras de cacao, observándose todos los centros poblados tomadas las muestras según tamaño del área, reduciendo a 06 centros poblados de las 90 muestras de almendras de cacao de las diferentes parcelas.

Tabla 3.1. Resultados de análisis de metales pesados tóxicos en almendras de cacao por centros poblados

CENTRO POBLADO	Cu	Pb (ppm)	Cd	TOTAL DE MUESTRAS
Cercardo Kimbiri	13 - 37	0 - 17.30	0 - 4.80	23
Samaniato	14 - 31	6.6 - 25.20	0 - 2.10	14
Progreso	8 - 27	0 - 30.90	0 - 4.50	13
Lobo Tahuantinsuyo	13 -25	0 - 24.10	0 - 2.70	13
Chirumpiari	17 - 32	0 - 14	1.80 - 4.30	7
Villa Kintiarina	11 - 31	0 - 12.70	0 - 6.90	20
				90

En la tabla 3.1. muestra el consolidado de los resultados de análisis de metales pesados, en los que se observa que el 29.45 % de muestras analizadas en promedio poseen niveles de plomo y cadmio por debajo de los límites máximos permisibles. El 70.55%

de las muestras en alguna dimensión, ya sea en plomo o conjuntamente al cadmio o cadmio solo, muestran niveles por encima de los máximos permisibles, descritos por la Unión Europea en contenido de almendras. **Según Más y Azcue 1993, citado por García y Dorronsor, 2002, citado por Reyes Y María (2004)**, se establece el valor **0.5 ppm cadmio total y 2.0 ppm de plomo en almendras** como referente, siendo de este modo indispensable realizar mayor examen en relación a los tipos de suelos, sus características más elementales, las practicas realizadas de manera que se pueda encontrar los orígenes de tales presencias, en vista de que están relacionadas con el material parental (siendo mayor posibilidad cuando aquellos son de origen volcánico), el pH, el potencial redox, la materia orgánica, textura, así como las prácticas de fertilización (niveles, fuentes) y encalado.

Al parecer, el problema de tipo de suelo es muy importante sobre todo en Sampantuari, Limatambo, Palestina alta, Samaniato, Los Ángeles, etc. que se puede hacer tal afirmación por el mayor número de muestras analizadas, en los que se concentra tanto plomo como cadmio, también es importante prestar atención a aquellos que fueron sembrados después de coca, pues existe tendencia de acumular básicamente plomo.

Estos estudios reportan que se ha detectado menos cadmio en las plantas más viejas; las plantaciones nuevas presentan mayor contenido de cadmio.

Respecto a los niveles de cobre, solamente en cuatro muestras una de cada comunidad (Limatambo, Villa Kintiarina, Palestina Alta, Samaniato y Ubiato) muestran un ligero incremento, los demás poseen rango dentro de los márgenes permisibles o “normales”.

3.2. DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS POR ALTITUD

Tabla 3.2. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao por piso altitudinal

PISO ALTITUDINAL	HUMEDAD (%)	Cu	Pb	Cd	Ha (Kg/Año)
BAJA (540 a 650msnm)					
Promedio	5.77	21.50	12.13	1.45	812.86
Obs. min	4.12	12.00	0.00	0.00	300.00
Obs. max.	7.60	37.00	30.90	4.80	2000.00
Desv. Est.	0.67	5.60	8.52	1.46	404.97
C.V.	11.66%	26.05%	70.25%	100.16%	49.82%
n	28				
MEDIA (651 a 750msnm)					
Promedio	5.66	20.20	7.72	2.02	813.33
Obs. min	4.72	8.00	0.00	0.00	300.00
Obs. max.	7.24	32.00	20.90	6.90	2000.00
Desv. Esta.	0.55	5.62	6.93	1.75	402.35
C.V.	9.76%	27.83%	89.74%	86.64%	49.47%
n	30				
ALTA (751 a 1150msnm)					
Promedio	5.57	20.53	9.53	1.67	819.81
Obs. min.	4.36	11.00	0.00	0.00	250.00
Obs. max.	6.56	31.00	25.20	4.10	2500.00
Desv. Esta.	0.51	4.30	8.67	1.24	531.66
C.V.	9.18%	20.96%	91.04%	74.69%	64.85%
n	32				

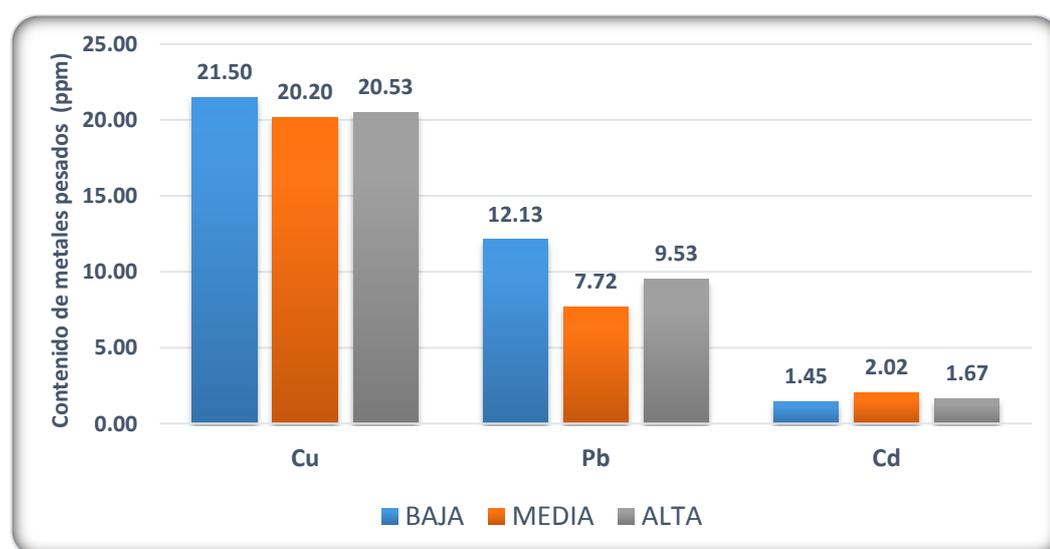


Figura 3.1. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en las almendras de cacao según altitud sobre el nivel de mar. VRAEM, Kimbiri 739 msnm

La figura 3.1 muestra los elementos pesados en influencia de la altitud sobre el nivel de mar, en esta se observa en el cobre (Cu) un mayor contenido en comparación con los demás elementos, también indica un ligero valor promedio (21.50 ppm) en la zona baja. El contenido de plomo (Pb) en la zona baja es mayor con un valor de 12.13 ppm, se puede reportar también que en las zonas medias existe un bajo promedio de este elemento que llega a un 7.72 ppm. En el caso del cadmio existe un mayor contenido de cadmio (Cd) en las almendras de cacao en la zona media de cultivo llegando a un valor promedio de 2.02 ppm.

En cuanto a los pisos Altitudinales no influye la presencia de metales pesados, se detecta concentraciones tanto en las zonas Bajas, Medias y Altas a nivel de todo el distrito de Kimbiri.

En la tabla 3.2, para el cacao, indica que la concentración promedio del plomo es de 12,13 ppm; con una concentración mínima de 0,00 ppm y una concentración máxima de 30,90 ppm. Donde el 68.89% de las muestras superaron el límite máximo permisible de la Unión Europea de 2,0 ppm. Esto debido a que los agricultores aplican pesticidas (fungicidas, insecticidas, herbicida y foliares), sin la asesoría de un técnico agropecuario o ingeniero agrónomo, haciendo que utilicen gran cantidad de fertilizantes para su mayor producción, estos fertilizantes contienen cantidades variables de plomo, para los cultivos de coca.

3.3. DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS POR CLONES

Tabla 3.3. Resultados de los análisis de metales pesados en almendras considerando clones de cacao

CLON	HUMEDAD (%)	Cu	Pb	Cd	Ha (Kg/Año)
COMUN (Hibrido)					
Promedio	5.60	20.33	10.12	1.84	680.95
Obs. min.	4.64	11.00	0.00	0.00	250.00
Obs. max.	6.56	31.00	30.90	6.90	2000.00
Desv. Est.	0.56	5.49	8.55	1.73	407.27
C.V.	10.01%	27.00%	84.51%	94.02%	59.81%
n	21				
CCN-51					
Promedio	5.74	20.57	9.50	1.62	982.57
Obs. min.	4.12	14.00	0.00	0.00	250.00
Obs. max.	8.88	31.00	24.10	4.10	2500.00
Desv. Est.	0.72	4.19	8.39	1.26	629.68
C.V.	12.60%	20.37%	88.39%	77.87%	64.09%
n	63				
VRAE-15					
Promedio	5.65	25.50	4.48	1.15	775.00
Obs. min.	5.12	21.00	0.00	0.00	500.00
Obs. max.	6.16	31.00	9.10	2.10	1000.00
Desv. Est.	0.51	4.12	5.17	1.06	206.16
C.V.	8.98%	16.17%	115.50%	92.16%	26.60%
n	4				

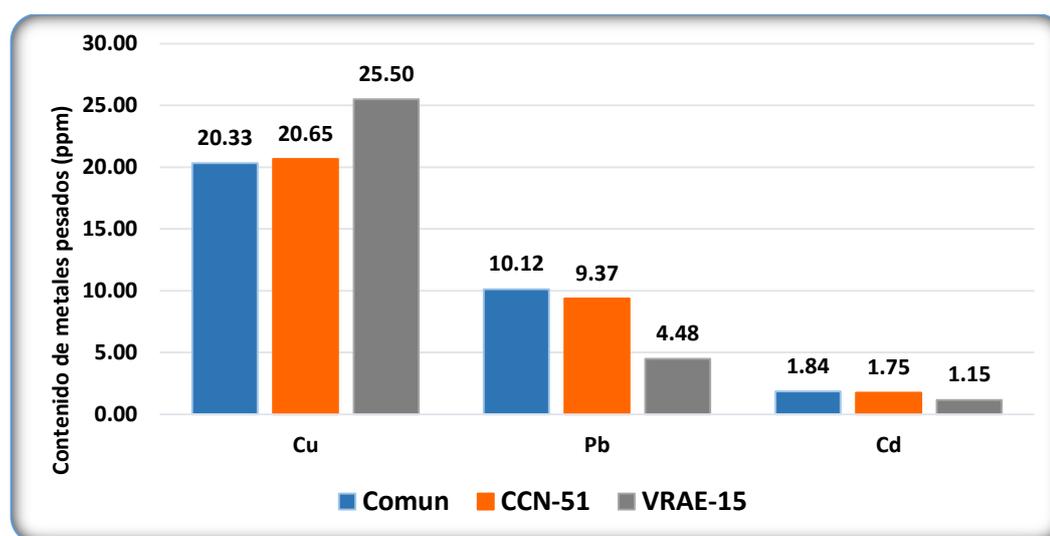


Figura 3.2. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en almendras de cacao según clones varietales. VRAEM, Kimbiri, 739 msnm

La figura 3.2 muestra los elementos pesados en influencia de característica varietal, en esta se observa en el cobre (Cu) un mayor contenido en comparación con los demás elementos, también se nota un ligero valor (25.5 ppm) en el cultivar VRAE-15, pero estando dentro de los límites máximos permitidos. El contenido de plomo en el cultivar Común es mayor con un valor de 10.12 ppm, se puede reportar también que en la variedad de cacao VRAE-15 promedio bajo de este elemento que llega a un 4.48 ppm promedio. En el caso del cadmio existe un mayor contenido de cadmio en las almendras de cacao en la variedad CCN-51 llegando a un valor promedio de 1.75 ppm.

Se ha determinado también en cuanto a los clones de cacao que tanto CCN-51, VRAE-15 y/o Común (Híbrido), la asimilación de los metales pesados en los granos de cacao, influye ligeramente viéndose el clon VRAE-15 el valor promedio de 1.15 ppm con respecto a los otros clones que se encontraron la presencia de estos metales pesados mucho mayor que el clon local VRAE-15.

3.4. DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS POR EDADES DE LAS PLANTAS DE CACAO

Tabla 3.4. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao por edad de plantas de cacao

EDAD DE LA PLANTA	HUMEDAD (%)	Cu	Pb	Cd	Ha (Kg/Año)
PLANTA JOVEN (3 a 10 años)					
Promedio	5.76	20.86	9.36	1.76	844.28
Obser min	4.12	8.00	0.00	0.00	250.00
Obser max	9.04	37.00	28.90	4.80	2500.00
Desv esta	0.80	4.95	8.06	1.43	435.66
C.V.	13.87%	23.73%	86.12%	81.15%	51.60%
n	71.00				
PLANTA SEMI-MADURA (11 a 20 años)					
Promedio	5.67	19.31	8.88	1.87	765.38
Obser min	4.64	11.00	0.00	0.00	250.00
Obser max	6.56	28.00	25.20	6.90	2000.00
Desv esta	64.73%	567.72%	806.96%	194.48%	57278.00%
C.V.	0.11	0.29	0.91	1.04	0.75
n	13				
PLANTA MADURA (21 a más años)					
Promedio	5.68	22.17	13.13	0.85	583.33
Obser min	5.12	12.00	0.00	0.00	400.00
Obser max	6.04	31.00	30.90	2.40	1000.00
Desv Esta	0.38	6.68	11.05	1.00	222.86
C.V.	6.71%	30.12%	84.13%	117.82%	38.20%
n	6				

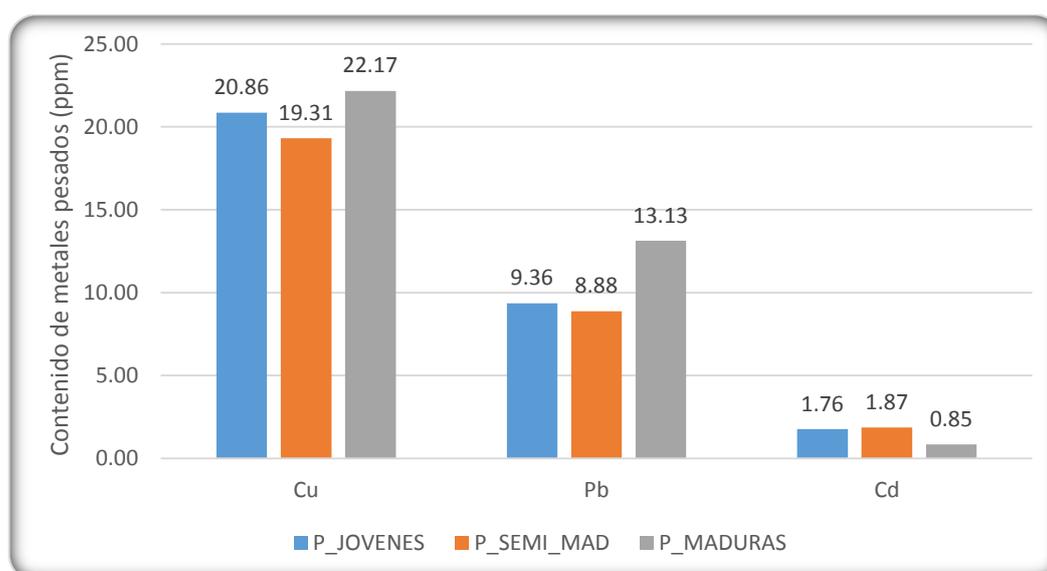


Figura 3.3. Contenido promedio (ppm) de metales pesados en las almendras de cacao según la edad. VRAEM, Kimbiri 739 msnm

En la figura 3.4 se observa el mayor contenido de cobre (Cu) y plomo (Pb) de las almendras de cacao en las plantas maduras de 21 años a mas, con valores de 22.17 a 13.13 ppm respectivamente. En el caso del cadmio (Cd) las plantas maduras tienen un menor contenido de cadmio en sus almendras de cacao.

Se ha determinado, que la edad de la planta influye mucho en cuanto a la asimilación de estos metales pesados en cuanto a plantas jóvenes de 3 hasta 10 años absorben más las concentraciones de estos Metales Pesados, en comparación de las plantas de mayor edad por lo que las plantas jóvenes están más activas en cuanto a su desarrollo fisiológico y mayor producción desde temprana edad.

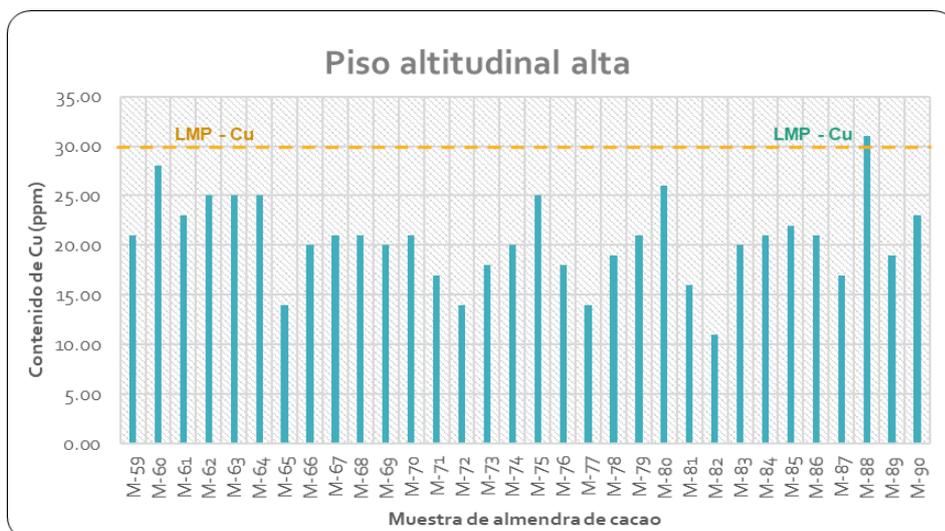
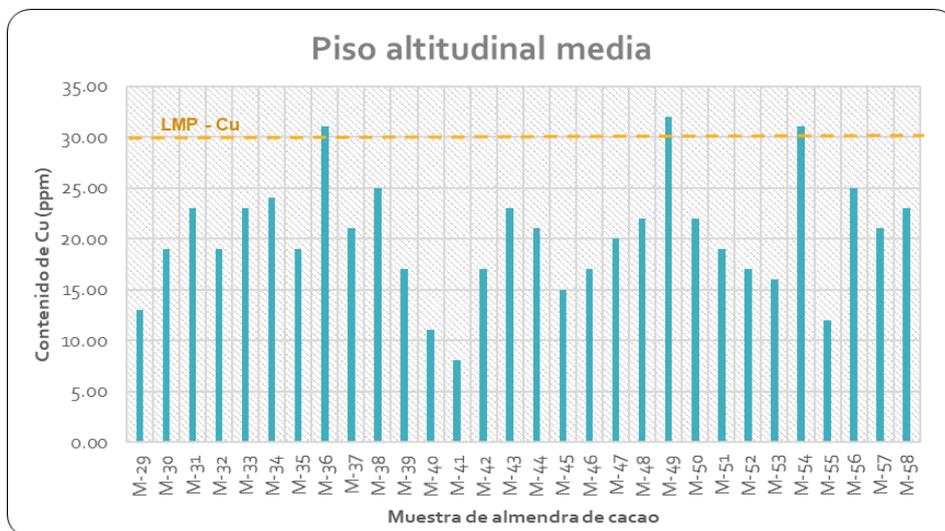
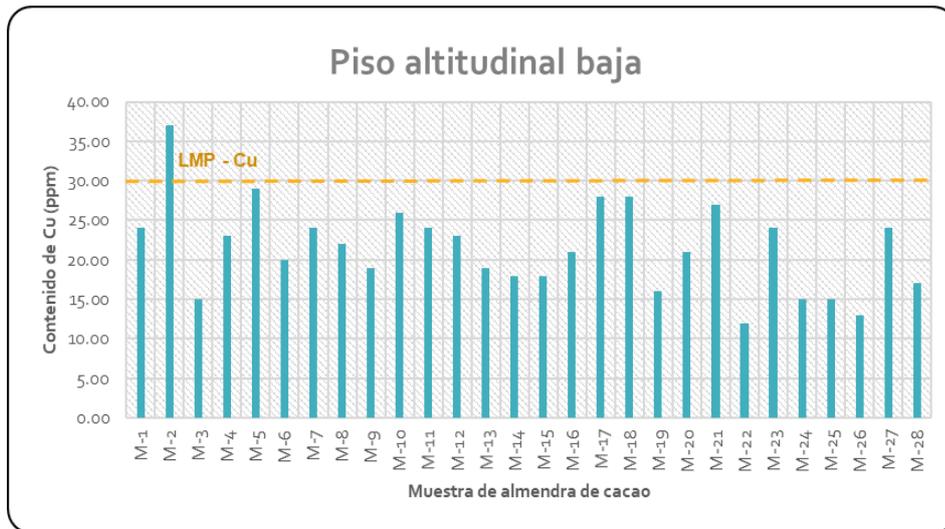


Figura 3.4. Concentración de Cobre (Cu) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.

Según García y Dorronsoro, 2011, se establece el valor **30.0 ppm cobre total** en almendras de cacao como referente.

De acuerdo con la Figura 3.4 se puede observar que las muestras M-2, M-36, M-49, M-54 y M-88 de las parcelas muestreadas presentan valores de Cobre total (ppm) superiores a la referencia citada. Esto puede ser debido a las altas concentraciones de aspersiones con productos cúpricos, tanto en fungicidas e insecticidas, lo cual influenciaría en las concentraciones de cobre total en almendras.

De las 90 muestras de almendras de cacao distribuidas a nivel del distrito de Kimbiri, el 94.44% están dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) del plomo en almendras de cacao y el 5.569 % rebasan los LMP del cobre total.

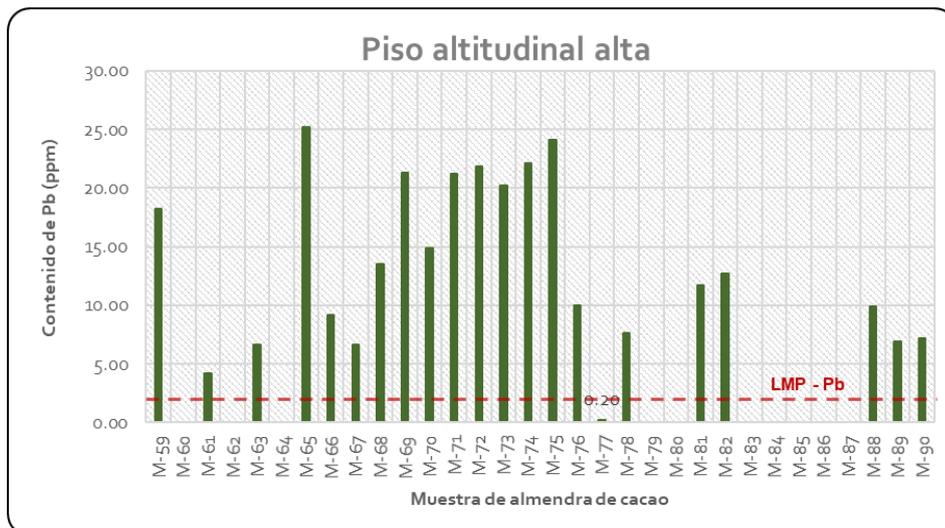
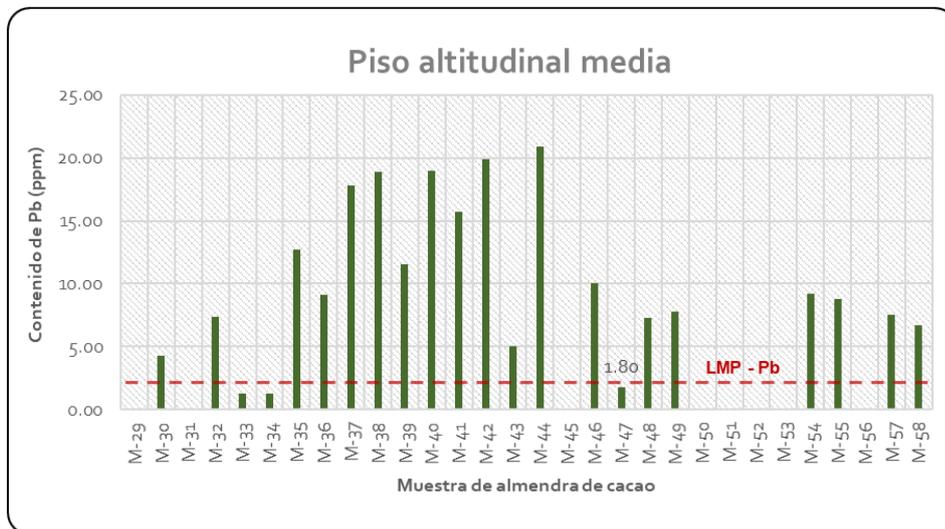
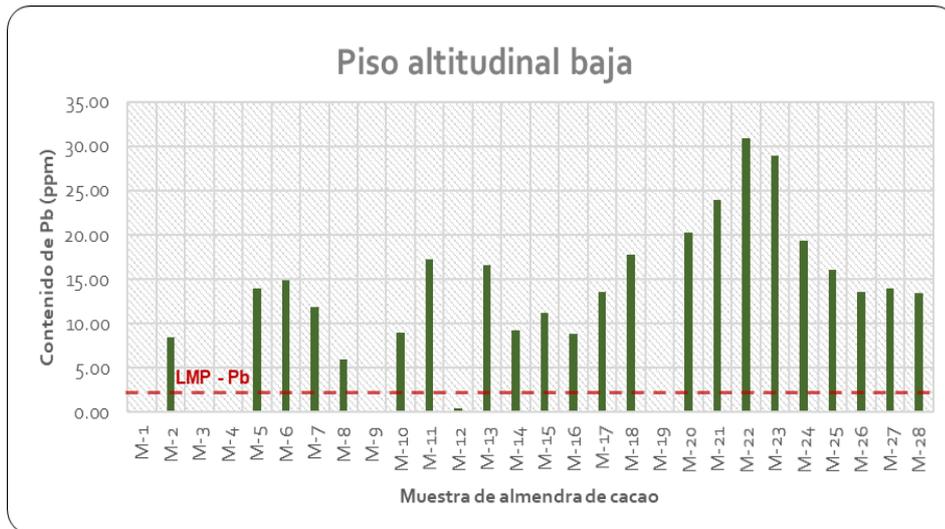


Figura 3.5. Concentración de Plomo (Pb) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.

Según García y Dorronsoro (2011), se establece el valor **2.0 ppm plomo total** en almendras de cacao como referente.

De acuerdo con la Figura 3.5 se puede observar que la mayoría de las parcelas muestreadas presentan valores de Plomo total (ppm) superiores a la referencia citada. Esto puede ser debido a las altas concentraciones de Plomo total en el suelo, lo cual influenciaría en las concentraciones de plomo total en almendras.

De las 90 muestras de almendras de cacao distribuidas a nivel del distrito de Kimbiri, el 31.11 % están dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) del plomo en almendras de cacao y el 68.89% rebasan los LMP del cadmio total.

El mayor valor en almendra se registra en cacao sembrado en la M-22, M-23 y M-65 con 30,90 28,90 y 25,20 ppm de Pb respectivamente, perteneciente a la zona baja (piso altitudinal baja), se encuentran muy por encima de lo permisible actualmente por los países europeos que es 2.0 ppm, es probable que en estas parcelas tengan algún tipo de contaminación inducidas por el hombre (antropogénica) como la aplicación de pesticidas (fungicidas e insecticida), quema de basuras urbanas, de combustibles fósiles, entre estos el carbón, contaminación por derivados del petróleo o aplicación de abonos orgánicos, etc, tal como lo manifiesta.

Además, se observa que del total de la cantidad de muestras (90) el 24.44 % (22 muestras) están libre del metal contaminante plomo.

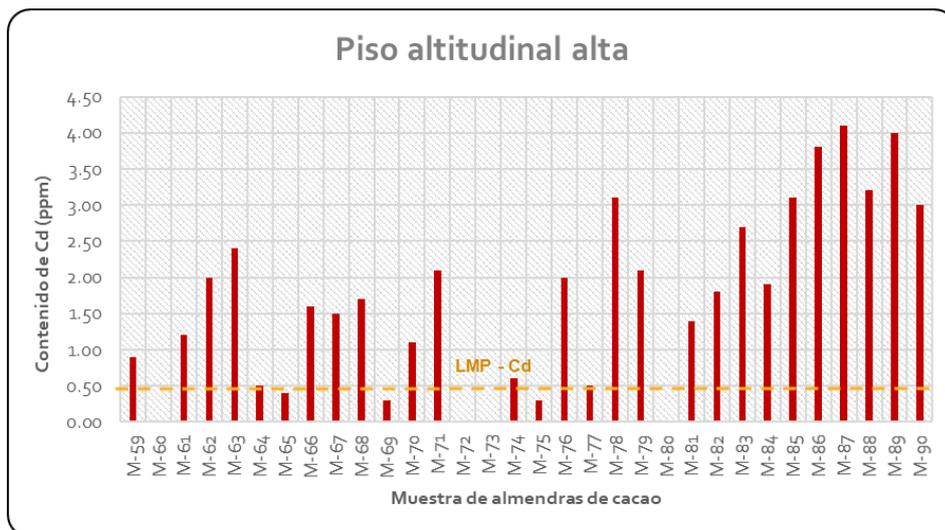
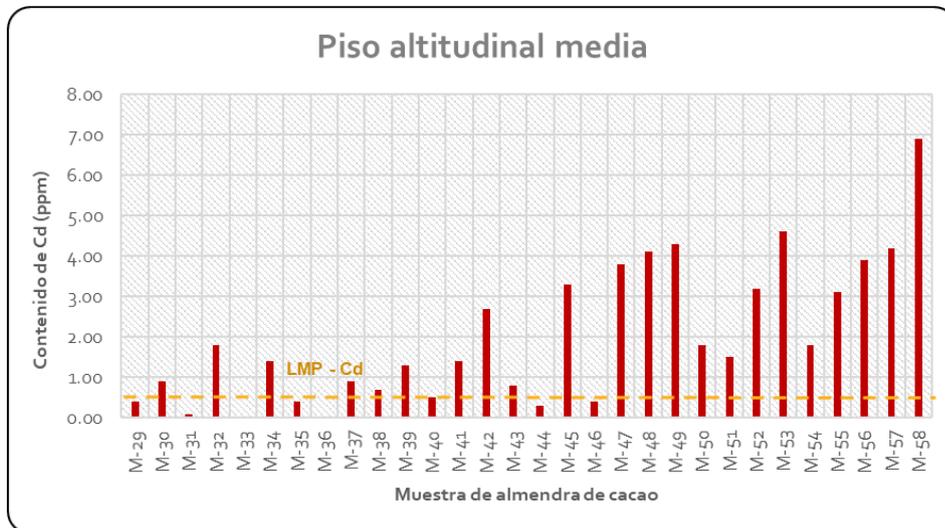


Figura 3.6. Concentración de Cadmio (Cd) en almendras de cacao VRAEM, Kimbiri 739 msnm.

Según García y Dorronsoro, (2011) se establece el valor **0.5 ppm cadmio total** en almendras de cacao como referente.

De acuerdo con la Figura 3.6 se puede observar que en su totalidad las parcelas muestreadas presentan valores de Cadmio total (ppm) superiores a la referencia citada. Esto puede ser debido a las altas concentraciones de cadmio total en hojas, lo cual influenciaría en las concentraciones de cadmio total en almendras.

De las 90 muestras de las almendras de cacao distribuidas a nivel del distrito de Kimbiri, el 27.78% están dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) del cadmio en almendras de cacao y el 72.22% rebasan los LMP del cadmio total, haciendo conocer que puede traer consecuencias económicas con la comercialización del grano de cacao, debido al nuevo reglamento (UE) N° 488/2014 de la Comisión Europea (12/05/2014), que modificó el Reglamento (CE) 1881/2006 respecto al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios derivados del cacao en grano. Además, se observa que del total de la cantidad de muestras (90) el 8.89% (8 muestras) están libre del metal contaminante cadmio. (**Ver anexo 3**)

Además, según COOPAIN el contenido de cadmio en almendras en el distrito de Rupa Rupa distrito de Leoncio Prado – Huánuco, presenta una variación de 0.37 a 3.67 mg/Kg, lo que sugiere la alta variabilidad de este elemento. También Cárdenas (2014), se encontró en promedio 1.55 ppm, con un mínimo de 0.85 ppm y máximo de 4.01 ppm en almendras de cacao.

Tantalean & Huauya (2017) reportan contenidos de cadmio en almendras en suelo residual de 0.84 ppm, y en el suelo aluvial de 1.08 ppm. Asimismo, Bello (2020) cita a Lanza et al. (2016) quien reportó concentraciones de Cd^{2+} ubicadas en un rango entre 0.95 y 2.09 ppm. Igualmente, Acosta y Pozo (2013), encontró cadmio en almendra de cacao de 0.35 ppm, valor inferior a nuestros resultados.

El cadmio en el fruto de cacao se distribuye de manera desigual IPNI (2015) y los resultados obtenidos coinciden, pues, el cadmio se encuentra distribuido en forma desigual en las almendras del cacao. Las altas concentraciones de cadmio total en almendras, pueden ser debidas a las altas concentraciones de cadmio disponible en el

suelo, cadmio total en raíz, tallos, hojas, y a su movilidad en el cultivo. De acuerdo a Barrueta (2013), la planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados y los concentran en las semillas grasosas.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, podemos arribar a las siguientes conclusiones:

1. No se encontró aluminio (Al) en las almendras de cacao, tanto en pisos altitudinales, edad de planta y clones de cacao.
2. El contenido promedio de cobre, plomo y cadmio en almendras de cacao según pisos altitudinales son los siguientes:

	<u>Altitud Baja</u>	<u>Altitud Media</u>	<u>Altitud Alta</u>
Cobre (ppm)	21.50	20.20	20.53
Plomo (ppm)	12.13	7.72	9.53
Cadmio (ppm)	1.45	2.02	1.67

3. El contenido promedio de plomo, cobre y cadmio en almendras de cacao según la edad de la planta son los siguientes:

	<u>Plantas jóvenes</u>	<u>Plantas semi-maduras</u>	<u>Plantas maduras</u>
Cobre (ppm)	20.86	19.31	22.17
Plomo (ppm)	9.36	8.88	13.13
Cadmio (ppm)	1.76	1.87	0.85

4. El contenido promedio de cobre, plomo, cadmio en almendras de cacao según clon son los siguientes:

	<u>Común</u>	<u>CCN-51</u>	<u>VRAE-15</u>
Cobre (ppm)	20.33	20.57	25.52
Plomo (ppm)	10.12	9.50	4.48
Cadmio (ppm)	1.84	1.62	1.15

5. El contenido cadmio en almendras de cacao supera significativamente el Límite Máximo Permisible (OMS y la UE: 0,50 ppm) en los clones comunes (híbridos), CCN-51 y VRAE-15 con promedios de 1.84, 1.62 y 1.15 ppm respectivamente; también supera los LMP del contenido de cadmio por edad de la planta, joven con 1.76 ppm, semi-madura 1.87 ppm y 0.85 ppm. Mientras en el contenido de plomo también supera significativamente el Límite Máximo Permisible (OMS y la UE: 2,0 ppm) en los clones común (hibrido), CCN-51, VRAE-15 con promedios 10.12, 9.50 y 4.48 ppm respectivamente como también rebasa los LMP en edad de las plantas.

RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones obtenidos en el presente trabajo de investigación permiten plantear las siguientes recomendaciones:

1. Implementar estrategias de disminución o control del cadmio y el plomo, pues, más del 50% de almendras de cacao cosechadas en diferentes lugares, edades, variedades y zonas, tienen altos contenidos de estos metales pesados tóxicos, trayendo consecuencias económicas negativas para el productor cacaotero.
2. Sugerir a las entidades responsables de la protección del medio ambiente, Agricultura y del Consumidor (OEFA, A.N.A., SENASA, INDECOPI, Ministerios relacionados, Gerencia de RRNN y Medio Ambiente de los Gobiernos Regionales y locales), establecer políticas y estrategias adecuadas para el control y uso de insumos causantes de la contaminación por metales pesados.
3. Tomar mayor número de muestras para obtener resultados más confiables de la presencia de metales pesados tóxicos en los clones VRAE-15 y VRAE-99.
4. Proseguir con el estudio de concentración de Cd y Pb en suelos agrícolas y partes de la planta de cacao como: raíz, tallo, hoja y baba para ver la correlación de los metales pesados en toda la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Marcos. (2007). Determinación de Metales Pesados en Suelos Agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. Tesis de título de Licenciado en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- Acosta, S y P. Pozo. (2013). Determinación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo - Esmeraldas, mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Disponible en:
https://www.academia.edu/36849119/DETERMINACION_DE_CADMIO_EN_LA_ALMENDRA_DE_CACAO_Theobroma_cacao_DE_CINCO_FINCAS_UBICADAS_EN_LA_VIA_SANTO_DOMINGO_-_ESMERALDAS_MEDIANTE_ESPECTROFOTOMETRIA_DE_ABSORCION_ATOMICA_CON_HORNO_DE_GRAFITO
- Adriano, D. (2001). Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlang, New York.
- Alcaraz, R. (1973). Relación de algunos factores climáticos con la producción de cacao en la zona atlántica de Costa Rica. IICA. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Barrueta, S. (2013). Guía de métodos de detección y análisis de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.). DEVIDA. Lima, Perú.
- Batista, Lepido. (2009). Guía Técnica El Cultivo de Cacao Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. Editorial Nazario Rizek, C. Dominicana.
- Benito, S. J. (1991). Tecnificación del cacao en la amazonia peruana. Fundación para el desarrollo de la amazonia peruana (FUNDEAGRO). Lima - Perú.
- Borrero, Cesar A. (2009). Fertilización del Cultivo de Cacao en sitio definitivo. San José del Guaviare - Colombia. Disponible en:
http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/FERTILIZACION_DEL_CULTIVO_DE_CACAO_EN_SITIO_DEFINITIVO.pdf
- Cárdenas, Álvaro A. (2012). Presencia de Cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo - Tingo María -Perú. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Huánuco - Perú.

- Eskes, B; & C. Lanaud. (2001). Cocoa. In: Tropical Plant Breeding. Charrier et. al., (eds) CIRAD, France.
- García, C. (2000). Grupos y variedades de cacao. Cultivo del cacao en la amazonia peruana. (Arca, M, ed.) INIA, Lima - Perú.
- García, I; Dorronsoro, C. (2011). Contaminación de los suelos. Tema 15: Contaminación por metales pesados.
- IICA, (2006). Protocolo Estandarizado de Oferta Tecnológica para el Cultivo de Cacao en el Perú. Lima - Perú.
- Jorge, A. (2018). Efecto de entomopatógenos y un insecticida químico en el control del “Mazorquero del cacao” (*Carmenta foraseminis* Busck (Eichlin)) en el Caserío De Pumahuasi. Tesis Ing. Agrónomo. UNAS. Tingo María, Perú.
- Lachenaud, P. (1997). Genetic/Taxonomic structuring of the *Theobroma cacao* L. species – Fresh hypothesis. INGENIC Newsletter.
- Marrugo, José. (2011). “Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga la Soledad y bahía de Cispata, Cuenca del bajo Sinu, departamento de Córdoba. España.
- MINAGRI. (2016). Estudio del cacao en el Peru y en el mundo. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú.
- Nosti, N. J. (1953). Cacao, Café y Té. Salvat Editors. Barcelona - España
- Oblitas, J. (2015). Producción orgánica de cacao (*Theobroma cacao*) en el Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM). Trabajo monográfico para optar el título de Ing. Agrónomo. UNALM. Lima, Perú.
- Orren, (1996). Estudio detallado de suelos de la zona de colonización del rio Apurímac. Lima – Perú.
- Paredes, M. (2003). Manual del cultivo del cacao. Ministerio de Agricultura-PROAMAZONIA. Lima, Perú.
- Soria, V. J. (1970). Principal varieties of cacao cultivated in tropical America. Cocoa Growers. Bulletin, N° 15, pp: 12-21.
- Tantalean, E. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao ccn-51 en suelo aluvial y residual. Tasis Ing. Agrónomo. UNAS. Tingo María, Perú.
- Toxopeus, H. (1985). Botany, types and populations. Chap. 2 In: Cocoa. 4 th. Ed. (Wood & Lass, eds.) Longman Tropical Agriculture Series. U. K.

BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL

1. Aguilar, J. (2018). Determinación del nivel de contaminación por metales pesados nefrotóxicos en muestras de suelo, a través del análisis de sus concentraciones y distribución geográfica, en comunidades agrícolas del cantón Guayapa Abajo en la zona costera del país. Disponible en:
https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/674/2674406.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20211004%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211004T163258Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=fe904e0df711003a555e00cf4bb1ef14be66bdc31547bd157511ed5926dec937
2. ANACAFE. (2004). Cultivo del cacao. Disponible en:
<http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/7/Cultivo%20de%20Cacao.pdf>
3. Arbelaez, L. (2010). Analisis de la diversidad intraespecie de *Moniophthora roreri* (Cif.) Evans et al. por medio de marcadores morfológicos y genéticos. Disponible en: https://www.academia.edu/25553212/Moniliasis_ADN
4. Barrio, N. (s/f). Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud. Disponible en: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/NOELIA%20BARRIO%20VEGA.pdf>
5. Biblioteca-digital.sag.gob.cl (s/f). Metales pesados en el suelo. Disponible en: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf.
6. Asociación Naturland. (2000). Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Disponible en: <https://www.naturland.de/images/SP/Productores/cacao.pdf>
7. Comisión Europea. (2014). Reglamento (UE) No 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>

8. Docplayer.es (s/f). Efectos de la contaminación por insecticidas químicos en el suelo. Disponible en: <https://docplayer.es/69400686-Efectos-de-la-contaminacion-por-insecticidas-quimicos-en-el-suelo.html>
9. Edafologia.net (s/f). Evolución en el suelo de los plaguicidas. Disponible en: <http://www.edafologia.net/conta/tema13/evol.htm#anchor446510>
10. Finley, J., & Moore, M. (2014). Beneficios para la salud del chocolate. Louisiana, Estados Unidos: Reunión Nacional y Exposición de la Sociedad Americana de Química. Recuperado el Enero de 2019. Disponible en: <https://academicminute.org/2014/07/john-finleylsu-cocoa-power/>
11. Garcia, I. y Dorronsoro, C. (2002). Contaminación por metales pesados. Disponible en: <http://logia,ugrz.es/conta/tema15>.
12. Gonzales, F. (2008). Ecofisiología del cacao. Disponible en: <http://diplomado2007unas.blogspot.com/2008/01/ecofisiologia-del-cacao.html>.
Revisado: 06/07/2012.
13. Gordillo, R. (2005). Cacao (*Theobroma cacao* L.). Disponible en: https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/08_28/patmpm1598553778.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20211004%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211004T035702Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=4056c66184c9319df62bf1ee3fc0f34d3927b9e86f4a0a775a3c69d7de3397d0
14. Lares, L. (2020). La cadena agroproductiva de cacao y el estado de emergencia por el covid – 19 en el Perú. Disponible en: <https://blog.iica.int/blog/cadena-agro-productiva-cacao-estado-emergencia-por-covid-19-en-peru>.
15. Marrugo, J. (2011). Evaluación por la contaminación por metales pesados en la ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, Cuenca del Bajo Sinú. Departamento de Córdoba. Disponible en: <https://docplayer.es/12366607-Evaluacion-de-la-contaminacion-por-metales-pesados-en-la-cienaga-la-soledad-y-bahia-de-cispatata-cuenca-del-bajo-sinu-departamento-de-cordoba.html>
16. Marrero, M. (2009). Evaluación de la floración de tres clones trinitarios de cacao a nivel de cojín floral, bajo las condiciones climáticas del distrito de Cacatachi –San

- Martín. Disponible en: <https://docplayer.es/96457071-Esta-obra-esta-bajo-una-licencia-creative-commons-atribucion-nocomercial-compartirigual-2-5-peru-vea-una-copia-de-esta-licencia-en.html>
17. Martínez, D. (2015). Bases Conceptuales Del Mecanismo De Interacción Plantapatógeno (Patosistema Cacao-Monilia). Disponible en: https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/08_13/izxofh1597289949.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20211004%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211004T150710Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=79f43daf75d15ed5b75a02875f9871e2f808db817962249d5bc5076545ad5ee7
 18. MINAGRI. (2019). Commodities Cacao. Lima, Perú: Dirección General de Políticas Agrarias. Recuperado el Febrero de 2019. Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/eeconomia/e71/commodities_cacao_ene19.pdf
 19. MINAGRI – IICA. (2018). Perú. Foro “Factores Asociados a la Bioacumulación de Cadmio en Cacao y sus Estrategias de Mitigación”. Ministerio de Agricultura y Riego e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima, Perú – 22 y 23 de noviembre 2018. Disponible en: <https://www.inia.gob.pe/2018-nota-192/>
 20. Ministerio del Ambiente Perú. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
 21. M & O Consulting S.A.C. (2008). Empresa Consultora. Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. “Proyecto De Cooperación UE-Perú En Materia De Asistencia Técnica Relativa Al Comercio - Apoyo Al Programa Estratégico Nacional Exportaciones (PENX 2003-2013)”. Perú. Disponible en: http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/estudio_caracterizacion.pdf
 22. Montes, M. (2016). Efectos del fosforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51, en la zona de

- Babahoyo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de Babahoyo. Los Rios Ecuador. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
23. Panduro, N. (2015). Dinámica de la absorción de los nutrientes y metales pesados en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), en un entisols de Yarinacocha. Disponible en: https://www.academia.edu/36607575/DIN%C3%81MICA_DE_LA_ABSORCI%C3%93N_DE_LOS_NUTRIENTES_Y_METALES_PESADOS_EN_LA_BIOMASA_ESTACIONAL_DEL_CULTIVO_DE_CAMU_CAMU_Myrciaria_dubia_HBK_EN_UN_ENTISOLS_DE_YARINACOCHA
24. Proyecto Pichis Palcazu. (2009) “Manual Agroforestería con Énfasis en Cacao y Café”. Lima: Editorial Gráfica Miller EIRL. Lima – Perú. Disponible en: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/09/manuales_agroforestal_en_cafe_cacao.pdf
25. Resolución Ministerial. Ministerio de Agricultura y Riego. Perú. (2018). R.M. N° 0451-2018-MINAGRI. Aprueba “Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas granos y productos derivados de cacao”. Publicada en el Portal Institucional del Ministerio de Agricultura y Riego. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>
26. Santander, W. y O. Mendieta. (2019). Cuantificación de los límites máximos permisibles de cadmio en suelos, frutos (cáscara, almendra fresca), granos fermentados, licor de cacao, chocolate, para garantizar una exportación de calidad en zonas productoras de las provincias de Huallaga y Bellavista en la Región San Martín. Informe de Investigación. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3596/INF.%20INVEST.%20-%20Wilson%20Ernesto%20Santander%20Ru%C3%ADz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
27. UNODC (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito). (2010). Problemática ambiental y la utilización de agroquímicos en la producción de coca. Disponible en:

- https://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/Informes-Analiticos/Informe_Analitico_Agroquimicos.pdf
28. UNODC Y DEVIDA. (2017). Perú Monitoreo de cultivos de Coca 2017. Disponible en:
https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Peru/Peru_Monitoreo_de_Cultivos_de_Coca_2017_web.pdf
29. MINAGRI, (2011). Dirección General de Competitividad Agraria. Resumen Ejecutivo Del Cacao. 2011. Un campo fértil para sus inversiones y el desarrollo de sus exportaciones. Perú. Disponible en:
<https://repositorio.minagri.gob.pe/bitstream/MINAGRI/375/1/cadena%20de%20CACAO.pdf>
30. Venturo, G. (2017). Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca. Disponible en:
https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/08_01/dfq8711596266943.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20211004%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211004T032736Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=c67156d77f737feeeead4f3853dc40ec7f254dd678ed7bc6c63cc15eed7703a0
31. Villanueva, F. y A. Botello. (1992). Metales pesados en la zona costera del golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. Disponible en:
<https://www.revistascca.unam.mx/rca/index.php/rca/article/view/29312>

ANEXOS

ANEXO 1. Puntos de muestreo para la recolección de las almendras de cacao.

C. P. CERCADO KIMBIRI

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALTIT.	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-1	QUISPE MONTES, Delfina	UBIATO	631240	8610346	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-2	SULCA QUISPE, Macías	UBIATO	631354	8610493	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-3	MARTINEZ REMON, Esteban	PALMAPATA	630317	8608333	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-4	RAMOS SANHEZ, Sósimo	PALMAPATA	630337	8607430	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-5	MARTINEZ REMON, Gregorio	SAMPANTUARI BAJA	629950	8608393	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-6	HUAMAN SANTA CRUZ, Benjamín	SAMPANTUARI BAJA	631139	8608393	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-7	PALOMINO POZO, Alberto	SAMPANTUARI BAJA	630730	8608332	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-8	POZO ANDIA, Gregoria	SAMPANTUARI BAJA	630904	8608106	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-9	HUAMAN SANTA CRUZ, Teodoro	SAMPANTUARI BAJA	631281	8608251	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-10	ORE ONOFRE, Melquiades	SAMPANTUARI BAJA	631370	8608091	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-11	SANCHEZ PEREZ, Máximo	09 DE DICIEMBRE	635344	8602439	BAJA	SEMI-M	COMUN
S-12	YARANGA CAYETANO, Belisario	IRAPITARI BAJA	633108	8602850	BAJA	SEMI-M	COMUN
S-13	CONDEMAYTA LAZARO, Julio	UBIATO	632149	8611282	MEDIA	SEMI-M	COMUN
S-14	FIGUEROA RICRA, Simeón	SYBAYLLOHUATO	634503	8603898	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-15	YUCRA MARTINA, Marcelina	SYBAYLLOHUATO	634308	8603352	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-16	ESPINO LEON, Máximo	IRAPITARI ALTA	632701	8603922	MEDIA	JOVEN	COMUN
S-17	MIGUEL PEREZ, Leoncio	IRAPITARI ALTA	633066	8603737	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-18	CASANI HUARANCA, Julio	UBIATO	631417	8610334	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-19	GAMBOA GUILLEN, Alejandro	UBIATO	632225	8611594	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-20	HUARACA MENDIVEL, Nemesio	KIMBIRI ALTO	635376	8606976	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-21	BEDRILLANA NAVARRO, Pascual	SYBAYLLOHUATO	633742	8604511	ALTA	JOVEN	VRAE-15
S-22	YUCRA NAHUI, Esteban	IRAPITARI ALTA	634033	8603426	ALTA	MADUR	COMUN
S-23	VEGA PACHECO, Víctor	SAMPANTUARI ALTA	634512	8606894	ALTA	JOVEN	VRAE-15

C. P. SAMANIATO

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALT.	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-24	PEREZ BENDEZU, Sabino	SAMANIATO	639846	8600035	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-25	SULCA HUAMAN, Justina	SAMANIATO	639835	8600026	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-26	MENDOZA HUILCA, Justo	SAMANIATO	639904	8600485	BAJA	MADUR	COMUN
S-27	C_E SAMANIATO	SAMANIATO	639820	8600260	BAJA	JOVEN	VRAE-15
S-28	CHAVEZ AVENDANO, David	LOS ANGELES	642366	8597378	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-29	CARRASCO TINEO, Vidal	LOS ANGELES	641667	8598016	BAJA	SEMI-M	COMUN
S-30	CALLE FIGUEROA, Rómulo	SAMANIATO	640766	8600641	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-31	MENDOZA MINAYA, Eusebio	SAMANIATO	639270	8602509	MEDIA	JOVEN	VRAE-15
S-32	SALCEDO PEREZ, Celso	LOS ANGELES	643133	8597270	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-33	LAYNES CHILINGANO, Antonio	LOS ANGELES	649534	8587007	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-34	ROMANI HUAMAN, Yolanda	SAMANIATO	639025	8602972	MEDIA	JOVEN	CCN_51
S-35	CERDA ARAUJO, Leoncio	CAMONIATO	633147	8610149	ALTA	SEMI-M	COMUN
S-36	SACHA MARQUEZ, Francisco	BUENA VISTA	636503	8603438	ALTA	JOVEN	COMUN
S-37	QUISPE ANAYA, Marisol	BUENA VISTA	635949	8602920	ALTA	JOVEN	CCN-51

C. P. PROGRESO

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALTIT.	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-38	MELGAR FERNANDEZ, Juan Carlos	MAPITUNARI	643988	8595995	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-39	OCHOA TORRES, Marciano	PROGRESO	644518	8595272	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-40	FLORES PARIONA, Francisco	MAPITUNARI	643657	8595919	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-41	SANTIAGO CONDE ANDRES	LAS MALVINAS	643747	8595815	BAJA	MADURO	COMUN
S-42	HUAMAN CANALES MAURO	LAS MALVINAS	644525	8595521	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-43	SANTIAGO CHAPUTINCO, Felix	LAS MALVINAS	644180	8595658	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-44	ROJAS ZARATE EDGAR	PROGRESO	645465	8593714	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-45	BENDEZU GOMEZ GUILLERMO	PROGRESO	644790	8596879	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-46	GUILLEN NAVARRO DIONISIO	PORVENIR	644253	8596706	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-47	FERNANDEZ LOZANO SOSIMO	PORVENIR	643890	8596845	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-48	PEREZ QUISPE ORGELIA	NUEVA ESPERANZA	649255	8588952	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-49	PAQUIYURI SANCHEZ GILBERTO	MAQUETE ALTA	645143	8599367	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-50	CORDOVA POTOSINO PORFIRIO	PAMPA HERMOSA	646813	8593315	ALTA	JOVEN	CCN-51

C. P. TAHUANTINSUYO LOBO

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALTITUDINAL	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-51	YUCRA CASTILLA WILLIAN	MANITEA BAJA	646383	8591877	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-52	RIVERA MUÑOZ ALBERTO	MANITEA BAJA	646277	8591547	BAJA	JOVEN	VRAE-99
S-53	CARRERA HUALLPA VICTOR	LOBO TAHUANTINSUYO	649525	8585820	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-54	PÉREZ CERVAN CASIO W.	MANITEA BAJA	646882	8591307	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-55	GONZALES LEANDRO JUAN	LOBO TAHUANTINSUYO	649176	8586445	MEDIA	SEMI-M	CCN-51
S-56	PÉREZ RODRÍGUEZ DELFIN	MANITEA BAJA	646220	8591716	MEDIA	MADUR	COMUN
S-57	ICHACCAYA RIBERO F.	MANITEA BAJA	646706	8591659	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-58	GUTIÉRREZ PÉREZ M.	LOBO TAHUANTINSUYO	649522	8587153	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-59	HUALLPA MIGUEL JULIAN	SIRENACHAYOCC	648804	8589731	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-60	CCASANI LAPA SIL VESTRE	SIRENACHAYOCC	648900	8590258	ALTA	JOVEN	VRAE-99
S-61	HUALLPA FLORES FIDEL	UNION VISTA ALEGRE	649255	8588952	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-62	CHAVEZ RUIZ JUAN PABLO	LOBO TAHUANTINSUYO	652245	8585873	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-63	GALVEZ MEJIA TERESA	LOBO TAHUANTINSUYO	651236	8584760	ALTA	SEMI-M	CCN-51

C. P. CHIRUMPIARI

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALTITUDINAL	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-64	SULCA CANDIA FELIX	PALESTINA ALTA	657364	8576257	BAJA	SEMI-M	COMUN
S-65	CORAS SOLIER ZENAIDA	PALESTINA ALTA	653292	8579873	BAJA	JOVEN	CCN-51
S-66	FIGUEROA CURO MANUEL	CHIRUMPIARI	652022	8583669	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-67	VASQUEZ PALOMINO ELIAS	CHIRUMPIARI	651966	8583447	MEDIA	SEMI-M	COMUN
S-68	LOAYZA BADAJOS VICTOR	PALESTINA ALTA	653441	8579670	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-69	TAPAHUASCO CAJAMARCA SAMUEL	PALESTINA ALTA	653922	8579528	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-70	RAMIREZ HUAMAN MAXIMO	CHIRUMPIARI	652971	8584519	ALTA	PRECOZ	CCN-51

C. P. VILLA KINTIARINA

COD.	APELLIDOS Y NOMBRES	COMUNIDAD	COORDENADAS		PISO ALTITUD.	CATEG. EDAD	CLON
			X(BL)	Y(UTM)			
S-71	MAURI CHONTA MAXIMO	MANITINKIARI	655483	8578022	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-72	PAREDES CALLAÑAUPA ISAAC	MARAVILLAS	657366	8578264	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-73	GOMEZ ANYOZA JUAN	IMPERIAL MANKURIARI	658728	8574941	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-74	PATINO CANDIA FELICITAS	VILLA KINTIARINA	660685	8572823	MEDIA	MADUR	COMUN
S-75	RONDINEL CASTILLO FELIX	VILLA KINTIARINA	660084	8570742.5	MEDIA	SEMI-M	COMUN
S-76	BERROCAL RONDINEL M.	LIMATAMBO	662340	8566917	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-77	HUAMAN QUISPE VICTOR	LIMA TAMBO	661029	8569817	MEDIA	JOVEN	CCN-51
S-78	PALOMINO GUILLEN DONATO	LIMA TAMBO	662077	8567577	MEDIA	SEMI-M	COMUN
S-79	MAURI LOPEZ TITO	MANITINKIARI	656470	8578904	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-80	CORAS BORDA TORIBIO	BETHEL	656000	8577435	ALTA	MADUR	COMUN
S-81	OREJON VILLANUEVA DAVID	PUEBLO LIBRE	659260	8575939	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-82	LEON HUAMAN MISAEL	PUEBLO LIBRE	658416	8576143	ALTA	SEMI-M	COMUN
S-83	OCHOA OREJON ELISEO	IMPERIAL MANKURIARI	659292	8574794	ALTA	SEMI-M	COMUN
S-84	AÑANCA PALMA AGUSTIN	VILLA KINTIARINA	660805	8572560	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-85	PEREZ MIQUEL NICANOR	VILLA KINTIARINA	661519	8571209	ALTA	JOVEN	COMUN
S-86	GALVAN ROJAS TEOBALDO	KINTIARINA ALTA	660212	8569557	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-87	NAVARRO CCOICA JESUS	LIMATAMBO	663163	8568583	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-88	SOLIER DE LA CRUZ EDWIN	LIMATAMBO	663131	8566671	ALTA	JOVEN	CCN-51
S-89	VILA CALLE RAYMUNDO	LIMATAMBO	662667	8567436	ALTA	JOVEN	COMUN
S-90	RIVERA PEÑAFIEL ROEL	SAN JUAN DE FRONTERA	661200	8562755	ALTA	JOVEN	CCN-51

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. Resultados de análisis de metales pesados en almendras de cacao en el distrito de Kimbiri-Cusco.

COD.	HUMEDAD (%)	Cu	Pb	Cd	Al	Rto (Kg.)
		(ug.g-1)				
M-1	6.16	24.00	0.00	3.50	ND *	300
M-2	4.80	37.00	8.50	4.50	ND	600
M-3	5.28	15.00	0.00	0.20	ND	310
M-4	7.08	23.00	0.00	1.20	ND	1200
M-5	5.12	29.00	14.00	0.60	ND	800
M-6	5.20	20.00	14.90	2.80	ND	1500
M-7	5.80	24.00	11.80	3.20	ND	600
M-8	7.60	22.00	5.90	1.80	ND	1500
M-9	5.24	19.00	0.00	4.80	ND	1000
M-10	5.80	26.00	9.00	0.90	ND	800
M-11	6.00	24.00	17.30	1.20	ND	800
M-12	5.52	23.00	0.50	0.00	ND	500
M-13	4.12	19.00	16.60	0.40	ND	1000
M-14	5.28	18.00	9.20	0.20	ND	400
M-15	6.04	18.00	11.20	0.10	ND	600
M-16	6.16	21.00	8.80	2.10	ND	1000
M-17	5.84	28.00	13.60	0.70	ND	400
M-18	6.24	28.00	17.70	0.60	ND	400
M-19	5.68	16.00	0.00	4.50	ND	350
M-20	5.96	21.00	20.30	1.10	ND	800
M-21	5.80	27.00	23.90	1.10	ND	700
M-22	5.84	12.00	30.90	0.50	ND	1000
M-23	5.96	24.00	28.90	0.70	ND	700
M-24	5.60	15.00	19.40	0.20	ND	500
M-25	5.96	15.00	16.10	0.20	ND	1200
M-26	5.72	13.00	13.60	0.00	ND	1000
M-27	5.08	24.00	14.00	1.80	ND	2000
M-28	6.56	17.00	13.40	1.80	ND	800
M-29	4.72	13.00	0.00	0.40	ND	600
M-30	5.96	19.00	4.30	0.90	ND	1200
M-31	5.88	23.00	0.00	0.10	ND	600
M-32	5.44	19.00	7.40	1.80	ND	1500
M-33	5.28	23.00	1.30	0.00	ND	400
M-34	5.20	24.00	1.30	1.40	ND	500
M-35	5.68	19.00	12.70	0.40	ND	1000
M-36	5.12	31.00	9.10	0.00	ND	800
M-37	5.56	21.00	17.80	0.90	ND	300
M-38	5.44	25.00	18.90	0.70	ND	800
M-39	6.16	17.00	11.50	1.30	ND	1500
M-40	5.76	11.00	19.00	0.50	ND	800
M-41	5.88	8.00	15.70	1.40	ND	800
M-42	5.72	17.00	19.90	2.70	ND	1000

M-43	5.84	23.00	5.00	0.80	ND	2000
M-44	5.28	21.00	20.90	0.30	ND	500
M-45	5.32	15.00	0.00	3.30	ND	600
M-46	6.04	17.00	10.00	0.40	ND	500
M-47	6.48	20.00	1.80	3.80	ND	600
M-48	6.12	22.00	7.30	4.10	ND	500
M-49	6.36	32.00	7.80	4.30	ND	800
M-50	6.20	22.00	0.00	1.80	ND	800
M-51	7.24	19.00	0.00	1.50	ND	1500
M-52	5.32	17.00	0.00	3.20	ND	400
M-53	5.20	16.00	0.00	4.60	ND	1200
M-54	5.12	31.00	9.20	1.80	ND	400
M-55	6.32	12.00	8.80	3.10	ND	600
M-56	5.30	25.00	0.00	3.90	ND	800
M-57	5.00	21.00	7.50	4.20	ND	900
M-58	4.92	23.00	6.70	6.90	ND	500
M-59	5.20	21.00	18.20	0.90	ND	400
M-60	5.84	28.00	0.00	0.00	ND	600
M-61	5.80	23.00	4.20	1.20	ND	700
M-62	5.32	25.00	0.00	2.00	ND	800
M-63	5.92	25.00	6.60	2.40	ND	600
M-64	6.00	25.00	0.00	0.50	ND	500
M-65	5.56	14.00	25.20	0.40	ND	250
M-66	5.96	20.00	9.20	1.60	ND	700
M-67	5.60	21.00	6.60	1.50	ND	400
M-68	5.56	21.00	13.50	1.70	ND	250
M-69	5.60	20.00	21.30	0.30	ND	500
M-70	6.16	21.00	14.90	1.10	ND	600
M-71	5.76	17.00	21.20	2.10	ND	700
M-72	5.68	14.00	21.80	0.00	ND	800
M-73	6.44	18.00	20.20	0.00	ND	1800
M-74	5.56	20.00	22.10	0.60	ND	1500
M-75	5.76	25.00	24.10	0.30	ND	1800
M-76	5.44	18.00	10.00	2.00	ND	1000
M-77	6.16	14.00	0.20	0.50	ND	800
M-78	11.48	19.00	7.60	3.10	ND	800
M-79	4.96	21.00	0.00	2.10	ND	300
M-80	5.88	26.00	0.00	0.00	ND	400
M-81	4.36	16.00	11.70	1.40	ND	700
M-82	4.64	11.00	12.70	1.80	ND	700
M-83	6.56	20.00	0.00	2.70	ND	300
M-84	5.24	21.00	0.00	1.90	ND	400
M-85	4.80	22.00	0.00	3.10	ND	550
M-86	5.04	21.00	0.00	3.80	ND	2500
M-87	6.16	17.00	0.00	4.10	ND	1184
M-88	4.84	31.00	9.90	3.20	ND	1000
M-89	5.60	19.00	6.90	4.00	ND	900
M-90	5.36	23.00	7.20	3.00	ND	1800

ANEXO 3. Límites máximos admisibles en polvo de cacao.

Institución reguladora	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)
OMS (Organización Mundial de la Salud)	0.18 - 1.20	0.1	-
AESI (American Environmental Safety Institute)	0.002 - 0.105	0.002 - 0.132	-
México	1.0	-	30
DG SANCO-Europa (Dirección de Salud y Protección al consumidor)	-	0.3	-

Fuente: CAPAR *et al.*, 2007

ANEXO 4. Niveles topes de Cadmio en chocolate y otros derivados de cacao, regulados por la Unión Europea.

Productos alimenticios		Contenidos máximos (mg/kg peso fresco)
3.2	Cadmio	
3.2.7.	Productos específicos de cacao y chocolate enumerados a continuación:	
-	Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0,10
-	Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30 %	0,30
-	Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50 %	0,80
-	Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0,60

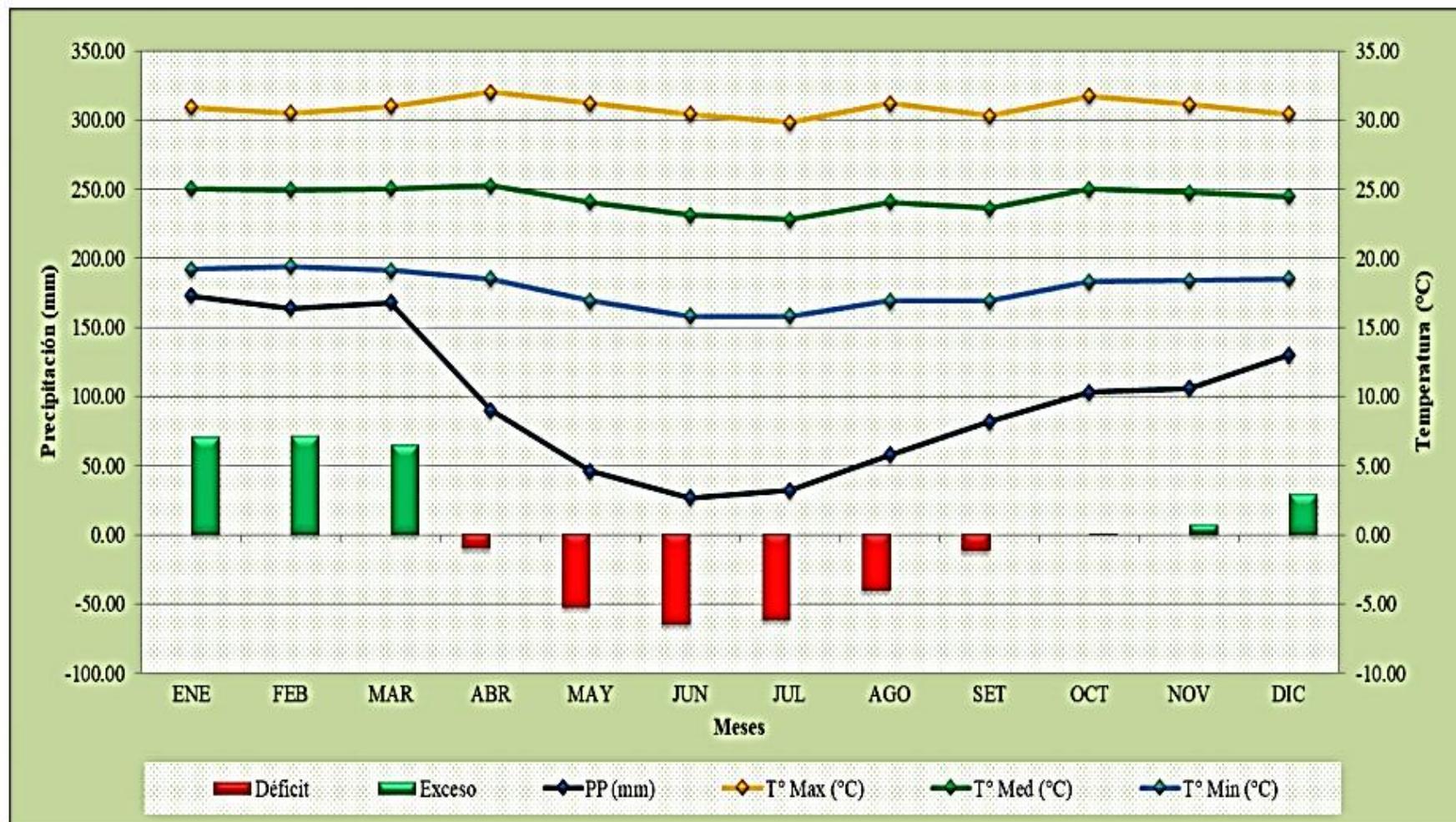
ANEXO 5. Resultados de análisis de metales pesados por comunidades.

METALES PESADOS POR COMUNIDADES EN (ppm) DE PESO HUMEDO					
Comunidad	N° muestras	RANGO DE CONCENTRACIÓN			
		Cu	Pb	Cd	Al
9 de diciembre	1	24	17.3	1.2	ND*
Bethel	1	26	0	0	ND
Buena vista	2	20 -21	6.6 - 9.2	1.5 - 1.6	ND
Camoniato	1	14	25.2	0.4	ND
Chirumpiari	2	20.0 - 22	1.8 - 7.3	3.8 - 4.1	ND
Imperial Mankuriari	2	16.0 - 20	0	2.7 - 4.6	ND
Irapitari	4	19 - 25	0.5 - 7.4	0 - 2.4	ND
Kimbiri alta	1	23	4.2	1.2	ND
Kintiarina alta	1	21	0	3.8	ND
Las Malvinas	3	12.0 - 24	11.5 - 30.9	0.5 - 1.3	ND
Limatambo	7	17 - 31	0.0 - 9.9	3.1 - 6.9	ND
Lobo Tahuantinsuyo	5	13 -23	0.2 - 13.6	0.0 -2.0	ND
Los Ángeles	4	21 - 28	13.6 - 18.9	0.6 - 0.9	ND
Manitea baja	5	15.0 - 21	0.0 - 20.9	0.2 - 3.3	ND
Manitinkiari	2	19-21.0	0.0 - 13.5	1.5 - 1.7	ND
Mapitunari	2	16 -27	0.0 - 23.9	1.1 - 4.5	ND
Maquete Alta	1	17	21.2	2.1	ND
Maravillas	1	17	0	3.2	ND
Nueva Esperanza	1	21	14.9	1.1	ND
Palestina alta	5	17 - 32	0.0 - 14.00	1.8 - 4.3	ND
Palmapata	2	15 - 23	0	0.2 - 1.2	ND
Pampa hermosa	1	14	21.8	0	ND
Porvenir	2	19.0 - 20	7.6 - 21.3	0.3 - 3.1	ND
Progreso	3	8.0 - 21.0	15.7 - 20.3	0.5 - 1.4	ND
Pueblo libre	2	11.0 - 16	11.7 - 12.7	1.4 -1.8	ND
Samaniato	7	18 - 31	8.8 -18.2	0.0 - 2.1	ND
Sampantuari	7	19 - 29	0.0 - 14.9	0.5 - 4.8	ND
San Juan de la Frontera	1	23	7.2	3	ND
Sirenachayocc	2	18.0 - 20	20.2 - 22.1	0.0 - 0.6	ND
Sibayllohuato	3	19 -25	0.0 - 4.3	0.0 - 2.0	ND
Ubiato	5	13 - 37	0.0 - 8.5	0.0 - 4.5	ND
Unión vista alegre	1	25	24.1	0.3	ND
Villa Kintiarina	3	12.0 - 31	0.0 - 9.2	1.8 - 3.1	ND
TOTAL	90				
ND* No detectado					

ANEXO 6. Temperatura media, máxima, mínima, precipitación y balance hídrico del año 2018, de la Estación Meteorológica de Kimbiri, La Convención, Cusco.

DESCRIPCIÓN	BALANCE HÍDRICO CON DATOS 2018 ESTACION METEOROLÓGICA DE KIMBIRI													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROM
T° Máxima (°C)	30.9	30.5	31	32	31.2	30.4	29.8	31.2	30.3	31.7	31.1	30.4		30.9
T° Mínima (°C)	19.2	19.4	19.1	18.5	16.9	15.8	15.8	16.9	16.9	18.3	18.4	18.5		17.8
T° Media (°C)	25.1	25	25.1	25.3	24.1	23.1	22.8	24.1	23.6	25	24.8	24.5		24.3
Factor	5	4.5	5	4.8	5	4.8	5	5	4.8	5	4.8	5		
ETo(mm)	124.2	111.8	124.2	121.2	119.3	110.9	113.1	119.3	113.3	124	118.8	121.3	1421.4	118.4
Precipitación (mm)	173	164	168	90	46	27	32	58	82	103	106	130	1179	
ETo Ajust. (mm)	103.06	92.72	103.06	100.53	98.95	91.97	93.8	98.95	93.96	102.86	98.54	100.59		
H del suelo (mm)	69.94	71.28	64.94	-10.53	-52.95	-64.97	-61.8	-40.95	-11.96	0.14	7.46	29.41		
Déficit (mm)				-10.53	-52.95	-64.97	-61.8	-40.95	-11.96					
Exceso (mm)	69.94	71.28	64.94							0.14	7.46	29.41		

ANEXO 7. Diagrama ombrotérmico



ANEXO 8. Panel fotográfico de la evaluación.



Foto 1. Selección adecuada de las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) – En campo



Foto 2. Colecta de las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon MP-15 (VRAE-15).



Foto 3. Colecta de las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon MP-99 (VRAE-99).



Foto 4. Colecta de las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51



Foto 5. Colecta de las mazorcas de cacao común (*Theobroma cacao* L.)



Foto 6. Quiebre de las mazorcas de cacao
CACAO COMUN (HIBRIDO)



CLON CCN-51



Foto 7. Selección representativa de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.)



Foto 8. Identificación y etiquetado de las muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.)



Foto 9. Envasado de las muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en bolsas de papel.



Foto 10. Empacado de las muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.)



Foto 10. Empacado de las muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cajón de tecnoport.



Foto 11. Muestras en proceso de oreado y secado preliminar



Foto 12. Proceso de molienda de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.)



Foto 13. Proceso de inicio de digestión ácida por vía húmeda



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

“Determinación del contenido de metales pesados tóxicos en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el distrito de Kimbiri a 739 msnm – Cusco”

Autor : Miguel Flores Paniagua

Asesor : Juan Benjamín Giron Molina

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 18 % de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 23 de octubre de 2021

Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATED
Presidente de comisión

Determinación del contenido
de metales pesados tóxicos en
almendras de cacao
(Theobroma cacao L.) en el
Distrito de Kimbiri a 739 msnm
– Cusco

por Miguel Flores Paniagua

Fecha de entrega: 23-oct-2021 08:05p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1682100206

Nombre del archivo: TESIS_CORREGIDO_MIGUEL_FLORES__23102021.docx (9.99M)

Total de palabras: 21578

Total de caracteres: 114994

Determinación del contenido de metales pesados tóxicos en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Distrito de Kimbiri a 739 msnm – Cusco

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repository.uaeh.edu.mx Fuente de Internet	1%
4	www.infocafes.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
6	biblioteca-digital.sag.gob.cl Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	1library.co Fuente de Internet	1%

9	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	www.munikimbiri.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
12	www.unodc.org Fuente de Internet	<1 %
13	www.revistaespirales.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.minagri.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	revistas.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	www.hipernova.cl Fuente de Internet	

<1 %

21

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

22

Submitted to Universidad Wiener

Trabajo del estudiante

<1 %

23

www.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

Submitted to Universidad Carlos III de Madrid

Trabajo del estudiante

<1 %

25

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

www.fontagro.org

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.unica.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

31

revistas.uclave.org

Fuente de Internet

<1 %

32	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
33	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
34	redcacaoychocolateperu.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unia.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo