

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**



**“BIOACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL SUELO Y GRANO DEL  
*Coffea arabica* L. (Café) ORGÁNICO DE HUÁNUCO, PASCO Y PUNO”**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:**

**JOSELIN MIRIAM, OLIVERA LEDESMA**

**Tingo María – Perú.**

**Año**

**2025**



*"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"*

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 006-2025**

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 21 de julio del 2025, a horas 10:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bach. **JOSELIN MIRIAM OLIVERA LEDESMA**, titulada:

### **"BIOACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL SUELO Y GRANO DEL *Coffea arabica* L. (Café) ORGÁNICO DE HUÁNUCO, PASCO Y PUNO"**

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **A.P.R.O.B.A.D.A.**..... con el calificativo de **.....BUENO.....**; en consecuencia, la sustentante, queda **APTA** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 21 de julio del 2025

M.Sc. Pedro Alejandro Vejarano Jara  
Presidente

M.Sc. Lauriano Antonio Zavaleta De la Cruz  
Miembro

Dra. Magda Verónica Bazán Linares  
Miembro

M.Sc. Nancy Nery Contreras Gutiérrez  
Asesora

Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal  
Asesor

M.Sc. Luis Fernando García Carrión  
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 064 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

### Programa de Estudio:

Ingeniería en Industrias Alimentarias

### Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
BIOACUMULACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN EL SUELO Y GRANO DEL <i>Coffea arabica</i> L. (Café) ORGÁNICO DE HUÁNUCO, PASCO Y PUNO	JOSELIN MIRIAM, OLIVERA LEDESMA	18 % Dieciocho	Menor a 20 %

Tingo María, 26 de febrero de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

C.C. Archivo

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS:**

Por brindarme salud, sabiduría y la oportunidad de mejorar profesionalmente, aprender y disfrutar cada momento de mi vida.

### **A MIS PADRES:**

A Catalina y Rafael por su amor, porque son lo más preciado que tengo en mi vida, que me motivan y apoyan a dar saltos de gigante para cumplir mis metas.

### **A MI FAMILIA:**

A mis hermanos Juan Carlos, Rafael, y Sandi por brindarme su cariño, apoyo incondicional y motivación para continuar con mis metas.

### **A MIS AMISTADES:**

A mis amigas (os), compañeros (as), colegas y personas que formaron parte de esta etapa de mi vida, por su amistad, apoyo y compañía durante todo el tiempo.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

- A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias por mi formación académica en estos años para seguir adelante con mi carrera profesional.
- Al Dr. Williams Vicente Roldan Carbajal, Ing. M.Sc. Nancy Nery Contreras Gutiérrez e Ing. M.Sc. Luis Fernando García Carrión, asesores de tesis por su valiosa contribución durante la ejecución, redacción y revisión de tesis.
- A los miembros del jurado: Ing. Pedro Alejandro Vejarano Jara, Ing. Lauriano Antonio Zavaleta de la Cruz y la Dra. Magda Verónica Bazán Linares, presidente y miembros respectivamente por el apoyo en la revisión, sugerencias y aporte en la realización de mi presente trabajo de investigación.
- Al Ing. M.Sc. Gilmer Milton Neira Trujillo, por sus conocimientos y consejos durante el proceso y orientación con los análisis de investigación.
- Al M. Sc. José Luis Gil Bacilio, por su apoyo, conocimiento y recomendación para mejorar mi trabajo final de tesis.
- A mi familia por su apoyo y motivación durante el proceso de mi formación profesional.
- A mis amistades y colegas que formaron parte de esta etapa de mi vida, por su apoyo y consejos para continuar con mis metas propuestas.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	3
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	4
2.2. Generalidades del café.....	4
2.2.1. Origen del café.....	4
2.2.2. Clasificación taxonómica del café.....	5
2.2.3. Principales especies del café.....	5
2.2.4. Variedades locales del café.....	6
2.3. Composición química del café.....	7
2.4. Contaminación del café con cadmio y plomo.....	8
2.5. Condiciones edafoclimáticos del café - pisos altitudinales.....	8
2.6. Absorción de cadmio y plomo en café.....	9
2.6.1. Comportamiento en suelos.....	9
2.6.2. Comportamiento en plantas.....	9
2.7. Riesgos a la salud por contaminación con metales pesados.....	9
2.8. Regulación internacional sobre los límites máximos permisibles de metales.....	11
pesados.....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Lugar de ejecución.....	14
3.2. Material de análisis.....	14
3.3. Equipos, materiales y reactivos.....	14
3.3.1. Equipos de laboratorio.....	14
3.3.2. Materiales.....	15
3.3.3. Reactivos y solventes.....	16
3.4. Métodos de análisis.....	16
- Caracterización fisicoquímica en suelos del cultivo del café.....	16
- Caracterización fisicoquímica en granos pergaminos secos del café.....	16

- Determinación de la concentración de cadmio y plomo en suelos y granos pergaminos secos del café.....	16
3.5. Metodología experimental.....	16
3.5.1. Acondicionamiento de la muestra del suelo.....	16
3.5.2. Acondicionamiento de la muestra del café.....	18
3.5.3. Análisis fisicoquímico en suelos del café.....	18
- Determinación de textura.....	18
- Determinación de pH.....	18
- Determinación de conductividad eléctrica.....	19
- Determinación de materia orgánica.....	19
- Determinación de fósforo disponible.....	19
- Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	19
- Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva..... (CICe).....	20
3.5.4. Análisis fisicoquímico en granos pergaminos secos del café.....	24
- Determinación de humedad en granos.....	24
- Determinación de ceniza en granos.....	24
- Determinación de proteína en granos.....	24
- Determinación de materia seca en granos.....	25
- Determinación de materia orgánica en granos.....	25
3.5.5. Determinación de cadmio y plomo por Espectroscopia de Absorción.... Atómica en llama (F-AAS).....	25
- Digestión de las muestras de suelo.....	26
- Digestión de las muestras de granos.....	26
3.6. Diseño estadístico.....	27
3.7. Diseño experimental.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1. Análisis fisicoquímico de suelos y granos pergaminos secos del café.....	30
4.1.1. Análisis fisicoquímico de los suelos del café.....	30
4.1.2. Análisis fisicoquímico de los granos pergaminos secos del café.....	43
4.2. Cuantificación de la concentración de cadmio en suelos y granos..... pergaminos secos del café.....	48

4.2.1. Cuantificación de la concentración de cadmio en suelos del café.....	48
4.2.2. Cuantificación de la concentración de cadmio en granos pergaminos..... secos del café.....	51
4.3. Cuantificación de la concentración de plomo en suelos y granos..... pergaminos secos del café.....	53
4.3.1. Cuantificación de la concentración de plomo en suelos del café.....	54
4.3.2. Cuantificación de la concentración de plomo en granos pergaminos..... secos del café.....	57
4.4. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la concentración.. de cadmio y plomo en suelos y granos pergaminos secos del café.....	59
4.4.1. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la..... concentración de cadmio en suelos y granos pergaminos secos del..... café.....	59
4.4.2. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la..... concentración de plomo en suelos y granos pergaminos secos del café..	60
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	63
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	74
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Clasificación taxonómica del café.....	5
2. Composición (promedios) química del grano de café almendra, en base seca, según.. especie.....	7
3. Límites máximos permisibles de la concentración de metales pesados..... (Hg, As, Cd y Pb) en agua, suelo y alimentos de consumo humano por el CODEX..	11
4. Concentración de niveles máximos permisibles de metales pesados en productos..... nutricionales según la Unión Europea.....	12
5. Codificación y georeferenciación de las parcelas evaluadas.....	17
6. Análisis físico-químico del suelo experimental, Sector Magnolia, parte baja..... (Altitud 1198 msnm), Región Huánuco.....	21
7. Análisis físico-químico del suelo experimental, Sector Anexo el Oconal, parte..... media (Altitud 1480 msnm), Región Pasco.....	22
8. Análisis físico-químico del suelo experimental, Sector Quispicanchis, parte..... alta (Altitud 1610 msnm), Región Puno.....	23
9. Resultados promedios del análisis mecánico de la clase textural de los suelos de..... Huánuco, Pasco y Puno.....	24
10. Resultados promedios del análisis físico de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno....	31
11. Resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los..... suelos de Huánuco, Pasco y Puno.....	31
12. Resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).... de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno.....	32
13. Resultados promedios de la caracterización fisicoquímica de granos pergaminos..... secos del café de Huánuco, Pasco y Puno.....	32
14. Determinación de la curva estándar de cadmio.....	44
15. Resultados promedios del análisis de cadmio en los suelos.....	49
16. Resultados promedios del análisis de cadmio en los granos pergaminos secos.....	50
17. Determinación de la curva estándar de plomo.....	52
18. Resultados promedios del análisis de plomo en los suelos.....	54
19. Resultados promedios del análisis de plomo en los granos pergaminos secos.....	55

A1-1. ANVA del contenido de Arena en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.....	57
A1-2. Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Arena en las zonas de.. Huánuco, Pasco y Puno.....	75
A1-3. ANVA del contenido de Arcilla en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.....	75
A1-4. Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Arcilla en las zonas de.... Huánuco, Pasco y Puno.....	76
A1-5. ANVA del contenido de Limo en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	76
A1-6. Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Limo en las zonas de.... Huánuco, Pasco y Puno.....	76
A1-7. ANVA para el pH en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	76
A1-8. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el pH en las zonas de..... Huánuco, Pasco y Puno.....	77
A1-9. ANVA para la C.E en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	77
A1-10. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para la C.E en las zonas de Huánuco... de Pasco y Puno.....	77
A1-11. ANVA para M.O en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	77
A1-12. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para M.O en las zonas de Huánuco.... Pasco y Puno.....	78
A1-13. ANVA del contenido de Nitrógeno en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	78
A1-14. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Nitrógeno en las... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	78
A1-15. ANVA del contenido de Carbono en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	78
A1-16. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Carbono en las.... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	79
A1-17. ANVA del contenido de Fósforo disponible en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	79
A1-18. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Fósforo..... disponible en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	79
A1-19. ANVA del contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en las..... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	79
A1-20. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Capacidad..... de Intercambio Catiónico (CIC) en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	80

A1-21. ANVA del contenido de Calcio en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.....	80
A1-22. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Calcio en las..... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	80
A1-23. ANVA del contenido de Magnesio en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	80
A1-24. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Magnesio en las.... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	81
A1-25. ANVA del contenido de Potasio en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	81
A1-26. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Potasio en las.... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	81
A1-27. ANVA del contenido de Sodio en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	81
A1-28. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Sodio en las..... zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	82
A1-29. ANVA del contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva..... (CICe) en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	82
A1-30. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Capacidad de.... Intercambio Catiónico Efectiva (CICe) en las zonas de Huánuco, Pasco y..... Puno.....	82
A1-31. ANVA del contenido de Hidrógeno en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno...	82
A1-32. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Hidrógeno en las.. zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	83
A1-33. ANVA del contenido de Aluminio en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	83
A1-34. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Aluminio en las.. zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	83
A2-1. ANVA del contenido de Humedad en granos pergaminos en las zonas de..... Huánuco, Pasco y Puno.....	84
A2-2. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Humedad en..... granos pergaminos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	84
A2-3. ANVA del contenido de Ceniza en granos pergaminos en las zonas de..... Huánuco, Pasco y Puno.....	84
A2-4. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Ceniza en..... granos pergaminos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	84
A2-5. ANVA del contenido de Proteína en granos pergaminos en las zonas de.....	

Huánuco, Pasco y Puno.....	85
A2-6. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Proteína en.....	
granos pergaminos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	85
A2-7. ANVA del contenido de Materia Seca en granos pergaminos en las zonas de....	
de Huánuco, Pasco y Puno.....	85
A2-8. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Materia Seca en...	
granos pergaminos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno .....	85
A2-9. ANVA del contenido de Materia Orgánica en granos pergaminos en las zonas...	
de Huánuco, Pasco y Puno.....	86
A2-10. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Materia Orgánica...	
en granos pergaminos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	86
A3-1. ANVA del contenido de Cadmio en suelos en las zonas Huánuco, Pasco y.....	
Puno.....	87
A3-2. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Cadmio en.....	
suelos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	87
A3-3. ANVA del contenido de Cadmio en granos pergaminos secos de café en las.....	
zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	88
A3-4. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Cadmio en granos..	
pergaminos secos de café en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	88
A4-1. ANVA del contenido de Plomo en suelos en las zonas Huánuco, Pasco y.....	
Puno.....	89
A4-2. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Plomo en.....	
suelos en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	89
A4-3. ANVA del contenido de Plomo en granos pergaminos secos de café en las.....	
zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	89
A4-4. Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el contenido de Plomo en granos...	
pergaminos secos de café en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.....	90
A5-1. Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Huánuco para una....	
Distribución Normal.....	91
A5-2. Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Pasco para una.....	
Distribución Normal.....	91
A5-3. Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Puno para una.....	

Distribución Normal.....	92
A5-4. Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos en la zona de Huánuco.. para una Distribución Normal.....	92
A5-5. Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.....	93
A5-6. Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos en la zona de Puno..... para una Distribución Normal.....	93
A6-1. Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Huánuco para una..... Distribución Normal.....	94
A6-2. Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Pasco para una..... Distribución Normal.....	94
A6-3. Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Puno para una..... Distribución Normal.....	95
A6-4. Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos en la zona de Huánuco.. para una Distribución Normal.....	95
A6-5. Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.....	96
A6-6. Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos en la zona de Puno..... para una Distribución Normal.....	96
A7-1. Prueba con tabla de contingencia para Cadmio en suelos y granos pergaminos secos del café.....	97
A7-2. Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos en la zona de Puno..... para una Distribución Normal.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Fórmulas de cálculos utilizadas para el diseño completamente al azar (DCA).....	27
2. Diseño experimental de la investigación en la bioacumulación en suelos y granos... del café.....	29
3. Curva estándar para la cuantificación de cadmio.....	49
4. Curva estándar para cuantificación de plomo.....	54
5. Selección del terreno y georreferenciación de las 3 zonas del cultivo del cafeto.....	98
6. Muestreo aleatorio de suelos.....	98
7. Recolecta de cerezos frescos del café.....	99
8. Acondicionamiento de la muestra, molienda y tamizado de suelos.....	99
9. Acondicionamiento y molienda de la muestra de granos pergaminos de café.....	100
10. Caracterización físico - química en suelos del cafeto.....	100
11. Caracterización físico - química en granos pergaminos del café.....	101
12. Preparación de la digestión para la determinación de cadmio y plomo.....	101
13. Diferentes etapas de análisis, filtrado y enrrazamiento de cadmio y plomo.....	102
14. Lectura de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) de las muestras digestadas en el..... Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama (F-AAS).....	102
15. Análisis fisicoquímico y concentración de Cd y Pb en suelos del café en las 3..... zonas.....	103
16. Análisis fisicoquímico y concentración de Cd y Pb en granos pergaminos del café... en las 3 zonas.....	103

## RESUMEN

La investigación permitió determinar el nivel de cadmio y plomo expresados en mg/kg en suelos y en granos pergaminos secos de *Coffea arabica* L. (*Café*) orgánico, un cultivo muy importante para la economía de la Amazonía peruana, en el que se evaluaron las zonas de Huánuco, Sector Magnolia (1198 msnm), Pasco Sector Anexo el Oconal (1480 msnm) y Puno Sector Quispicanchis (1610 msnm), evaluándose la caracterización fisicoquímica del suelo y en el grano pergamino, así como los niveles de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) mediante la Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama (FAAS). Se empleó el diseño completamente al azar (DCA), análisis ANOVA y la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) con el software STATGRAPHICS Centurion XVII. En la zona de Puno tiene el mayor contenido de humedad ( $50,830 \pm 0,22$  %), en Pasco el mayor contenido de cenizas ( $3,5 \pm 2$  %) y en Huánuco el mayor contenido de proteína ( $22,812 \pm 0,041$  %), materia seca ( $53,666 \pm 0,222$  %), y materia orgánica ( $50,833 \pm 0,222$  %). En suelos del cultivo del cafeto, la zona de Pasco a 1480 msnm, se encontró mayor nivel de concentración de cadmio con ( $0,086$  mg/kg) y en plomo ( $21,966$  mg/kg), valores permitidos por las Normativas establecidas por la Unión Europea. En granos pergaminos secos del café el contenido de cadmio de las zonas Huánuco ( $0,184$  mg/kg), Pasco ( $0,694$  mg/kg) y Puno ( $0,484$  mg/kg) y en plomo las zonas Huánuco ( $0,349$  mg/kg), Pasco ( $1,328$  mg/kg) y Puno ( $1,510$  mg/kg) no se hallan dentro de los valores permitidos por el Codex Alimentarius. Según el análisis de contingencia, estadísticamente se demostró que no existe correlación significativa entre los pisos altitudinales y las zonas de producción en suelos y granos pergaminos secos con la concentración de cadmio y plomo.

**Palabras claves:** café, *coffea arabica*, cafeto, bioacumulación, bioconcentración, cadmio, plomo, contaminación.

## ABSTRACT

The research allowed for the level of cadmium and lead to be determined, expressed as mg/kg, in the soil and in the dry organic parchment *Coffea arabica* L. (coffee) beans, [which is] a very important crop in the economy of the Peruvian Amazon. Zones in Huánuco, the Magnolia sector (1198 masl), the Oconal annex of the Pasco sector (1480 masl) and Quispicanchis [in the] Puno sector (1610 masl) were evaluated [to find] the physicochemical characterization of the soil and the parchment beans, as well as the level of cadmium (Cd) and lead (Pb), using the flame atomic absorption spectroscopy (FAAS). The completely randomized design (CRD; DCA in Spanish), the ANOVA analysis and the Tukey test ( $P < 0.05$ ) with Centurion XVII STATGRAPHICS software were used. The Puno zone had the greatest humidity content ( $50.830 \pm 0.22$  %), in Pasco the greatest ash content [was found] ( $3.5 \pm 2$  %) and in Huánuco the greatest protein ( $22.812 \pm 0.041$  %), dry matter ( $53.666 \pm 0.222$  %) and organic matter ( $50.833 \pm 0.222$  %) contents [were found]. In the soil with coffee plants, for the Pasco zone at 1480 masl it was found that there were the greatest concentration of cadmium at 0.086 mg/kg and lead at 21.966 mg/kg, values that are permitted according to the standards established by the European Union. For the dry parchment coffee beans, the cadmium contents in the Huánuco (0.184 mg/kg), Pasco (0.694 mg/kg) and Puno (0.484 mg/kg) zones and the lead in the Huánuco (0.349 mg/kg), Pasco (1.328 mg/kg) and Puno (1.510 mg/kg) zones were not found to be within the values permitted according to the Codex Alimentarius. According the contingency analysis, it was statistically demonstrated that a significant correlation between the altitude floors and the production zones did not exist between the soil and the dry parchment beans, and the cadmium and lead.

**Keywords:** coffee, *coffea arabica*, coffee plant, bioaccumulation, bioconcentration, cadmium, lead, contamination

## I. INTRODUCCIÓN

El café es el primer producto peruano de exportación y tiene mucha importancia en el Perú, es el primer país exportador de café orgánico junto con Etiopía (MIDAGRI, 2022) a nivel mundial y de consumo masivo que representa ventajas comparativas y competitivas para un país, lo cual genera una gran demanda que hace contribuir en una mejor medida a la economía de los países productores, en la actualidad posee 425416 hectáreas dedicadas al cultivo de café y comprende alrededor de 70 especies, existiendo diferentes variedades comerciales que están incluidos en sólo dos especies comerciales: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. En nuestro país existen diversas zonas productoras de café tanto en el norte, centro y sur, con diferentes agroecosistemas y variedades de café. Los consumidores de Usa y la Unión Europea continúan demandando cafés especiales de mejor calidad y con baja calidad de metales pesados que aseguren la calidad. No obstante, el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) están presentes en la corteza terrestre como elementos del suelo y del agua, estos metales pesados son peligrosos porque se bioacumulan en diferentes organismos vivos (como el café, tubérculos, etc.), Asimismo muchos agricultores que cultivan esta planta es probablemente en suelos que contienen niveles medios y altos de metales pesados y desconocen de los riesgos de deterioro en la salud humana (Kumasi, 2015).

Los metales pesados se generan por la explotación de reservas de petróleo, extracción de oro y las aplicaciones de abonos químicos, pesticidas, fungicidas y plaguicidas en el cultivo del café, con efectos perjudiciales para la salud, cuando se absorben del suelo y se almacenan en las plantas, su uso pone en riesgo la salud pública y la seguridad alimentaria en el ámbito mundial. El organismo elimina parcialmente estos elementos, pero pueden acumularse en él y causar efectos tóxicos.

Respecto a la agricultura orgánica, se busca desarrollar cafetales más saludables estableciendo un clima apropiado y saludable para todas las plantas, las diversas altitudes desde 500 a 2600 msnm influyen significativamente en las condiciones microclimáticas lo que puede dificultar o mejorar el manejo del cultivo de café, es importante buscar herramientas para enfrentar plagas y enfermedades para que se sostenga el nivel de producción sin el uso de agroquímicos, Asimismo tener en cuenta las condiciones de cultivar en suelos fértiles, planes de manejo forestal (residuos y desechos) y estrategias para el control de malezas y el manejo y cuidado del agua.

Los niveles de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) necesitan de la serie de factores como las características físicas, químicas y biológicas.

El 01 de enero del 2019, El sistema normativo de La Unión Europea comunicó al Comité de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC) la modificación del Reglamento Europeo N° 488/2014, que establece los niveles máximos (NM) de cadmio (Cd) y plomo (Pb) para granos de café orgánico, considerando como contenidos máximos permisibles en cadmio (Cd) el intervalo de 0,05 mg/kg y en plomo (Pb) el intervalo de 0,10 mg/kg. Para el suelo cumplen con la normativa ambiental vigente estipulada por el Acuerdo Ministerial 097-A, considerando como contenidos máximos permisibles de cadmio (Cd) el rango de 3 mg/kg y en plomo (Pb) el rango de 70 mg/kg.

Para este estudio, se fundamentó en la suposición de cantidades de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en partículas en suelos del cafeto y granos pergamino secos que están dentro de los límites permitidos fijados por la Comisión del Codex Alimentarius y la Normativa de la Unión Europea, por lo que se fijaron los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Efectuar el análisis fisicoquímico de los suelos y granos pergamino secos del *Coffea arabica* L. (Café) orgánico, en 3 zonas productoras de café en los diferentes pisos altitudinales (Altitud 1: Plantaciones de 1198 msnm, Altitud 2: Plantaciones de 1480 msnm, Altitud 3: Plantaciones de 1610 msnm).

**Objetivos Específicos:**

- Cuantificar las concentraciones de cadmio (Cd) en suelos y en granos pergamino secos de *Coffea arabica* L. (Café) orgánico, en 3 pisos altitudinales y en 3 zonas productoras de café.
- Cuantificar las concentraciones de plomo (Pb) en suelos y en granos pergamino secos de *Coffea arabica* L. (Café) orgánico, en 3 pisos altitudinales y en 3 zonas productoras de café.
- Correlacionar los efectos de los pisos altitudinales de la parte baja, media y alta de las 3 zonas productoras cafetaleras en la bioacumulación de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) en suelos y granos pergamino secos del *Coffea arabica* L. (Café) orgánico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Condezo y Huaraca (2018), cuantificaron plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y café (*Coffea arabica* L.) en la región Cajamarca, distrito de Jaén a lo largo del período del mes de febrero y julio del año 2018, determinaron que los granos de cacao presentan un promedio de plomo de  $0,10\mu\text{g/g}$ ; con valores extremos de  $0,06\mu\text{g/g}$  y  $0,15\mu\text{g/g}$ , donde el 50% de las muestras excedieron el límite superior aceptable del Codex Alimentarius. El grano de cacao presenta un contenido promedio de arsénico de  $0,08\mu\text{g/g}$ ; con valores extremos de  $0,04\mu\text{g/g}$  y  $0,15\mu\text{g/g}$ , siendo que el 25% de los datos excedieron el límite máximo permisible por la norma Codex Alimentarius. El grano de cacao presenta el contenido medio de cadmio de  $0,07\mu\text{g/g}$ , con valores extremos de  $0,04\mu\text{g/g}$  y  $0,11\mu\text{g/g}$ . Donde el 75% de las muestras excedieron el límite máximo admisible por el Codex Alimentarius. El grano de café presenta un promedio en plomo de  $1,18\mu\text{g/g}$ ; con valores altos de  $0,59\mu\text{g/g}$  y  $2,16\mu\text{g/g}$ . Donde se halla el 25% de muestras que superaron el límite permisible del Mercado Común del Sur (MERCOSUR). El café presenta un contenido medio de arsénico de  $0,11\mu\text{g/g}$ ; con valores máximos de  $0,06\mu\text{g/g}$  y  $0,16\mu\text{g/g}$ . En el cual el 100% de las muestras no alcanzaron el límite máximo admisible establecido por el Mercado Común del Sur (MERCOSUR). El grano de café presenta un promedio de cadmio de  $0,11\mu\text{g/g}$ , con valores extremos de  $0,03\mu\text{g/g}$  y  $0,21\mu\text{g/g}$ , siendo que el 12% de las muestras excedieron el límite máximo permitido por (MERCOSUR).

Del Águila (2017), en su investigación determinó cadmio y plomo en granos de cacao frescos, secos y en licor de cacao (*Theobroma cacao* L.), estableciendo el contenido de cadmio y plomo en granos frescos, secos y en licor de cacao (*Theobroma cacao* L.), un cultivo fundamental para la economía de la Amazonía peruana. Se caracterizaron químicamente los granos y el licor de cacao, y se establecieron los niveles de plomo y cadmio mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama. El análisis estadístico se realizó utilizando el diseño completamente al azar (DCA), se realizó la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) y se empleó el software STATGRAPHICS Centurión XVII. En los granos frescos de Pucallpa se hallaron las mayores concentraciones de cadmio ( $0,08\text{ mg/Kg}$ ) y en los secos ( $0,11\text{ mg/Kg}$ ). Se halló el mayor nivel de plomo ( $9,02\text{ mg/kg}$ ) en los granos frescos de Pucallpa y en granos secos

de San Martín de Pangoa (7,62 mg/kg). En la Cooperativa Agraria Cafetalera Pangoa se halló la mayor concentración de plomo (7,45 mg/kg).

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Reyes y Gonzáles (2016), evaluaron la contaminación por metales tóxicos y metaloides en agua, suelo y aire, lo cual es considerado uno de los problemas más críticos que impactan la salud pública y seguridad alimentaria, tanto global como localmente. Este análisis se une a los problemas concretos de la polución por mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el ambiente y los alimentos. En septiembre de 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas promovió el objetivo de "garantizar el acceso y la administración sostenible del agua y el saneamiento para todos", convirtiendo los recursos hídricos en una prioridad para todos los miembros del estado. Es crucial recalcar que el año 2015 fue crucial para la agenda de agua y saneamiento. Se brinda una explicación sobre las fuentes de contaminación y la exposición en seres vivos, como la incorporación y retención en alimentos y productos de consumo humano. Por lo que se abordan casos de estudio y resultados obtenidos en algunos países del mundo incluido Colombia.

Da Silva (2017), evaluó el contenido de metales tóxicos en el café producido en el lugar de Cerrado Mineiro, Brasil. Analizaron cincuenta muestras de café utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica. El 66 % de muestras de café presentan cantidades de Cr dentro de los límites permitidos, mientras que el 74 % mostró plomo en cantidades superiores a las aceptadas. En las infusiones, los metales tóxicos analizados tienen concentraciones muy reducidas y son menos relevantes en comparación con la ingesta diaria máxima permitida, excepto el plomo, que presentó niveles muy elevados.

## **2.2. Generalidades del café**

### **2.2.1. Origen del café**

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los cultivos más significativos económicamente en el mundo, y ocupa el segundo lugar en exportaciones después del petróleo en relación al comercio internacional, generando más de USD \$15 mil millones al año para los países exportadores y ofreciendo trabajo a más de 20 millones de personas en el mundo; el café tiene un papel crucial en el mercado global de bebidas y es un elemento significativo en la vida diaria de muchas comunidades en casi todo el planeta. El café proviene de la región central de Etiopía (África), el altiplano de Sudán y la parte norte de Kenia, donde forma parte del sotobosque, ubicado a altitudes de 1300 a 2000 msnm, donde aún se desarrolla de forma natural

su variante conocida como Arabica, hay aproximadamente 30 especies de café, es un arbusto perenne, Sin lugar a duda uno de los vegetales más reconocidos a nivel mundial, el cafeto fue encontrado eventualmente por un pastor que notó que sus cabras, que habían consumido el fruto de esa planta, se mostraban inquietas e intranquilas, la otra versión que se afirma es que lo descubrieron unos monjes que lo utilizaban para proporcionarse insomnio en sus horas de oración nocturna (Canet, 2016).

### 2.2.2. Clasificación taxonómica del Café

El café forma parte de la familia botánica Rubiaceae, que abarca cerca de 500 géneros y aproximadamente 6000 especies. Por lo tanto, se mencionan solo tres de ellas como cultivadas de forma comercial, subrayando las dos primeras en el siguiente orden: El café arábica (*Coffea arabica* L.), que representa el 60 % de la producción mundial, en contraste con el café Canephora Pierrees – Froehner y, por último, el C. Libérica Bull ex – Hiern (Cortina, 2013).

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del café.

Categorías taxonómicas	Ordenamiento
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-División	Angiospermae
Clase	Magnoliata
Sub-Clase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea
Especie (s)	Arábica, canephora, ibérica, robusta, dewevrei
Nombre Científico	Coffea arábica

Fuente: Cortina (2013).

### 2.2.3. Principales especies del café

En las zonas de América Latina se cultivan las variedades más conocidas, como en Perú, Colombia, Kenia, África y México. El *Coffea arabica* es la especie más comercializada en el planeta, sus cultivos son delicados y requieren varios cuidados y el *Coffea*

*Canephora* es la segunda variedad más comercial en el mundo, sus cultivos son más resistentes y no necesitan tantos cuidados (Velásquez, 2020).

- **Coffea arabica**

Es la variedad más sembrada y significativa a nivel global, un tipo de café máspreciado, con un sabor superior y representa más del 60 % de la producción mundial de café, que genera una bebida de alta calidad y tiene diversas subespecies y variedades, fruto de mutaciones y adaptaciones.

- **Coffea canephora**

Es la especie que se cultiva principalmente en África, Asia y América del Sur. Etiopía, Brasil y Vietnam son señalados como el mayor productor de robusta en el mundo. Aporta cerca del 40% de la producción global, se elabora una bebida con diferentes propiedades en comparación con el café arabica, es adaptable y puede cultivarse entre los 500 y 1200 metros de altura, lo cual hace que su producción sea menos costosa y más fácil en comparación con la arabica, que requiere altitudes más altas.

**2.2.4. Variedades locales del café**

Las especies locales encontradas responden al Catimor, Caturra, Colombia y Catuai. El Caturra es un mutante de forma compacta de bourbon, también, se ha encontrado al Catuaí, especie desarrollado como híbrido de Mundo Novo y Caturra, caracterizado por sus cerezas amarillas o rojas denominados como Catuaiamarelo y Catuaivermelho (ICO, 2018). Sin embargo, la variedad dominante en más del 70 %del área en estudio fue el Catimor, esta proporción ha sido ya documentada para otras regiones del país, híbrido desarrollado en América Central a través del PROMECAFE a partir del Timor (H de T) y caturra, resultando el Catimor (Caturra x H de T) cultivares resistentes a la “roya del café”, este híbrido se desarrolló con criterios de productividad y de resistencia a la raza II de la roya. En Perú las variedades más cultivadas son Catimor, Colombia y Costa Rica 95 (Julca, 2010).

La variedad Catimor es el más difundido en el ámbito local por su rendimiento y tolerancia a la roya, pero, son susceptibles a otras plagas y enfermedades, por lo que son considerados de baja calidad organoléptica que han limitado su expansión. Aunque, existen referencias que señalan que la calidad de los Catimores no difiere de los cultivares más tradicionales como el Castillo, Típica, Caturra, Borbón y Colombia. En Perú las variedades más cultivadas son Catimor, Colombia y Costa Rica 95 (Alvarado, 2005).

### 2.3. Composición química del café

**Tabla 2.** Composición (promedios) química del grano de café almendra, en base seca, según especie.

Componente químico	Arábica	Robusta	Unidad
Polisacáridos	50,8	56,40	%
Sacarosa	8,00	4,00	%
Azúcares reductores	0,10	0,40	%
Proteínas	9,80	9,50	%
Aminoácidos	0,50	0,80	%
Cafeína	1,20	2,20	%
Trigonelina	1,00	0,70	%
Lípidos	16,20	10,00	%
Ácidos alifáticos	1,10	1,20	%
Ácidos clorogénicos	6,90	10,40	%
Minerales	4,20	4,40%	%
Compuestos aromáticos	trazas	Trazas	

Fuente: Saeed (2019). trazas= cantidades muy pequeñas en forma cualitativa.

El café, en su composición química, se integra con agua y sustancia sólida. La parte sólida de los granos de café está compuesta por minerales y compuestos orgánicos, ya sean solubles o insolubles en agua, tales como: carbohidratos, ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos, proteínas, ácidos carboxílicos y fenólicos, junto con compuestos volátiles que aportan aroma al grano (Saeed, 2019).

#### **2.4. Contaminación del café con cadmio y plomo**

El cadmio se obtiene como resultado secundario de la fundición y purificación de minerales de zinc en Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y Corea del Sur. Este metal tiene múltiples usos en el sector industrial tales como: pinturas, plásticos, pilas, baterías, fertilizantes, soldaduras, asbesto, pigmentos, reactores atómicos, productos farmacéuticos, fotografía, cristal, cerámica, etc. La fuente primordial de consumo para los seres vivos es por medio de los alimentos y el agua (Londoño, 2016).

El plomo es un metal denso que se distingue por provocar efectos nocivos en el sistema digestivo, renal y en el sistema nervioso tanto central como periférico, además de alterar los sistemas enzimáticos. Este metal produce efectos severos en varios órganos y en el cerebro e influye en el desarrollo y las habilidades cognitivas de los niños. Las principales fuentes de emisiones al entorno la fundición y el procesamiento de metales pesados, el reciclaje de baterías de plomo, la minería por el mal manejo de relaves y la contaminación del aire debido al uso de gasolina con varios octanos de plomo, lo que ocasiona que, debido a su habilidad para mezclarse con otros metales, sea usual que haya zonas contaminadas con plomo se encuentren otros metales como As Hg y Zn (Peña, 2017).

#### **2.5. Factores edafoclimáticos del café - pisos altitudinales**

Los factores y elementos climáticos necesarios para la producción son: altitud, temperatura y lluvia. Sin embargo, la pendiente, los tipos de suelo y sus características tanto físicas como químicas pueden afectar la distribución de las áreas potenciales para el cultivo del café. Asimismo, se consideran las prácticas agroecológicas empleadas por los agricultores en la gestión de las fincas de café. El cultivo del café prospera más en regiones cálidas y semicálidas con promedio de 1500 msnm anuales de precipitaciones, y estas áreas suelen estar a menudo expuestas a fenómenos climáticos adversos, en el que se comprende que entre 1997 y 1998 se ha evidenciado la gran relevancia que estos factores pueden tener en la producción de café. Las condiciones climáticas ideales para el cultivo del café se localizan en zonas subtropicales y en altitudes de las zonas tropicales, dado que el clima, altitud, temperatura, precipitación, humedad relativa, luminosidad y el tipo de suelo son factores claves en la producción por su influencia ambiental (Duicela, 2014).

## **2.6. Absorción de cadmio y plomo en café**

### **2.6.1. Comportamiento en suelos**

Sánchez y Barrón (2016), Se observa una importante acumulación de cadmio en suelos con un aumento en el contenido de materia orgánica, texturas finas, mayor capacidad de intercambio de cationes y baja saturación de aluminio intercambiable. La solubilidad del cadmio en el suelo se incrementa con el pH y también está influenciada por características particulares como la especie química, la cantidad del elemento en el suelo, el tipo de suelo y la existencia de otros metales. Por esta razón, los compuestos de Cd y Pb pueden desplazarse por el suelo, se adhieren sólidamente a la materia orgánica, donde permanecerán inactivos en el suelo y serán asimilados por las plantas, finalmente, ingresando en la cadena alimentaria, iniciando el proceso de bioacumulación en la red trófica.

### **2.6.2. Comportamiento en plantas**

Fontagro (2019), La existencia de cadmio y plomo en los granos comestibles de las plantas constituye una amenaza para la seguridad alimentaria; de igual forma, la regulación de la Unión Europea respecto a los límites permitidos de Cd y Pb en productos de café y cacao influirá en las exportaciones. Desde la perspectiva metabólica, esto afecta las rutas metabólicas de otros nutrientes como: Zn, Cu, Ca y Fe, que cumplen funciones específicas en los seres vivos. La elevada concentración de cadmio y plomo en los suelos provoca una disminución de la fotosíntesis en las plantas, reduce la absorción de agua y nutrientes, lo que resulta en clorosis, inhibición del crecimiento, oscurecimiento de las raíces y, finalmente, la muerte. Estos metales pesados en la vegetación afectan la morfología y fisiología de la raíz, modificando la expresión de proteínas y genes.

## **2.7. Riesgos a la salud por contaminación con metales pesados**

Nava (2011), La existencia de metales pesados en el entorno se origina por procesos naturales y actividades humanas, no pueden ser generados ni destruidos. Se desplazan en matrices de agua, tierra y aire. La población se expone a estos metales de distintas formas, como mediante el agua y el consumo de alimentos que contienen este elemento (hojas de verduras, granos, cereales, frutas, vísceras de animales y pescado).

Se han documentado reportes sobre la relación entre la presencia de metales pesados, como el cadmio y el plomo, en los alimentos y la salud ambiental y pública. Casos graves de intoxicación, con concentraciones de 20 mg/kg o más de cadmio, provocan daños severos en los órganos internos y alteraciones genéticas. Existen investigaciones poblacionales

acerca de la toxicidad y acumulación de cadmio que evidencian una cantidad significativa de personas con niveles tóxicos de cadmio en sus riñones, a pesar de las limitaciones sobre los niveles mínimos de cadmio permitidos en la ingestión de alimentos. Varios autores sostienen que, si la ingesta de cadmio en la alimentación humana sigue en ascenso, se anticipa un incremento en los casos de disfunción tubular renal en los próximos 10 a 20 años, especialmente en poblaciones de alto riesgo como diabéticos y quienes consumen poca vitamina C. En casos más específicos relacionados con metales pesados en los alimentos, se encuentra la normativa del Codex Alimentarius, un ente de la ONU dedicado a la regulación alimentaria, que ha implementado nuevas directrices para proteger la salud de los consumidores en todo el mundo, abarcando normativas sobre frutas y verduras, pescado, granos, cereales y productos del mar (Haswel, 2000).

La Comisión del Codex Alimentarius, administrada en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), define normas internacionales de calidad y seguridad alimentaria para promover la fabricación de alimentos más saludables y nutritivos para los consumidores en todo el mundo, Así mismo la Unión Europea (UE) establece un reglamento de límite máximo que señala contaminantes en los alimentos, los cuales no se añadieron de manera intencionada, sino que se introdujeron durante la producción, el envasado, el transporte, etc. Esta normativa entró en vigor el 9 de enero de 2007.

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles de la concentración de metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) en agua, suelo y alimentos de consumo humano por el CODEX.

<b>Alimento</b>	<b>Unid.</b>	<b>Hg</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
Agua de consumo humano	mg/L	0,001	0,05	0,01	0,05
Agua marina y de estuarios	mg/L	0,0001	0,05	0,05	0,01
Agua de uso agrícola	mg/L	0,001	0,1	0,01	0,05
	mg/L	0,1	0,2	0,05	0,05
	mg/kg	Nan	Nan	0,05	0,1
Hortalizas de fruto (cucurbitáceas)	mg/kg	Nan	Nan	0,05	0,1
Hortaliza de hoja	mg/kg	Nan	Nan	0,1	0,3
Legumbres	mg/kg	Nan	Nan	Nan	0,2
	mg/kg	Nan	Nan	Nan	0,1
Carne de vacuno, porcino y ovino	mg/kg	Nan	Nan	0,1	0,1
Carne de aves	mg/kg	Nan	Nan	0,05	0,02
	mg/kg	Nan	Nan	Nan	0,2
Cereales en grano (excepto trigo)	mg/kg	Nan	1	0,05	Nan
Peces	mg/kg	0,5	2	Nan	Nan
Peces depredadores	mg/kg	1	Nan	Nan	Nan

Fuente: CODEX (2016). Nan= concentración por debajo del límite permisible.

## 2.8. Regulación internacional sobre los límites máximos permisibles de metales pesados

Los límites máximos autorizados de metales pesados en alimentos, especialmente en almendras de cacao, están especificados en la Tabla 4. Estos niveles pueden diferir entre países. Hungría es el más severo.

**Tabla 4.** Concentración de niveles máximos permisibles de metales pesados en productos nutricionales según la Unión Europea.

Metales Pesados	UE	UE	Codex
	Productos Alimenticios ppm	Almendras de cacao ppm	Alimentarius Almendras de cacao ppm
Cadmio (Cd)	1,0	0,50	---
Cobre (Cu)	350,0	50,00	30,0
Níquel (Ni)	40,0	---	---
Plomo (Pb)	5,0	2,00	2,00
Zinc (Zn)	500,0	---	---
Mercurio (Hg)	1,0	0,02	0,02
Cromo (Cr)	45,0	---	---
Selenio (Se)	0,5	---	---

Fuente: UNIÓN EUROPEA (2006). UE= Unión Europea, ppm= partes por millón

Se tomaron en cuenta diferentes factores en el Reglamento de la Comisión (UE) N° 488/2014 del 12 de mayo de 2014, incluyendo:

En algunas regiones de los países que producen cacao, los niveles de cadmio en el suelo pueden ser naturalmente altos; por lo tanto, la información sobre la detección en productos de cacao y chocolate de naciones con altos niveles de cadmio en el suelo debe tenerse en cuenta al establecer los límites máximos permitidos de cadmio.

Al fijar los límites máximos de cadmio autorizados, es necesario tener en cuenta la información sobre la prevalencia de varios tipos de chocolates y cacao en polvo disponibles para el consumidor final. Dado que los niveles de cadmio en productos de cacao están vinculados a su contenido de cacao, es apropiado fijar distintos niveles máximos de cadmio para productos con diferentes porcentajes de cacao. Esto garantiza que los niveles máximos autorizados puedan ser alcanzados también por chocolates que contengan un mayor porcentaje de cacao.

La normativa de la Unión Europea, mediante el reglamento (CE) N° 1881/2006, establece la cantidad máxima permitida de metales pesados en los alimentos, que no afecta la salud pública, y se establece en función del tipo de metal.

**Los límites según las referencias:**

El Perú, a través del ministerio del medio ambiente, fija estos límites:

Certificación de estándares ambientales (ECA) de acuerdo a los Decretos Supremos:

- N° 003-2017-MINAM: En relación al aire y otras regulaciones adicionales.
- N° 004-2017-MINAM: En el caso de aguas se establecen normativas adicionales.
- N° 011-2017-MINAM: Para el caso del suelo.

Las fronteras conforme a la regulación/organismos internacionales:

Determinan niveles de tolerancia máxima para sustancias dañinas o metales:

- Codex Alimentarius: Acerca de las toxinas en los alimentos y las sustancias nocivas.
- Organización mundial de la salud (OMS): Protegen la salud fijando normas sobre elementos o sustancias mediante directrices de calidad.
- Normativa de la Unión Europea (UE): Para sustancias químicas, metales pesados, etc.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El presente análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, situada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, en el departamento de Huánuco; a una elevación de 660 msnm, con coordenadas de 09° 17' 08" de Latitud Sur y 75° 59' 52" de Longitud Este, en un clima cálido y húmedo, con una humedad relativa media del 84 % y una temperatura anual promedio de 24° C.

#### **3.2. Material de análisis**

Las muestras del suelo fueron tomadas de 3 zonas productoras cafetaleras del Perú, como: Huánuco, Pasco y Puno.

Los granos frescos de café fueron recolectados de las 3 zonas productoras del café, Huánuco (Sector Magnolia) provincia Dos de Mayo, distrito de Marías con temperatura promedio de 24°C a una altitud de 1198 msnm. Pasco (Sector de Anexo el Oconal) provincia Oxapampa, distrito de Villa Rica con temperatura promedio de 19°C a una altitud de 1480 msnm y Puno (Sector de Quispicanchis) provincia de Sandia, distrito San Juan de Loro con temperatura promedio de 9°C a una altitud de 1610 msnm.

#### **3.3. Equipos, materiales y reactivos**

##### **3.3.1. Equipos de laboratorio**

- Estufa de secado (CONTERM)
- Placa calefactora
- Molino metal
- Mufla compacto (THERMCONCEPT KLE)
- Dispensador eléctrico (tipo eléctrico)
- Agitador de metal
- Agitador de madera
- Conductímetro
- Potenciómetro con electrodo de vidrio (KYNTEL)
- Balanza analítica modelo ESJ-210-4 (Digital precisión)
- Balanza gramera
- Agitador rotatorio (11 SAMPLE SHAKER)

- Espectrofotómetro de absorción atómica en llama (F-AAS) – VARIAN

### **3.3.2. Materiales**

#### **Materiales de vidrio**

- Matraces Erlenmeyer de 100, 125, 150, 200 y 250 mL
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250, 500 y 1000 mL
- Embudos de filtración en vidrio
- Micropipetas de 1000 a 5000  $\mu\text{L}$
- Tubos de ensayo Gene Mate® de 50 y 100 mL
- Buretas de 25, 50 y 100 mL
- Fiolas volumétricas de 10, 50, y 100 mL
- Probetas graduadas de 25, 100, 250, 500 y 1000 mL
- Probeta de sedimentación (Bouyucos) de 120mL de capacidad

#### **Otros materiales**

- Crisoles Vycor de 40 a 50 mL de capacidad
- Cápsulas de porcelana
- Desecador de vidrio SIMAX
- Pinzas
- Espátulas
- Gradillas
- Bandejas de plástico
- Papel filtro
- Bolsas herméticas
- Pizeta
- Embudos Agata
- Cuchara
- Vaso de dispersión
- Mortero y pilón Agata
- Tamiz de suelo
- Vasos medidores de plástico
- Hidrómetro
- Termómetro
- Cronómetro

### **3.3.3. Reactivos y solventes**

- Ácido nítrico concentrado
- Ácido perclórico concentrado
- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Acetato de amonio (pH 7 1N)
- Fluoruro de sodio 4%
- Cloruro de potasio (1N)
- Fenolftaleína (0,1%)
- Dicromato de potasio (1N)
- Bicarbonato de sodio (0,5M)
- Hidróxido de sodio (0,01N)
- Ácido clorhídrico (0,01N)
- Hexametáfosfato de sodio (10%)
- SAL DE MOHR (0,5N)
- Carbón activado
- Colorante Olsen (A+B)
- DI- fenilamina sulfúrico

### **3.4. Métodos de análisis**

- Caracterización fisicoquímica en suelos del cultivo del café
- Caracterización fisicoquímica en granos pergaminos secos del café
- Determinación de la concentración de cadmio y plomo en suelos y granos pergaminos secos del café

### **3.5. Metodología experimental**

#### **3.5.1. Acondicionamiento de la muestra del suelo**

Se tomaron 3 muestras de suelo, de 3 diferentes pisos altitudinales y 3 diferentes zonas del Perú. La cantidad de muestra tomada fue de 500 gramos de suelo por parcelas de cultivo del cafeto que cuentan con certificación orgánica, tales como: Huánuco, Pasco y Puno. Se estableció una red de muestreo de 5 x 5 m para cada suelo en la toma de muestra, recolectando muestras compuestas de la capa superior manualmente a una profundidad de (0-50 cm), Posteriormente, se colocaron en bolsas de polietileno selladas de manera hermética y se llevaron al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la

Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde fueron secadas a temperatura ambiente y, finalmente, se prepararon según los ensayos a realizar.

Las etapas del proceso para las muestra de suelo del cafeto se basan en la desecación, molienda, tamizado y codificación

- **Desecación.** – Se colocaron 3 muestras de suelo en diferentes bandejas, un lugar fuera de contaminación (aire libre); verificando que las muestras tengan su tarjeta de datos con la información completa de su procedencia.

- **Molienda.** – Se realizaron manualmente sobre una base de madera con la ayuda de un mortero y pilón de porcelana.

- **Tamizado.** – Las 3 muestras de suelo pasaron por un tamiz de 2mm de diámetro y con la ayuda de un cepillo se limpiaron cada tamiz para realizar el siguiente tamizado con el fin de no contaminar las muestras.

- **Codificación.** – Las 3 muestras de suelo se codificaron con los datos importantes de la parcela del cultivo de café como la enumeración de las muestras, apuntes del orden correlativo del análisis y la cantidad de toma de muestra (500 gramos) para el respectivo análisis.

Las muestras de suelo son procedentes de 3 zonas del Perú y fueron debidamente codificados como: HCO, PAS, PUN y a la vez georeferenciados.

**Tabla 5.** Codificación y georeferenciación de las parcelas evaluadas.

<b>Código</b>	<b>Sector</b>	<b>Variedad</b>	<b>Propietario</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Altitud</b>
<b>Zona</b>					
HCO	Magnolia	Geisha	Antonio Fernández	347724 E 8967249 N	1198 msnm
PAS	Anexo el Oconal	Geisha	Yajayra Quispe	428824 E 8724426 N	1480 msnm
PUN	Quispicanchis	Geisha	Marino Mamani	486345 E 8426691 N	1610 msnm

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5.2. Acondicionamiento de la muestra del café**

Se recolectaron 500 gramos de muestra de cerezos de café de la variedad geisha de las diferentes parcelas del cultivo del cafeto con diferentes altitudes y procedencias como: Huánuco (Magnolia), Altitud I: parte baja 1198 msnm, Pasco (Anexo el Oconal), Altitud II: parte media 1480 msnm y Puno (Quispicanchis), Altitud III: parte alta 1610 msnm, fueron colocadas en bolsas de polietileno para garantizar la integridad, Así mismo se trasladó las muestras a la Universidad Nacional Agraria de la Selva y se almacenó en un área fresco del laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología donde se realizó el proceso del lavado, despulpado y secado, de tal manera obtener los granos pergaminos secos para su análisis.

### **3.5.3. Análisis fisicoquímico en suelos del café**

El análisis de suelos busca establecer el nivel de abundancia o escasez de nutrientes presentes, así como las condiciones adversas que pueden afectar a los cultivos, como la alta acidez, el contenido de sales minerales y los compuestos químicos de los elementos. Igualmente posibilita evaluar el nivel de fertilidad del suelo para que sea eficaz, por ello se realizaron los siguientes análisis:

#### **- Determinación de Textura**

Se pesaron 50 gramos de muestra de suelo y se vertió en un vaso de dispersión, se añadió 10 mL de hexametafosfato de sodio (10%), 2/3 de agua destilada del volumen del vaso de dispersión, se agitó por 5 minutos en el dispersador eléctrico, seguido se trasladó la suspensión de suelo a la probeta de Bouyucos, se enrazó agua destilada hasta alcanzar 1000 mL, se introdujo el hidrómetro y se enrazó hasta la marca de 1130 mL, se agitó enérgicamente con la ayuda de un recipiente de madera, se dejó reposar, se calculó el tiempo establecido, se colocó el hidrómetro para medir la densidad de líquido a los 40 segundos con la ayuda del cronómetro, seguido se retiró el hidrómetro, se procedió a calcular la temperatura de la suspensión y finalmente después de 4 horas de sedimentación se realizó la segunda medición colocando de nuevo el hidrómetro (ya no se agita) y se midió la temperatura de suspensión.

#### **- Determinación de pH**

Se pesaron 20 gramos de cada muestra de suelo, se añadieron 20 mL de agua destilada con la ayuda del dilutor, seguidamente se llevó al agitador de muestras por 20 minutos, finalmente se calibró el potenciómetro para proceder a tomar la lectura de las muestras.

- **Determinación de Conductividad Eléctrica**

Se usó la misma solución de muestra de suelo que se midió el pH, se procedió a calibrar el conductímetro, se introdujo el electrodo para que coja la parte líquida de la solución del suelo hasta que choque en ambos polos con la parte del sedimento, finalmente se tomó la lectura de la C. E.

- **Determinación de M.O**

Se pesaron 0,25 gramos de muestra de suelo en un matraz de 250 mL, se añadieron 5 mL de dicromato de potasio (1N), posteriormente se agregaron 2,5 mL de ácido sulfúrico y se dejó reposar de 5 a 10 minutos a una temperatura de 24°C, se incorporaron 40 mL de agua destilada y se sumaron 2,5 mL de agua destilada para completar los 50 mL, se separó 10 mL de solución en vasos precipitados, seguido se añadió 3 gotas del indicador de Di-fenilamina sulfúrico y finalmente se tituló con la solución de SAL MOHOR (0,5 N) hasta que la muestra se torne a un color verde oscuro y se anotó el gasto de cada muestra.

- **Determinación de Fósforo disponible**

Se pesaron 2 gramos de muestra de suelo, se añadió 1 cucharadita de carbón activado, se adicionó 20 mL de bicarbonato de sodio (0,5 M), se llevó al agitador de muestras por 15 minutos, seguido se filtraron las muestras, se tomaron 3 mL para cada tubo de ensayo, se agregó 10 mL de Colorante Olsen DSP (reductor) obteniéndose un volumen de 13 mL donde torne a color celeste, para finalizar se hizo la lectura en el Espectrofotómetro, pero antes se elaboró la curva de calibración utilizando soluciones estándar de 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm y 4 ppm de una sustancia, midiendo su absorbancia a 660 nm.

- **Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Se pesaron 2,5 gramos de muestra de suelo, se colocó la muestra en un vaso precipitado de 50 mL junto al papel filtro, se añadió 40 mL de agua destilada para eliminar las sales solubles presentes en el suelo, seguidamente la muestra de suelo lavado se colocó en un nuevo matraz para ser filtrado añadiendo 40 mL de Acetato de amonio (pH 7 1N), se agregó 10 mL de cada muestra filtrada en 3 tubos de ensayo para realizar las diluciones de 1/10 mL y 1/100 mL, finalmente la cuantificación de cationes de Ca, Mg, K y Na se realizó por el método de la Espectrofotometría de absorción atómica, lo cual implica medir la absorción de

luz por los átomos de los cationes en una llama, la CIC se calcula sumando la cantidad de cationes cuantificados y expresados en centimoles por kilogramo (cml/kg).

- **Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICe)**

Es importante medir la CICe en suelos con pH inferior a 7, ya que indica con mayor exactitud las condiciones del suelo para las raíces y los microorganismos. Se pesaron 2 gramos de muestra de suelo en un vaso medidor de plástico, se incorporaron 20 mL de cloruro de potasio (1N), se llevó al agitador de muestras durante 15 minutos, luego se filtró la muestra de suelo, se separó 10 mL de alícuota en unos vasos precipitados de 100 mL, se añadió 3 gotas del indicador de fenolftaleína (0,1%), seguido se hizo la primera titulación con la solución Hidróxido de sodio (0,01 N) donde se tornó a color rosa transparente y se anotó el gasto total (Al+H), seguido se procedió a decolorar con el ácido clorhídrico (0,01 N) con cuatro gotas hasta volverse al color transparente, finalmente se añadió de 10 mL de fluoruro de sodio al (4 %) y se tornó al color rosa transparente, asimismo se realizó la segunda titulación con el ácido clorhídrico (0,01 N) donde se tornó a color transparente y se anotó el gasto para (Al).

A continuación, En la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se muestran los datos del análisis fisicoquímico de los suelos de las 3 zonas productoras de café.

**Tabla 6.** Análisis físico-químico del suelo experimental, (Sector Magnolia), parte baja, (Altitud 1198 msnm), Región Huánuco.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleados</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena - Ao (%)	62	Hidrómetro
Arcilla - Arc (%)	12	Hidrómetro
Limo - Lo (%)	25	Hidrómetro
Clase Textural	Franco Arenoso	Triángulo Textural
<b>Análisis químico</b>		
pH (1:1) en agua	4,73	Potenciómetro
C.E dS/m	0,07	Conductímetro
Materia Orgánica (%)	4,17	Walkley Black
N - total (%)	0,209	% M.O x 0,05
C – Orgánico	2,422	Sistema Microkjeldahl
P – disponible (ppm)	21,057	EEA
CIC		
Ca - Cambiable (Cmol (+) kg)	9,387	F-AAS
Mg - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,350	F-AAS
K - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,210	F-AAS
Na - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,095	F-AAS
Al - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,498	F-AAS
H - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,336	F- AAS
CICe	4,619	Suma de cationes
Bases Cambiables	81,938	
Acidez Cambiable	18,061	
Saturación de Aluminio	10,782	

**Tabla 7.** Análisis físico-químico del suelo experimental, (Sector Anexo el Oconal), parte media, (Altitud 1480 msnm), Región Pasco.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleados</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena - Ao (%)	60	Hidrómetro
Arcilla - Arc (%)	14	Hidrómetro
Limo - Lo (%)	25	Hidrómetro
Clase Textural	Franco Arenoso	Triángulo textural
<b>Análisis químico</b>		
pH (1:1) en agua	5,10	Potenciómetro
C.E dS/m	0,07	Conductímetro
Materia Orgánica (%)	2,50	Walkley Black
N - total (%)	0,125	% M.O x 0,05
C – Orgánico	1,450	Sistema Microkjeldahl
P – disponible (ppm)	3,554	EEA
<b>CIC</b>		
Ca - Cambiable (Cmol (+) kg)	4,225	F-AAS
Mg - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,497	F-AAS
K - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,342	F-AAS
Na - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,105	F-AAS
Al - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,242	F-AAS
H - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,233	F- AAS
CICe	5,646	Suma de cationes
Bases Cambiables	91,566	
Acidez Cambiable	8,433	
Saturación de Aluminio	4,294	

**Tabla 8.** Análisis físico-químico del suelo experimental, (Sector Quispicanchis), parte alta, (Altitud 1610 msnm), Región Puno.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleados</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena - Ao (%)	49	Hidrómetro
Arcilla - Arc (%)	19	Hidrómetro
Limo - Lo (%)	31	Hidrómetro
Clase Textural	Franco	Triángulo textural
<b>Análisis químico</b>		
pH (1:1) en agua	5,57	Potenciómetro
C.E dS/m	0,26	Conductímetro
Materia Orgánica (%)	2,84	Walkley Black
N - total (%)	0,142	% M.O x 0,05
C – Orgánico	1,647	Sistema Microkjeldahl
P – disponible (ppm)	12,392	EEA
CIC	5,698	
Ca - Cambiable (Cmol (+) kg)	3,586	F-AAS
Mg - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,479	F-AAS
K - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,314	F-AAS
Na - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,154	F-AAS
Al - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,930	F-AAS
H - Cambiable (Cmol (+) kg)	0,300	F- AAS
CICe	3,436	Suma de cationes
Bases Cambiables	197,535	
Acidez Cambiable	35,798	
Saturación de Aluminio	27,067	

### 3.5.4. Análisis fisicoquímico en granos pergaminos secos del café

#### - Determinación de humedad en granos

Se colocaron 20 gramos de muestra de granos pergaminos de café molidos en cápsulas de porcelana que habían sido secados previamente, seguido se colocó en la estufa a 105 °C durante 24 horas, en las primeras 12 horas del tiempo se retiraron las muestras y se colocaron a enfriar en un desecador por 40 minutos y se procedió hacer el primer pesado, para finalizar cumpliendo las 24 horas se hizo el mismo procedimiento de enfriado de muestras en un desecador para el último pesado de muestras. El porcentaje de humedad se determinó mediante la disminución de peso conforme a la ecuación 1 (AOAC 13.0001/98):

$$\%Humedad = \frac{\text{peso. muestra. humedad} - \text{peso. muestra. seca}}{\text{peso. muestra. humedad}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

#### - Determinación de ceniza en granos

La presencia de minerales en el grano de café está relacionada con el nivel de ceniza. Para la medición de cenizas se pesaron las cápsulas de porcelana con diferentes pesos de muestra que se obtuvieron en las cápsulas de porcelana donde se hizo la determinación de humedad, se quemó en una mufla a 500 °C hasta conseguir las cenizas (8 horas), se enfrió en un deshidratador y luego se anotó el peso. El cálculo de las cenizas se llevó a cabo según la ecuación 2:

$$\%Ceniza. base. seca = \frac{\text{peso. de. ceniza}}{\text{peso. de. la. muestra}} * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

#### - Determinación de proteína en granos

Se secaron los granos y luego se realizó una molienda fina para obtener una muestra homogénea, se pesaron 0,1 gramos de muestra en un tubo de digestión; se añadió 3,5 mL de ácido sulfúrico concentrado más 1 gramo de catalizador de oxidación (combinación de sulfato de potasio y sulfato de cobre) para facilitar la reacción que convierte el nitrógeno orgánico en iones de amonio, se calentó la mezcla en un bloque de digestión a una temperatura de 400°C por 1 hora; seguido se agregó 50 mL de agua destilada al tubo de digestión y se procedió a mezclar bien, se destiló la mezcla y se recogió el amoniaco, seguido

se tituló la solución de 10 mL de ácido bórico con 5 mL de hidróxido de sodio al 50% para determinar el amoníaco retenido por la muestra. La cantidad de proteína en la muestra se calculó a partir del nitrógeno total multiplicado por 6,25 (ISO R-937).

$$\%Nitrogeno = \frac{mL\ de\ HCl\ mL * Miliequivalentes\ de\ N}{peso\ de\ la\ muestra} * 100 \quad Ec.\ (3)$$

Se determinó el contenido proteico a partir de la cantidad de amoníaco generado, aplicando un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25 (p).

#### - **Determinación de materia seca en granos**

El contenido de materia seca está relacionado con el contenido de humedad que tiene el grano pergamino de café, se multiplica el peso húmedo por el peso seco y se calcula el rendimiento.

$$\%MS = [(peso\ inicial - peso\ seco)/peso\ inicial] * 100 \quad Ec.\ (4)$$

#### - **Determinación de materia orgánica en granos**

El contenido de materia orgánica está relacionado por el proceso de la incineración ya que las cenizas representan la parte inorgánica del grano de café y se calcula restando el porcentaje de cenizas del 100%.

$$\%MO = 100 - (\% de\ cenizas) \quad Ec.\ (5)$$

### **3.5.5. Determinación de cadmio y plomo por Espectroscopia de Absorción Atómica en Llama (F-AAS)**

El espectrómetro de absorción atómica por llama permitió la identificación y concentración de los metales pesados cadmio (Cd) y plomo (Pb) en muestras de suelos y granos pergaminos de café en tres altitudes y tres zonas del Perú.

- **Digestión de las muestras de suelo**

Se colocaron 2 gramos de muestra de suelo en un matraz de 250 mL, se incorporaron 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) más 10 mL de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) con la ayuda de la micropipeta de 5000  $\mu\text{L}$ , se colocó sobre la placa calefactora a 300 °C durante 5 horas hasta lograr la digestión completa. La digestión concluyó cuando comenzó a salir un vapor de color blanco (señal de que se rompieron los enlaces) y se produjo un líquido de color transparente, se procedió a filtrar los extractos en matraces de 100 mL, seguido se colocaron los extractos en unas fioles volumétricas de 50 mL y se enrazó con agua destilada, finalmente los extractos fueron cuantificados con el Espectrofotómetro de Absorción en llama para saber la concentración de cadmio y plomo en suelos del cultivo de café (AOAC 999.11: 2000).

- **Digestión de las muestras de granos**

Se colocaron 2 gramos de muestra de grano molido en un matraz de 250 mL, se incorporaron 10 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) más 10 mL de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) con la ayuda de la micropipeta de 5000  $\mu\text{L}$ , se colocó sobre la placa calefactora a 300 °C x 5 horas hasta lograr la digestión completa. La digestión concluyó cuando comenzó a salir un vapor de color blanco (señal de que se rompieron los enlaces) y se produjo un líquido de color transparente, se procedió a filtrar los extractos en matraces de 100 mL, seguido se colocaron los extractos en unas fioles volumétricas de 50 mL y se enrazó con agua destilada, finalmente los extractos fueron cuantificados con el Espectrofotómetro de Absorción en llama para saber la concentración de cadmio y plomo en granos pergamino secos del café (AOAC 999.11: 2000).

El contenido de concentración de metales pesados se realizó utilizando el espectrofotómetro de Absorción Atómica (FAAS) Varian. Se utilizó el método de Espectrometría de absorción atómica por llama, empleando una mezcla de Aire-Acetileno como gas combustible a una presión de entrada de 2,5 Pa y un caudal de 1 L/minuto. La absorbancia de las muestras se midió directamente a longitudes de onda de 228,8 nm para cadmio y 217,0 nm para plomo. Se prepararon curvas de calibración para ambos metales utilizando un estándar certificado de 1000 mg/L. Las concentraciones de las curvas de calibración fueron de 0,05, 0,1 y 0,2 ppm para cadmio y de 1, 5, 10 y 20 ppm para plomo, las mediciones se llevaron por triplicado.

Finalmente se llevó a cabo la lectura de muestras y se registraron las absorbancias. Los resultados fueron analizados mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA), se calculó el análisis ANOVA y se empleó la prueba de Tukey en los niveles con significación estadística ( $p < 0,05$ ).

### 3.6. Diseño estadístico

Para el análisis y procesamiento y análisis de datos se realizó el Diseño Completamente Al Azar (DCA), este diseño se caracteriza en que todas las posibles fuentes de variación estén controladas y que solo exista un efecto del factor estudio.

Se seleccionó este diseño ya que dentro de nuestras variables todas son controladas, mientras que lo único que influye es el factor estudio que en este caso serían los niveles de cadmio y plomo de la variable independiente que vendrían hacer las 3 zonas del Perú con la que se está trabajando, como: Huánuco, Pasco y Puno.

A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas en este diseño (Quimis, 2024).

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y} \dots)^2 = n \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_i - \bar{Y} \dots)^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

**A**
**B**
**C**

**Figura 1.** Fórmulas de cálculos utilizadas para el Diseño Completamente al Azar (DCA).

**Donde:**

**A** = Suma total de cuadrados

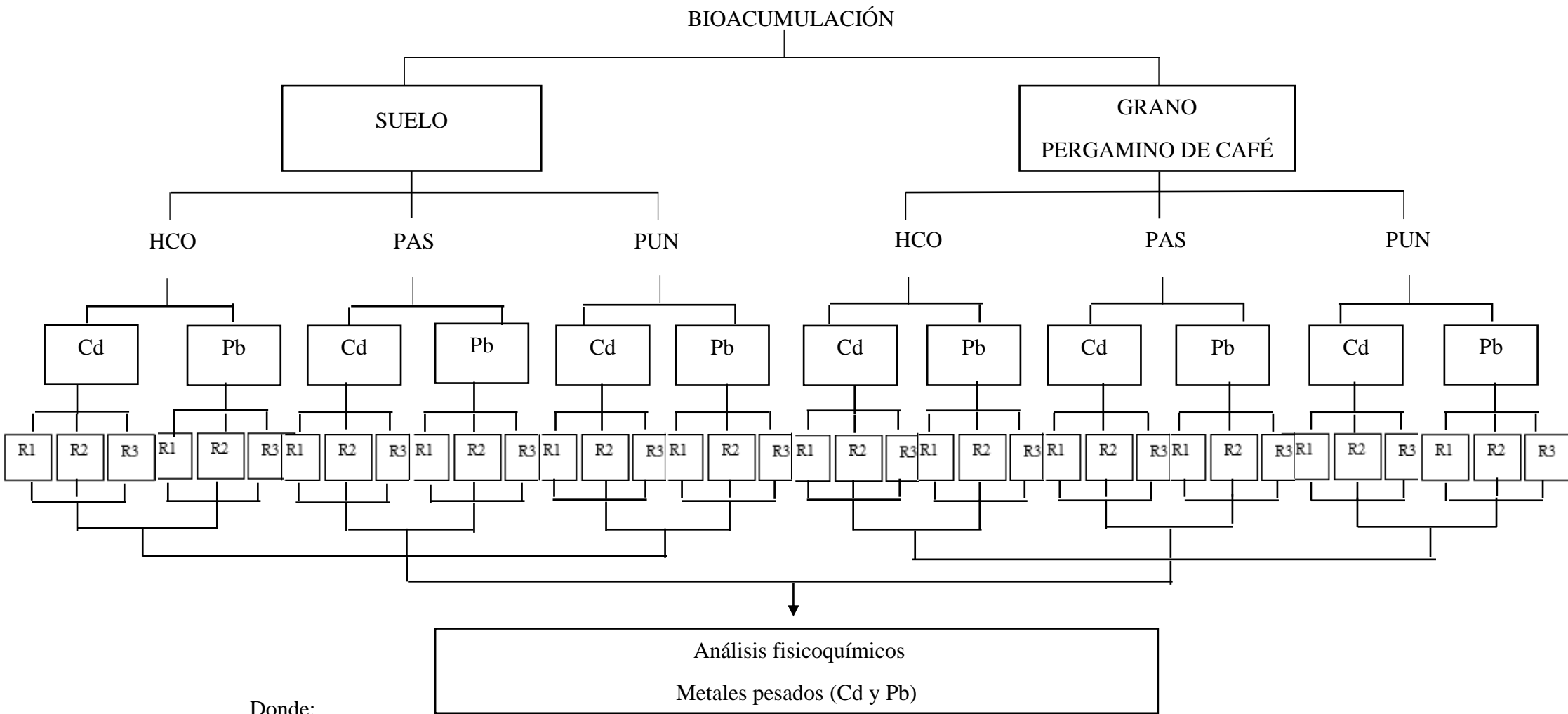
**B** = Cuadrados de intervención

**C** = Errores de cuadrados

Para el análisis estadístico del factor considerado se llevó a cabo el análisis de varianza ( $p < 0,05$ ), que es un procedimiento estadístico para examinar las discrepancias en las mediciones de tres o más grupos, es importante señalar que este análisis debe emplearse sólo cuando se necesite valorar un solo aspecto y una sola variable.

Para el análisis de correlación significativa de las diversas zonas y altitudes con la absorción de cadmio y plomo en suelos y granos pergamino se llevó a cabo la tabla de contingencia que es una herramienta estadística que proporciona una forma de representar los datos que puede facilitar el cálculo de probabilidades y que ayuda a determinar las probabilidades condicionales con bastante facilidad.

### 3.7. Diseño Experimental



VI: HCO, PAS y PUN

VD: Cd y Pb

HCO= Zona 1 Huánuco, PAS= Zona 2 Pasco, PUN= Zona 3 Puno,

R1= Repetición 1, R2= Repetición 2, R3= Repetición 3.

**Figura 2.** Diseño experimental de la investigación en la bioacumulación de metales pesados en suelos y granos de café.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis físicoquímico de suelos y granos pergaminos secos del café**

#### **4.1.1. Análisis físicoquímico de los suelos del café**

En la Tabla 9, se muestra el análisis mecánico de la clase textural con los resultados promedios de partículas de Arena, Arcilla y Limo. En la Tabla 10, se muestra el análisis físicoquímico con los resultados promedios de pH, Conductividad Eléctrica, Materia orgánica (Carbono y Nitrógeno) y fósforo disponible. En la Tabla 11, se muestran los resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) como: Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio. En la Tabla 12, se muestran los resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) como: hidrógeno y aluminio.

**Tabla 9.** Resultados promedios del análisis mecánico de la clase textural de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno.

Zona	Sector	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
Huánuco	Magnolia	62±1,333 <sup>b</sup>	12,666±0,888 <sup>a</sup>	25,333±2,222 <sup>a</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	60±1,333 <sup>b</sup>	14,666±0,888 <sup>a</sup>	25,333±2,222 <sup>a</sup>
Puno	Quispicanchis	49±0,666 <sup>a</sup>	19,666±1,111 <sup>b</sup>	31,666±1,555 <sup>a</sup>

Los valores representan (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices distintos, indican diferencia estadística (p<0,05).

**Tabla 10.** Resultados promedios del análisis físicoquímico de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno.

Zona	Sector	pH	C.E (dS/m)	M.O (%)	N Total (%)	C Orgánico (%)	P Disponible (ppm)
Huánuco	Magnolia	4,733±0,017 <sup>a</sup>	0,073±0,011 <sup>a</sup>	4,185±0,125 <sup>b</sup>	0,209±0,004 <sup>b</sup>	2,422±0,051 <sup>b</sup>	21,057±1,424 <sup>c</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	5,1±0,046 <sup>a</sup>	0,07±0,006 <sup>a</sup>	2,5±0,16 <sup>a</sup>	0,125±0,008 <sup>a</sup>	1,450±0,092 <sup>a</sup>	3,554±0,303 <sup>a</sup>
Puno	Quispicanchis	5,57±0,726 <sup>a</sup>	0,266±0,057 <sup>b</sup>	2,84±0,6 <sup>a</sup>	0,142±0,03 <sup>a</sup>	1,647±0,348 <sup>a</sup>	12,392±2,894 <sup>b</sup>

Los valores representan (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices distintos, indican diferencia estadística (p<0,05).

ppm= partes por millón, dS/m= deciSiemens por metro. C.E= conductividad eléctrica, M.O= materia orgánica, N= nitrógeno, C= Carbono, P= fósforo.

**Tabla 11.** Resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zona</b>	<b>Sector</b>	<b>CIC</b>	<b>Ca (Cmol(+)/kg)</b>	<b>Mg (Cmol(+)/kg)</b>	<b>Potasio (Cmol(+)/kg)</b>	<b>Sodio (Cmol(+)/kg)</b>
Huánuco	Magnolia	0±0 <sup>a</sup>	3,129±0,067 <sup>a</sup>	0,35±0,013 <sup>a</sup>	0,21±0,003 <sup>a</sup>	0,095±0,002 <sup>a</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	0±0 <sup>a</sup>	4,225±0,073 <sup>a</sup>	0,497±0,008 <sup>a</sup>	0,342±0,007 <sup>a</sup>	0,105±0,002 <sup>a</sup>
Puno	Quispicanchis	3,798±2,532 <sup>a</sup>	3,586±1,499 <sup>a</sup>	0,479±0,194 <sup>a</sup>	0,314±0,089 <sup>a</sup>	0,154±0,040 <sup>a</sup>

Los valores representan (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices distintos, indican diferencia estadística (p<0,05).  
Cmol(+)/kg= centimoles de carga positiva por kilogramo. CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico.

**Tabla 12.** Resultados promedios de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) de los suelos de Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zona</b>	<b>Sector</b>	<b>CICE</b>	<b>Hidrógeno (Cmol(+)/kg)</b>	<b>Aluminio (Cmol(+)/kg)</b>
Huánuco	Magnolia	4,619±0,064 <sup>b</sup>	0,336±0,031 <sup>a</sup>	0,498±0,023 <sup>a</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	5,646±0,065 <sup>b</sup>	0,233±0,024 <sup>a</sup>	0,242±0,008 <sup>a</sup>
Puno	Quispicanchis	1,145±1,527 <sup>a</sup>	0,1±0,133 <sup>a</sup>	0,31±0,413 <sup>a</sup>

Los valores representan (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices distintos, indican diferencia estadística (p<0,05).  
Cmol (+)/kg= centimoles de carga positiva por kilogramo. CICE= Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

- **Clase Textural (Arena, Arcilla, Limo) en los suelos del café en tres zonas**

**a. Arena**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de arena (Anexo - I, Tabla A1-1), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, en esta ocasión, es 49,0; se obtiene al dividir el estimado de zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa en la media de arena entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, dando lugar a un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-2) presenta las diferencias entre cada par de promedios, reconociendo 2 grupos homogéneos en la zona de Huánuco y Pasco que no exhiben diferencias estadísticamente significativas, mientras que en la región de Puno-Huánuco y Puno-Pasco si hay diferencia estadísticamente significativa puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

**b. Arcilla**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de arcilla (Anexo - I, Tabla A1-3), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en este caso corresponde a 23,4, se obtiene al dividir el estimado de áreas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, hay una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre la media de arcilla en las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, realizando un estudio de comparaciones múltiples. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-4) revela las diferencias entre todos los pares de medias, encontrándose 2 grupos homogéneos en la zona de Huánuco y Pasco que no tienen diferencia significativa, mientras que en la zona de Puno-Huánuco y Puno-Pasco si hay diferencia estadísticamente significativa puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

**c. Limo**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de limo (Anexo - I, Tabla A1-5), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en este caso equivale a 5,23188, es el resultado de dividir el estimado de las zonas entre repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de limo entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, realizando un análisis comparativo en diversos casos. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-6) no muestra las diferencias entre cada par de medias; se han identificado 3

grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que no tienen diferencia estadísticamente significativa, puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

El suelo de las diferentes zonas presenta diferentes texturas, se aprecia los porcentajes de partículas de arena, arcilla y limo. Según los resultados, la zona de Huánuco (zona baja) y Pasco (zona media) son suelos franco arenoso que se denomina como suelos ligeros y la zona de Puno (zona alta) se denomina como suelos franco, lo cual indica que es el mejor suelo por una mezcla equilibrada, porque cumple con las proporciones adecuadas para el cultivo de café y es apto para la agricultura.

Romero y Camilo (2019), mencionan en su investigación que las clases texturales se basan en las diversas mezclas de arena, arcilla y limo, los terrenos con textura franca poseen una mezcla equilibrada que sostiene los mejores suelos cafetaleros y que el contenido de partículas llega al suelo mediante la inserción de materia orgánica. López (2021), afirma que los suelos ideales para el cultivo de café son los de textura franca debido a su contenido de materia orgánica y su profundidad.

Inocencio (2022), indica que las texturas vistas resaltan una aptitud física beneficiosa, puesto que las variedades de café necesitan suelos con texturas adecuadas, bien drenados y aireados que promuevan el desarrollo radicular. Además, las proporciones de arena, arcilla y limo son variables espaciales porque responden a procesos que reaccionan en la gestión del suelo.

#### - **Del rango de pH en suelos en cultivos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del rango de pH (Anexo - I, Tabla A1-7), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en esta situación es 1,32734, representa el cociente entre la estimación de las áreas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es mayor o igual a 0,05, no se identifica una diferencia estadísticamente significativa en la media del pH entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-8) no revela las diferencias entre los pares de medias; se han determinado 3 grupos homogéneos en las regiones de Huánuco, Pasco y Puno que no tienen diferencia estadísticamente significativa, puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia efectiva es igual a 0.

Los resultados promedios de pH que presentan las zonas Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se denominan moderadamente ácidos lo cual limita la disponibilidad de nutrientes por lo que se puede decir que influye en la productividad de los cultivos de café y que el pH ideal para los suelos agrícolas generalmente se sitúa entre 6,5 y 7,0 para lograr los mejores resultados en el cultivo de café, dado que poseen un aprovechamiento superior de los nutrientes del suelo que muestran buena producción.

Sadeghian (2021), menciona que un factor que interfiere en la producción de café en diversas áreas es la acidez, ya que en suelos ácidos restringe el desarrollo del sistema radicular, la absorción de agua y nutrientes, lo que lleva a que las plantas produzcan menos. Según (MINAG, 2011), señala que el pH regula la disponibilidad de nutrientes y afecta a los procesos biológicos, dado que la mayoría de las cosechas prosperan en un suelo de 6,0 a 7,0, donde muchos de los nutrientes fundamentales para los cultivos están disponibles.

INIA (2022), reporta que los niveles de pH exigidos para el cultivo de café son óptimos entre 6,5 a 7 lo cual garantizan el adecuado rendimiento de las plantaciones de café.

- **Del rango de Conductividad eléctrica (C.E) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del rango de la C.E (Anexo - I, Tabla A1-9), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, en este caso, que equivale a 16,6165, se obtiene al dividir el estimado de las áreas por las repeticiones. Como el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, se presenta una diferencia estadísticamente significativa en la media de la C.E entre las áreas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que posibilita un análisis de comparaciones múltiples. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-10) muestra las discrepancias entre cada par de promedios; se han identificado 2 grupos homogéneos en la región de Huánuco y Pasco que no presentan diferencias significativas, mientras que en la zona de Puno-Huánuco y Puno-Pasco hay diferencias que son estadísticamente significativas, ya que el riesgo se sitúa en el 5,0% cuando la verdadera diferencia es 0.

Los desenlaces de la conductividad eléctrica (C.E) en las zonas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se les denomina suelos no salinos por lo que carecen de nutrientes (cationes y aniones), ya que la conductividad eléctrica está asociada a la salinidad de los suelos y se conoce que los suelos con valores de conductividad

eléctrica por debajo de 0,1 dS/m indican que son terrenos deficientes en sales y que los posibles factores incluyen la concentración de iones, temperatura, humedad y textura del suelo. Por lo tanto, los parámetros para un suelo superior moderadamente salino en conductividad eléctrica son de 2-3 dS/m.

Vinicio (2014), señala que los valores de concentración eléctrica de 0,34 – 1 dS/m son terrenos bastante deficientes en sales y que la conductividad eléctrica es un elemento fundamental para evaluar la calidad del suelo y su capacidad para mantener la vida vegetal.

**- Del contenido de Materia Orgánica (Nitrógeno, Carbono) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de M.O (Anexo - I, Tabla A1-11), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, en este caso, es 9,43411, que se refiere al resultado del cociente entre el estimador de las áreas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, se detecta una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la M.O en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que permite realizar un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-12) revela las diferencias entre cada par de medias, identificando 2 grupos homogéneos en Pasco y Puno sin diferencias significativas, mientras que en Huánuco-Pasco y Huánuco-Puno existen diferencias estadísticamente significativas dado que hay un riesgo del 5,0% cuando la diferencia real es 0.

**a. Nitrógeno**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de nitrógeno (Anexo - I, Tabla A1-13), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, equivale a 9,45711, es el resultado de dividir el estimado de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa en la media de nitrógeno entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que permite realizar un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-14) revela las diferencias entre cada pareja de medias, identificándose 2 grupos homogéneos en la zona de Pasco y Puno que no muestran variaciones estadísticamente relevantes, en tanto que en la región de Huánuco-Pasco y Huánuco-Puno si hay diferencia estadísticamente significativa puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

## **b. Carbono**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de carbono (Anexo - I, Tabla A1-15), en los componentes de las zonas y repeticiones. El valor-F, en esta instancia es igual a 9,41267, representa el resultado de dividir la estimación de las zonas y repeticiones. Debido a que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de carbono entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que facilita un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-16) muestra las disimilitudes entre cada par de medias, identificándose 2 grupos homogéneos en la región de Pasco y Puno que no tienen diferencia significativa, mientras que en la zona de Huánuco-Pasco y Huánuco-Puno sí hay diferencia estadísticamente significativa puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

Los resultados en la región de Huánuco indican el contenido de materia orgánica y carbono (zona baja), están dentro de los parámetros generales con los valores superiores de 3 a 5 % para una mejora estructura y fertilidad del suelo, por lo tanto en las zonas de Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se refleja que la materia orgánica es menor a los parámetros establecidos ya que están por debajo de los valores establecidos y que los descompuestos que se encuentran en el terreno hace que incremente la materia orgánica lo cual afecta que tengan baja concentración en nitrógeno y carbono. La influencia del contenido varía por el clima, temperatura, sistema de manejo del suelo y que se interpretan de acuerdo a la región y cultivo planteado.

Garza (2020), en su estudio afirma que se recomienda valores superiores a 5 % de materia orgánica, porque benefician las características de los terrenos al llevar a cabo la reutilización de nutrientes que afectan de forma positiva la microflora del suelo y el porcentaje de nitrógeno y carbono si está asociado a la materia orgánica del suelo. Junco (2016), reporta que la distribución de materia orgánica sea nivel alto o bajo está influenciado por las unidades fisiográficas, propiedades del suelo y sus características altitudinales propias de cada lugar y que además estas pueden variar por la cantidad de precipitaciones pluviales.

Litardo (2016), en su estudio sostiene que el nitrógeno del suelo puede perderse, volviéndose así inaccesible para las plantas, principalmente debido a la ausencia de estructura apropiada en el terreno.

- **Del contenido de Fósforo disponible (P) en suelos del café en tres zonas**

Se llevó a cabo el análisis de varianza del contenido de fósforo (Anexo - I, Tabla A1-17) en los elementos de las áreas y las repeticiones. La razón-F, que en este caso es 34,7906, se obtiene al dividir el promedio de las áreas por el número de repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa en la media de fósforo entre las áreas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que permite realizar un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-18) destaca las variaciones entre cada par de medias, identificándose 3 grupos homogéneos en las regiones de Huánuco, Pasco y Puno que presentan diferencias estadísticamente significativas, dado que existe un riesgo del 5,0% cuando la diferencia real es igual a 0.

El nivel de fósforo en las zonas de Huánuco (zona baja) y Puno (zona alta) presentan los parámetros generales con una disponibilidad moderada con los valores de 10 a 20 ppm nivel modernamente, lo cual es un componente fundamental que se presenta en forma de fosfatos y es fundamental para las plantas, siendo indispensable para el desarrollo y la evolución del potencial genético, mientras que en la zona de Pasco (zona media) el contenido de fósforo es muy bajo, probablemente debido al proceso de fijación del fósforo por los minerales arcillosos.

Tilahuan (2022), indica que cuando la concentración de fósforo en el suelo es menor a 10 ppm, la planta de café presenta deficiencias en los sistemas evaluados por la producción continua y la fertilización del cultivador. Sagarpa (2012), indica que la disponibilidad de fósforo varía según el tipo de suelo, el nivel de solubilidad y también está influenciada por la materia orgánica en los suelos, ya que al incrementarse prevalecen los fosfatos orgánicos, lo que resulta en una mayor cantidad de fósforo disponible.

- **Del contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de la varianza del contenido de CIC (Anexo - I, Tabla A1-19), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en esta situación es 3,31988, se obtiene al dividir el valor estimado de las áreas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es igual o superior a 0,05, no hay una diferencia estadísticamente significativa en la media del CIC entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de

confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo I, Tabla A1-20) no muestra las diferencias entre cada par de medias; se han identificado 3 grupos homogéneos en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno que no muestra diferencias estadísticamente relevantes, ya que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

La capacidad de intercambio catiónico en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) no satisface los parámetros establecidos, pues muestra valores inferiores a 5-20 Cmol/kg. De igual manera, la función de la CIC es capturar y soltar iones positivos al suelo y que alcance valores de 20-60 Cmol/kg (nivel medio), ya que está relacionada con una optimización en la composición del terreno, lo que propicia la aireación, la actividad microbiana y la fertilidad del suelo.

Sagarpa (2012), indica que la retención de iones en la superficie de los coloides del suelo es un fenómeno de tipo electrostático y se encuentra en equilibrio con los iones que están en las soluciones del suelo. Asimismo, indica que la materia orgánica contribuye a la CIC de los suelos, especialmente cuando está en un estado avanzado de descomposición.

López (2016), indica que la dinámica de la CIC en los suelos se ve influenciada por el pH y la cantidad de materia orgánica. Asimismo, la CIC está vinculada a la fertilidad, la accesibilidad de nutrientes y la condición del suelo.

#### - **Contenido de Calcio (Ca) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de calcio (Anexo - I, Tabla A1-21), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en esta ocasión es equivalente a 0,606756, representa el cociente entre la estimación de las zonas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es igual o mayor a 0,05, no se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media del calcio entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-22) no revela diferencias entre cada par de medias; se han reconocido 3 grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente significativas, dado que existe un riesgo del 5,0% cuando la diferencia real es igual a 0.

El nivel de calcio en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se encuentra en los rangos de 3-5 Cmol/kg (suelos neutros), y la relación de los nutrientes cambia según el tipo de suelo, el pH y la región analizada.

Fassbender (2022), menciona que el contenido de calcio está influenciado por el pH y el contenido de arcillas que generan cargas positivas que impiden la absorción. Igualmente, los elementos que afectan los nutrientes en el suelo son el régimen híbrido y la actividad biológica, que a su vez depende del pH y la fertilización.

- **Contenido de Magnesio (Mg) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de magnesio (Anexo - I, Tabla A1-23), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que aquí es 0,87701, resulta de dividir la estimación de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es igual o mayor a 0,05, no se observa una diferencia estadísticamente significativa entre la media de magnesio en las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-24) no muestra diferencias entre los pares de medias, se han reconocido 3 grupos homogéneos en la zona de Huánuco, Pasco y Puno que no exhiben diferencias estadísticamente significativas, dado que existe un riesgo del 5,0% cuando la diferencia real es 0.

El contenido de magnesio en Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) es inferior a  $<1$  Cmol/kg (niveles bajos), lo que indica deficiencia y los clasifica como suelos pobres, por lo tanto, varían según la región analizada.

Cooper y Abi-Ghanem (2017), señalan que los macronutrientes (calcio, magnesio) tienen múltiples roles complejos en el crecimiento de las plantas y la eficiencia de los cultivos. Navarro (2003), destaca que el magnesio es el único metal que forma parte de la clorofila, pigmento fundamental para las plantas verdes que realizan la fotosíntesis.

- **Contenido de Potasio (K) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de potasio (Anexo - I, Tabla A1-25), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en esta ocasión es 2.64938, indica la relación entre el estimado de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es igual o mayor que 0,05, no se encuentra una diferencia estadísticamente significativa en la media de potasio entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-26) no revela las discrepancias entre cada par de medias; se han encontrado 3 grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que carecen de diferencia estadísticamente significativa, dado que existe un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

El nivel de potasio en las zonas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se encuentra dentro de los parámetros considerados como suelos moderadamente neutros, dado que el magnesio es un elemento fundamental para las plantas y su acceso puede afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, el contenido cambia según el tipo de suelo, la materia orgánica y el pH de la parcela.

Navarro (2012), indica que el potasio es un nutriente vital y dinámico, que se presenta en la planta en forma iónica, desempeñando un papel crucial al neutralizar los ácidos orgánicos generados durante el metabolismo, lo que ayuda a equilibrar la concentración de hidrógeno en el citoplasma celular. Mientras (Del Rey, 2019), indica que el potasio presente en el terreno se encuentra en distintas formas y mayormente en proporciones inorgánicas, es un macroelemento esencial en los procesos metabólicos y la síntesis proteica de las plantas, y es fundamental en el crecimiento, desarrollo y maduración de los frutos; asimismo, señala que si la vegetación carece de potasio, se presentarán manchas pálidas en las hojas.

#### - **Contenido de Sodio (Na) en suelos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de sodio (Anexo - I, Tabla A1-27), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que aquí equivale a 2.70279, es el resultado de dividir el estimado de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es mayor o igual a 0,05, no se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de sodio entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-28) no revela las diferencias entre cada pareja de medias, se han clasificado 3 grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente significativas, dado que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

El nivel de sodio en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) no están dentro de los parámetros establecidos por lo que se les considera como suelos pobres, el sodio constituye un nutriente vital en el suelo, dado que sus propiedades químicas son las que aseguran la alimentación de las plantas. Así, los suelos con baja salinidad hacen que las plantas experimentan restricciones en su rendimiento, aunque es más común en cultivos que son muy sensibles.

Tang (2021), reporta que el contenido de sodio resalta en su acumulación la salinidad de los suelos, lo que afecta notablemente la sostenibilidad de los sistemas agrícolas,

reduciendo su productividad. Esto se debe a una menor cantidad de nutrientes, una disminución en la disponibilidad de agua en el suelo, el impacto en la microbiota y el aumento de la erosión hídrica. Mientras que (Majeed, 2019), indica que la acumulación de sales puede causar degradación del suelo, resultando en la pérdida de su estructura, lo que lleva a la erosión y a la disminución de la capa arable fértil.

- **Del contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICe) en suelos en cultivos del café en tres zonas**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de CICe (Anexo - I, Tabla A1-29), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, en este caso es igual a 12,6683, se obtiene al dividir el estimado de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de CICe entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que produce un análisis comparativo múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-30) revela las disparidades entre cada par de medias, identificándose 2 grupos homogéneos en las regiones de Huánuco y Pasco que no tienen diferencia significativa, mientras que en la zona de Huánuco-Puno y Pasco-Puno si hay diferencia estadísticamente significativa puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

**a. Hidrógeno**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de hidrógeno (Anexo - I, Tabla A1-33), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en este caso es 0.999648, representa la relación entre el número aproximado de zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es mayor o igual a 0,05, no se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de hidrógeno entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-32) no revela las variaciones entre los conjuntos de medias; se han reconocido 3 grupos homogéneos en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno que no tienen diferencia estadísticamente significativa, puesto que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

**b. Aluminio**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de aluminio (Anexo - I, Tabla A1-31), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, en esta ocasión es 0.544605, indica el cociente de la estimación entre zonas y repeticiones. Debido a que el valor-

P de la prueba-F es igual o superior a 0,05, no se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de aluminio entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - I, Tabla A1-34) no revela las diferencias entre los pares de medias; se han definido 3 grupos homogéneos en Huánuco, Pasco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente significativas, dado que el riesgo es del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

Se nota que la capacidad efectiva de intercambio catiónico en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) se encuentra en niveles muy reducidos de acuerdo con los parámetros definidos, siendo los cationes más relevantes para el desarrollo de las plantas el calcio y el hidrógeno. El contenido de hidrógeno en las zonas Huánuco y Pasco tienen suelos con niveles moderados (ligeramente ácidos), mientras que Puno tiene suelos en niveles bajos (neutro-alcalino). El aluminio en las 3 zonas Huánuco, Pasco y Puno tienen suelos con niveles bajos (neutro-alcalino). De igual manera, el hidrógeno influye en la disponibilidad de nutrientes y en la humedad; no obstante, en suelos ácidos, una parte significativa de los cationes son hidrógenos y aluminio en diferentes formas.

Celis (2020), indica sobre la definición de la CICE se relaciona con la suma de calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio (la contribución del aluminio en la CICE) que ofrecen una estimación apropiada de la toxicidad del aluminio en los suelos.

Cunha (2018), afirma que se requiere una CICE mínima de 7 Cmol/kg para mantener la mayoría de los cationes ante la lixiviación.

#### **4.1.2. Análisis fisicoquímico de los granos pergaminos secos del café**

En la Tabla 13, se muestran el análisis de los resultados promedios de la caracterización fisicoquímica de granos pergaminos secos de café de las 3 zonas Huánuco, Pasco y Puno. Se tienen los valores del % Humedad, % Ceniza, % Proteína, % Materia Seca y % Materia Orgánica.

**Tabla 13.** Resultados promedios de la caracterización fisicoquímica de granos pergaminos secos del café de Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zona</b>	<b>Sector</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Ceniza (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Materia Seca (%)</b>	<b>Materia Orgánica (%)</b>
Huánuco	Magnolia	46,333±0,222 <sup>a</sup>	2,833±0,222 <sup>a</sup>	22,812±0,041 <sup>c</sup>	53,666±0,222 <sup>b</sup>	50,833±0,222 <sup>a</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	50,166±1,555 <sup>b</sup>	3,5±2 <sup>a</sup>	21,062±0,041 <sup>b</sup>	49,833±1,555 <sup>a</sup>	46,333±3,555 <sup>a</sup>
Puno	Quispicanchis	50,830±0,222 <sup>b</sup>	1,833±0,222 <sup>a</sup>	18,5±0,041 <sup>a</sup>	49,166±0,222 <sup>a</sup>	18,5±0,222 <sup>a</sup>

Los valores representan (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices distintos, indican diferencia estadística (p<0,05).

**- Porcentaje de humedad en granos pergaminos secos**

Se realizó el estudio de la variabilidad del contenido de humedad (Anexo - II, Tabla A2-1), en los factores de las zonas y repeticiones. El valor de la razón-F, que en este caso es 11,7963, indica el cociente entre la estimación de las zonas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa en la media de humedad entre las provincias de Huánuco, Pasco y Puno, con un intervalo de confianza del 95,0%, lo que resulta en un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - II, Tabla A2-2) indica las diferencias entre cada par de medias, encontrando 2 grupos homogéneos en Pasco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente significativas, mientras que en Huánuco-Puno y Huánuco-Pasco se observa una diferencia estadísticamente significativa dado un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a cero.

De acuerdo a los resultados, la región de Huánuco (zona baja) presenta un porcentaje de humedad de  $46,333 \pm 0,22$  %, en tanto que Pasco (zona media) mostró valores de  $50,16 \pm 1,55$  %, y la región de Puno (zona alta) tiene el porcentaje más elevado de humedad con  $50,83 \pm 0,22$  %. De forma análoga a los resultados de los granos de Tabasco, que muestran un 46 % de humedad (Rodríguez, 2011), esta cifra supera en 10 puntos porcentuales lo indicado por Acosta (2001).

Martínez y Palacios (2010), encontraron niveles de humedad que oscilan entre 32,85 y 34,93 % en muestras de cacao recién recolectado de Bucaramanga. Jarata (2015), menciona que en relación a la humedad del oro verde y del tostado molido se observa un incremento de la humedad a medida que se aumentan las altitudes analizadas.

**- Porcentaje de ceniza en granos pergaminos secos**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de cenizas (Anexo - II, Tabla A2-7), en los elementos de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en esta ocasión se expresa en 0,915663, representa la relación entre la estimación de las zonas y repeticiones. Dado si el valor-P de la prueba-F es igual o mayor a 0,05, no se detecta una diferencia estadísticamente significativa en la media de ceniza en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, La prueba de Tukey (Anexo - II, Tabla A2-8) no muestra las diferencias entre los pares de medias; se han organizado 3 grupos homogéneos en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente significativas, dado que existe un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia efectiva es igual a 0.

Según los resultados, el porcentaje de ceniza en las zonas de Huánuco (parte baja) contiene  $2,83 \pm 0,22$  %, seguido en la zona de Pasco (zona media) tiene un mayor contenido de cenizas de  $3,5 \pm 2$  % y en la zona de Puno (parte alta) contiene  $1,83 \pm 0,04$  %.

Miranda (2011), informa que ha documentado cifras que superan las 3 zonas de 3,98 a 4,11 %. Según (Perea, 2011), el porcentaje de ceniza debe situarse entre 3,2 y 3,9 % para que se clasifique como granos de alta calidad.

- **Porcentaje de proteína en granos pergaminos secos**

Se realizó el análisis de varianza del contenido proteico (Anexo - II, Tabla A2-9), en los elementos de las zonas y repeticiones. La razón-F, que aquí es 3613,0, indica el cociente de la estimación de las áreas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, se muestra una diferencia estadísticamente significativa en la media de proteína entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un 95,0% de confianza, lo que permite un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - II, Tabla A2-10) revela las diferencias entre cada par de medias, identificándose 3 grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que presentan una diferencia estadísticamente significativa, dado que existe un riesgo del 5,0% cuando la diferencia efectiva es igual a 0.

Según los resultados, las zonas el contenido de proteínas en los granos las zonas de Huánuco (parte baja) presentaron mayor porcentaje de proteína  $22,81 \pm 0,04$  %, seguido en la zona de Pasco (zona media)  $21,06 \pm 0,04$  % y por último la zona de Puno (zona baja) con  $18,5 \pm 0,04$  %.

Acosta (2001), se señala que el valor de  $13,81 \pm 0,20$  % es similar para los granos de cacao de la región de Cumboto, aunque inferior al contenido proteico en Aragua que alcanza el 18,88 %, cifra que excede a las tres localidades (Ortiz de Bertorelli, 2009).

- **Porcentaje de materia seca en granos pergaminos secos**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de materia seca (Anexo - II, Tabla A2-3), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que aquí equivale a 11,7963, es el resultado de dividir el estimado de las zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, se observa una diferencia estadísticamente significativa en el promedio de materia seca entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que da lugar a un análisis comparativo múltiple. La prueba de Tukey (Anexo II, Tabla A2-4) muestra las discrepancias entre cada par de medias, habiéndose hallado

Dos grupos homogéneos en las áreas de Puno y Pasco no presentan diferencias estadísticamente significativas, mientras que en las regiones de Huánuco-Puno y Huánuco-Pasco sí hay diferencias estadísticamente significativas, con un riesgo del 5,0% cuando la diferencia verdadera es igual a 0.

De acuerdo con los resultados, las áreas de Huánuco (zona baja) presentan un mayor porcentaje de materia seca de  $53,66 \pm 0,22$  %, seguido la zona de Pasco (zona media)  $49,83 \pm 1,55$  % y por último la zona de Puno (zona alta) un porcentaje de materia seca de  $49,16 \pm 0,22$  %. La mayor cantidad de materia seca determina un rango establecido para que indique un adecuado contenido de sólidos solubles, sabor equilibrado y complejo para un café de calidad.

Wang (2015), indica la relación de la cantidad de sólidos solubles que contribuyen a la intensidad y complejidad del sabor del café a través del valor de la materia seca, que influye en la calidad y que es esencial para obtener la mejor calidad con un sabor equilibrado y complejo.

#### - **Porcentaje de materia orgánica en granos pergamino secos**

Se realizó el análisis de varianza del contenido de materia orgánica (Anexo - II, Tabla A2-5), en los componentes de las zonas y repeticiones. La razón-F, que aquí es igual a 1.05552, representa el cociente entre la estimación de las zonas y repeticiones. Dado si el valor-P de la prueba-F es 0,05 o mayor, no se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de materia orgánica entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de Tukey (Anexo - II, Tabla A2-6) no muestra las divergencias entre los pares de medias; se han detectado 3 conjuntos homogéneos en las áreas de Huánuco, Pasco y Puno que carecen de diferencias estadísticamente significativas, ya que el riesgo es del 5,0%, cuando la diferencia real es 0.

De acuerdo a los resultados, las zonas de Huánuco (zona baja) presentan un mayor porcentaje de materia orgánica de  $50,833 \pm 0,22$ , seguido la zona de Puno (parte alta) con  $47,33 \pm 0,22$  y por último Pasco (zona media) un porcentaje de  $46,33 \pm 3,55$  por lo cual el porcentaje de materia orgánica se relaciona con la composición química del café, que incluye la presencia de compuestos que aportan al sabor y aroma, además la altitud también influye en la intensidad del sabor.

Vaast (2005), menciona que el café que se cultiva a mayor altitud tiende a poseer más características favorables, como acidez, cuerpo y aroma, lo que a su vez define un

sabor y calidad superiores de la bebida, De manera similar, la altitud afecta la evaluación de la calidad física, sensorial y los compuestos bioquímicos del café.

#### **4.2. Cuantificación de la concentración de cadmio en suelos y granos pergaminos secos del café**

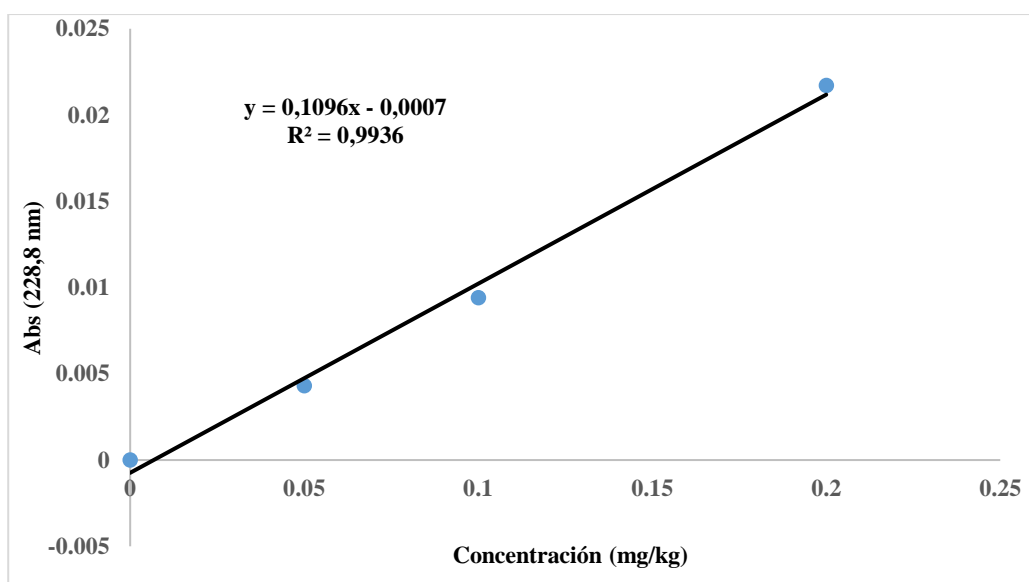
Para realizar el análisis estadístico mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA) y la aplicación de la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), es crucial evaluar antes si la variable dependiente sigue una distribución normal. Por lo tanto, en el (Anexo - V, Tabla A5-1), (Anexo - V, Tabla A5-2), (Anexo - V, Tabla A5-3), (Anexo - V, Tabla A5-4), (Anexo - V, Tabla A5-5) y (Anexo - V, Tabla A5-6) se muestran las tablas de resumen estadísticos para Cadmio (Cd) en el suelo y grano pergamino en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno. Los valores estadísticos que se sitúan fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones relevantes en comparación con la normalidad, por lo tanto, el Sesgo Estandarizado para Cadmio (Cd) en el suelo con valores de -1,03086 (Huánuco), 0,914531 (Pasco) y -0,6613 (Puno), para el grano pergamino con valores de -0,995204 (Huánuco), -0,122517 (Pasco) y -1,14713 (Puno) se hallan dentro del intervalo previsto para los datos que provienen de una distribución normal. Así mismo, se calculó la prueba de Shapiro-Wilk que se basa en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos y que, dado que el valor-P más bajo de las pruebas efectuadas es mayor o igual a 0,05, por lo que no es posible rechazar la hipótesis de que el Cadmio (Cd) en el suelo y en grano pergamino de las 3 zonas provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

##### **4.2.1. Cuantificación de la concentración de cadmio en suelos del café**

Para realizar la cuantificación de cadmio, se realizó una curva utilizando patrones de cadmio con concentraciones de 0,05; 0,1; 0,2 mg/mL; Los resultados se muestran En la Tabla 14 y en la Figura 3, donde se puede ver el gráfico de dispersión de las absorbancias, obteniendo una ecuación matemática con dos variables y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9936$ .

**Tabla 14.** Determinación de la curva estándar de cadmio.

Concentraciones mg Cd/mL	Absorbancia (228,8 nm)			
	R1	R2	R3	Promedio
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,0042	0,0044	0,0043	0,0043
0,1	0,0095	0,0094	0,0095	0,0094
0,2	0,0217	0,0216	0,0218	0,0217

**Figura 3.** Curva estándar para la cuantificación de cadmio.

En la Tabla 15, se presentan los resultados promedios de la concentración de Cadmio en los suelos de café en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta) y Puno con una menor concentración de Cadmio con  $0,015 \pm 0,001$ , Igualmente, las concentraciones de suelos en las 3 zonas presentan niveles reducidos de Cadmio, inferiores a lo establecido según la Comisión de la Unión Europea, las concentraciones máximas totales permitidas de Cadmio en suelos agrícolas es 3,00 mg/kg.

**Tabla 15.** Resultados promedios del análisis de cadmio en los suelos.

<b>Zona</b>	<b>Sector</b>	<b>Concentración de cadmio (mg/kg)</b>
Huánuco	Magnolia	0,047±0,004 <sup>b</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	0,086±0,001 <sup>c</sup>
Puno	Quispicanchis	0,015±0,001 <sup>a</sup>

Los valores indican (promedio ± SEM, n=3) valores de una misma fila con superíndices diferentes, señalan diferencias significativa ( $p < 0,05$ ).

Se llevó a cabo el análisis de varianza del contenido de cadmio (Anexo - III, A3-1) en los componentes de las zonas y repeticiones. El valor de la razón-F, que en este caso es 328,680, se obtiene al dividir el estimado de las zonas entre el de las repeticiones. Si el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa en la media de cadmio entre las zonas de Huánuco, Pasco y Puno, con un 95,0% de confianza, lo que resulta en llevar a cabo un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - III, A3-2) demuestra las diferencias entre cada par de medias, señalando 3 grupos homogéneos en Huánuco, Pasco y Puno que muestran una diferencia estadísticamente relevante, con un riesgo del 5,0% cuando la diferencia real es cero.

Aguirre (2022), reporta que el cadmio en grandes cantidades causa daños a las plantas, pero no cantidades aceptadas que están por debajo de los límites permisibles, por lo tanto, los suelos donde se realizan las plantaciones deben tener un promedio de cadmio de 0,53 mg/kg de lo contrario, se estaría incurriendo en una contaminación de tipo antropogénica, De tal manera, se ha considerado que los metales pesados en los suelos no deben exceder un promedio de 0,8 kg/mg para evitar el estrés oxidativo en las plantas.

Galán y Romero (2008), señalan que el cadmio y el plomo en los suelos pueden entrar de manera antropogénica por medio de efluentes mineros, abonos y desechos sólidos. Hay metales que son más comunes y afectan el suelo, como el cadmio (Cd), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el cobre (Cu), que son dañinos incluso en pequeñas concentraciones (Carpeta y Bernal, 2007).

García (2002), muestran que las propiedades del suelo son esenciales para disminuir o aumentar la toxicidad de los metales pesados en las capas del suelo, así como su disponibilidad, que está determinada por factores como las características inherentes del metal y las propiedades del suelo. Cárdenas (2009), indica que en los terrenos con agricultura ecológica de la región de Huánuco se encontraron niveles más altos de cadmio en el suelo (1,82 y 1,63 mg/kg). La captación de cadmio en las raíces compete directamente con otros nutrientes como calcio, magnesio y potasio, ya que pueden ser tomados por las mismas proteínas transportadoras (Benavides, 2005).

Covarrubias y Peña (2017), sostienen que dado que la concentración en el foliar, que es la parte aérea, supera la cantidad total de cadmio en el suelo, puede ser vista como un tipo de acumulador de cadmio y otros metales pesados. De acuerdo con (Mendoza, 2008), la planta frutal presenta una mayor acumulación de cadmio total en sus raíces, y las plantas que poseen un mayor nivel de metales pesados en sus raíces son clasificadas como fitoestabilizadoras, debido a su capacidad de retener los contaminantes en las raíces, lo que reduce su transporte hacia otras estructuras.

Pavesi y Suqueira (2002), aseguran que la descontaminación del suelo por metales pesados se puede lograr mediante el uso de métodos de ingeniería, tales como: remoción, lavado o aprovechamiento del suelo en la mezcla para la construcción de capas asfálticas y a través de la fitorremediación que incluye el uso de métodos biológicos y químicos.

#### **4.2.2. Cuantificación de la concentración de cadmio en granos pergaminos secos del café**

En la Tabla 16, se exponen los promedios de concentración de Cadmio en granos pergaminos secos de café en las regiones de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta), En la región de Pasco se observó el nivel más alto de Cadmio con  $0,694 \pm 0,025$  mg/kg, seguida por la región de Puno con  $0,484 \pm 0,068$  mg/kg y Huánuco con una menor concentración de Cadmio con  $0,184 \pm 0,03$ , Del mismo modo, las concentraciones de granos pergaminos en las tres zonas revelan niveles elevados de Cadmio que superan lo indicado por el Codex Alimentarius que establece que los granos pergaminos las máximas concentraciones totales permitidas de Cadmio es 0,05 mg/kg, mientras que para Plomo es 0,10 mg/kg.

**Tabla 16.** Resultados promedios del análisis de cadmio en los granos pergaminos secos.

<b>Zona</b>	<b>Sector</b>	<b>Concentración de cadmio (mg/kg)</b>
Huánuco	Magnolia	0,184±0,033 <sup>a</sup>
Pasco	Anexo el Oconal	0,694±0,025 <sup>c</sup>
Puno	Quispicanchis	0,484±0,068 <sup>b</sup>

Los valores muestran (promedio ± SEM, n=3) en una misma fila con diferentes superíndices, lo que indican variación estadística (p<0,05).

Se realizó el análisis de varianza del contenido de cadmio (Anexo - III, A3-3), en los elementos de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en este caso es 51,6775, representa el resultado de dividir el valor calculado de zonas y repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es menor a 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa en la media de cadmio entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que resulta en un análisis de comparaciones múltiples. La prueba de Tukey (Anexo - III, A3-4) muestra las variaciones entre cada par de medias, identificándose 3 grupos homogéneos en la región de Huánuco, Pasco y Puno que presentan una diferencia estadísticamente significativa, dado que hay un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia efectiva es igual a 0.

Prieto (2009), indica en su investigación acerca del contenido de cadmio en granos de café, fue de 0,15 mg/kg y 0,11 mg/kg, por lo que señala que los suelos contienen cadmio proveniente en su mayoría de actividades antropogénicas, aplicación de fertilizantes sintéticos que acumulan y bioacumulan en el suelo por ser no biodegradables. Mientras (Menchaca, 2020), contribuye que el suelo por la fertilización con insumos sintéticos y por empleo de herbicidas han generado el incremento los niveles de cadmio que fueron asimilados y translocados hasta los cerezos de café.

Bertiol y Ghini (2011), indican que la cantidad de metales pesados varía entre diferentes tejidos vegetales, y en general los granos tienen concentraciones más bajas que las partes vegetativas de la planta cultivada. Según (Matés, 2010), los metales pesados actúan como agentes contaminantes para los seres humanos, provocando efectos negativos en

la salud, incluyendo un grave deterioro de las funciones hepáticas y neurológicas, así como carcinogénesis y mutagénesis.

Dejud (2022), menciona investigaciones previas que muestran que las plantas de café pueden concentrar cadmio en sus raíces y hojas; no obstante, Al evaluar su translocación hacia los granos, la concentración de cadmio es reducida, puesto que en el grano de café existen varios ácidos orgánicos que favorecen la creación de quelatos con el cadmio, siendo estos quelatos moléculas grandes y de menor biodisponibilidad, lo que complica la absorción del grano.

Alvarez (2021), señala que el cacao y el café son percibidos como un lujo, por lo que se están implementando directrices que garantizan la seguridad del grano, convirtiéndose las concentraciones de metales pesados como el cadmio y el plomo en una cuestión de salud pública. De acuerdo con (Angulo, 2021), El reglamento Número 488/2014 de la Unión Europea establece un límite de 0,8 mg/kg para la concentración de Cadmio y de 2,00 mg/kg para el Plomo en productos que incluyan materia seca de café o cacao exceda el 50% de su peso; cualquier cifra superior a este umbral impedirá que dichos productos accedan al mercado europeo (UE, 2014).

Arguello (2019), indica que la reciente regulación sobre el cadmio en el chocolate amenaza la viabilidad de la producción de cacao en el suroeste de América. Como respuesta, se realizó en Ecuador un estudio a nivel nacional para establecer la distribución espacial de cadmio en los granos de cacao, así como los factores del suelo y agronómicos relacionados.

#### **4.3. Cuantificación de la concentración de plomo en suelos y granos pergamino secos del café**

Para realizar el análisis estadístico mediante el Diseño Completo al Azar (DCA) y aplicar la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), es crucial evaluar antes si la variable dependiente sigue una distribución normal. Por lo tanto, en el (Anexo - VI, Tabla A6-1), (Anexo – VI, Tabla A6-2), (Anexo – VI, Tabla A6-3), (Anexo – VI, Tabla A6-4), (Anexo – VI, Tabla A6-5) y (Anexo – VI, Tabla A6-6) se muestran las tablas de resumen estadísticos para Plomo (Pb) en el suelo y en grano pergamino en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno. Los valores estadísticos que se sitúan fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones relevantes en comparación con la normalidad, por lo tanto, el Sesgo Estandarizado para Plomo (Pb) en el suelo con valores de

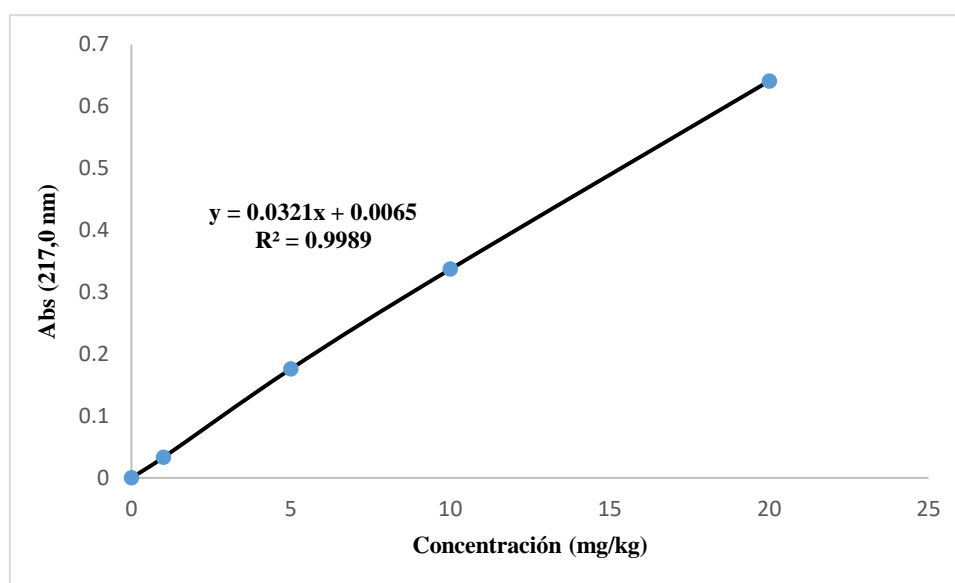
0,87296 (Huánuco), 0,437519 (Pasco) y 0,331485 (Puno), para el grano pergamino con valores de -1,19812 (Huánuco), -107586 (Pasco) y -1,18476 (Puno) se hallan dentro del intervalo previsto que provienen de una distribución normal. Así mismo, se calculó la prueba de Shapiro-Wilk que se basa en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos y que, dado que el valor-P más bajo de las pruebas efectuadas es mayor o igual a 0,05, por lo que no es posible rechazar la hipótesis de que el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb) en el suelo y en grano pergamino de las 3 zonas provienen de una distribución normal con un 95% de confianza.

#### 4.3.1. Cuantificación de la concentración de plomo en suelos del cafeto

Para cuantificar el plomo, se realizó una curva utilizando patrones de plomo con concentraciones de 1; 5; 10; 20 mg/mL; Los resultados están En la Tabla 17 y en la Figura 4, donde se presenta el gráfico de dispersión de las absorbancias, lo que da lugar a una ecuación de dos variables con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9989$ .

**Tabla 17.** Determinación de la curva estándar de plomo.

Concentraciones mg Pb/mL	Absorbancia (217.0 nm)			
	R1	R2	R3	Promedio
0.000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,0325	0,0327	0,0326	0,033
5	0,1759	0,1758	0,1759	0,176
10	0,3368	0,3367	0,3368	0,337
20	0,6406	0,6405	0,6407	0,641



**Figura 4.** Curva estándar para la cuantificación de plomo.

En la Tabla 18, se muestran los resultados promedio de la concentración de Plomo en suelos de café en las regiones de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta), En la zona Pasco se obtuvo la mayor cuantificación de Plomo con  $21,966 \pm 1,050$  mg/kg, seguido la zona de Puno con  $15,104 \pm 2,167$  mg/kg y Huánuco con una menor concentración de Plomo con  $12,068 \pm 0,255$ , De igual manera, las concentraciones en los suelos de las 3 zonas revelan niveles bajos de Plomo, por debajo de lo sugerido por la Unión Europea, que fija un límite máximo autorizado de 300 mg/kg para las concentraciones totales de Plomo en el suelo.

**Tabla 18.** Resultados de los promedios del análisis de plomo en los suelos.

Zona	Sector	Concentración de plomo (mg/kg)
Huánuco	Magnolia	$12,068 \pm 0,255^a$
Pasco	Anexo el Oconal	$21,966 \pm 1,050^b$
Puno	Quispicanchis	$15,104 \pm 2,167^a$

Los valores indican (promedio  $\pm$  SEM, n=3) en una misma fila con distintos superíndices, sugieren una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Se realizó el análisis de varianza del contenido de plomo (Anexo - IV, A4-1) en los elementos de las zonas y repeticiones. La razón-F, que en este caso es 19,3899, se determina como el cociente entre el estimador de áreas y las repeticiones. Dado que el valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, se observa una diferencia estadísticamente significativa en la media de plomo entre las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un nivel de confianza del 95,0%, lo que posibilita llevar a cabo un análisis de comparaciones múltiples. La prueba de Tukey (Anexo - IV, A4-2) se presentan las variaciones entre cada par de medias, se han detectado 2 grupos homogéneos en las zonas de Huánuco y Puno que no presentan diferencias estadísticamente relevantes, mientras que en las regiones de Pasco-Huánuco y Pasco-Puno se observan diferencias estadísticamente relevantes dado que existe un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia real es igual a 0.

Martín (2000), indica que al exceder los niveles aceptables de metales pesados en el suelo generan impactos inmediatos como la limitación del crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, un desajuste funcional en otros componentes del entorno, y

la reducción de las poblaciones microbianas en el suelo. Simultáneamente (Mejía, 2017), señala que metales pesados como cobre, arsénico, cadmio y plomo pueden alcanzar concentraciones que ocasionan efectos nocivos en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, tales como la reducción de la materia orgánica, cambios en el pH creando suelos ácidos, amplias variaciones de temperatura y la difusión de contaminantes hacia áreas y acuíferos cercanos, lo que incrementa la susceptibilidad de las plantas a enfermedades y plagas.

Freitas (2004), se informa que los metales pesados generan su toxicidad al estar disponibles, por lo que deben ser absorbidos por la raíz; así, el metal biodisponible está vinculado a las condiciones fisicoquímicas del entorno, que influyen en la especiación y concentración del metal.

Buendía (2014), indica en su investigación que el Plomo (Pb), al realizar la fitorremediación con girasol y la cantidad de plomo absorbido, exhibe un rango de 21,03 a 26,09 mg/kg, cifras comparables a las alcanzadas en este estudio, cuyo valor es 21,96 mg/kg. La distinción se encuentra en que en su investigación se emplearon sustancias auxiliares para potenciar la absorción de plomo, tales como humus de lombriz, aserrín de bolaina blanca y perlita blanca.

Pesca (2015), indica que en los cultivos se usan frecuentemente grandes cantidades de abonos orgánicos, agroquímicos y plaguicidas. Según (Ramírez, 2014), los plaguicidas, pesticidas y fertilizantes se observan como prácticas de uso excesivo tanto en volumen como en frecuencia de aplicación, lo que incrementa la posibilidad de detectar metales pesados en suelos, agua y alimentos.

Assa (2018), indica que los hallazgos de su estudio sobre la cuantificación de plomo variaron entre 0,0902 y 0,0905 mg/kg, los cuales se relacionan con la investigación que identificó metales pesados en almendras de cacao tras el proceso de fermentación. De acuerdo con (Purga, 2006), en un estudio alternativo se determinó que las fluctuaciones en los niveles de cadmio y plomo no son afectadas por la manipulación durante la recolección y el secado, sino que se atribuyen a factores como el agua y los tipos de suelo, el uso de productos agrícolas o el uso de combustibles. Así mismo los metales pesados se encuentran en la litosfera como resultado de actividades humanas y que esta problemática puede surgir por la incineración de desechos sólidos urbanos, aplicación de lodos residuales en la agricultura, uso de agroquímicos o fertilizantes orgánicos sin compostar.

Aminayan (2018), señala que hay investigaciones orientadas a resolver la polución provocada por metales pesados en el suelo mediante técnicas que emplean plantas capaces de absorber y concentrar metales pesados; este proceso se conoce como “fitorremediación”, una técnica que aprovecha la capacidad de las plantas cultivadas en un suelo contaminado, las cuales pueden ser cosechadas, incineradas o compostadas.

Rodríguez (2013), indica que China sufrió una grave contaminación por metales pesados, lo que resultó en que aproximadamente 600 millones de personas estuvieran en alto riesgo por el contacto con el agua, lo que representa el 70% de los recursos hídricos de la nación. Por ese motivo, el Ministerio de Protección Ambiental y el Ministerio de Recursos Naturales publicaron los resultados del estudio sobre la contaminación del suelo, donde se detectaron altos niveles de estos metales en productos como verduras, carnes, cereales, leche, granos y agua, superando los límites permitidos.

#### 4.3.2. Cuantificación de la concentración de plomo en granos pergaminos secos del café

En la Tabla 19, se pueden observar los resultados promedio de la concentración de Plomo en granos de café con pergamino secos en las áreas de Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta), En la zona Puno se obtuvo la mayor cuantificación de Plomo con  $1,510 \pm 0,292$  mg/kg, seguido la zona de Pasco con  $1,328 \pm 0,172$  mg/kg y Huánuco con una menor concentración de Plomo con  $0,349 \pm 0,066$ , Las concentraciones de granos pergaminos en las 3 zonas también evidencian niveles elevados de Plomo que superan lo establecido por el Codex Alimentarius, lo que señala que las concentraciones totales máximas permitidas de Plomo en granos pergaminos es de 0,10 mg/kg.

**Tabla 19.** Resultados promedios del análisis de plomo en los granos pergaminos secos.

Zona	Sector	Concentración de plomo (mg/kg)
Huánuco	Magnolia	$0,349 \pm 0,066^a$
Pasco	Anexo el Oconal	$1,328 \pm 0,172^b$
Puno	Quispicanchis	$1,510 \pm 0,292^b$

Los valores representan (promedio  $\pm$  SEM, n=3) valores de su misma fila con distintos superíndices, indican diferencia estadística ( $p < 0,05$ ).

Se realizó el análisis de varianza del contenido de plomo (Anexo - IV, A4-3) en los elementos de las áreas y repeticiones. La razón-F, que en esta situación es 17,9692, se obtiene al dividir el estimado de las zonas por el de las repeticiones. El valor-P de la prueba-F es inferior a 0,05, lo que sugiere una diferencia significativa, desde el punto de vista estadístico, en la media de plomo en las regiones de Huánuco, Pasco y Puno, con un 95,0% de confianza, lo que permite realizar un análisis de comparación múltiple. La prueba de Tukey (Anexo - IV, A4-4) muestra las variaciones entre cada conjunto de medias, se identificaron 2 grupos homogéneos en las regiones de Pasco y Puno que no tienen diferencias estadísticamente importantes, en las zonas de Huánuco-Pasco y Huánuco-Puno se observa una diferencia estadísticamente significativa con un riesgo del 5,0%, cuando la diferencia verdadera es igual a 0.

Mego y Pintado (2019), indican que realmente los niveles de metales pesados son similares a otros estudios, encontrando contenido de Plomo menor a 0,19 mg/kg en granos, borra y bebida. Durante su investigación, Adler (2019), afirma que los niveles de metales pesados no superaron los límites permitidos, en el caso del plomo, los niveles tampoco excedieron los máximos, lo que podría explicarse por las buenas prácticas agrícolas adoptadas por los productores, transportando en contenidos de plomo que no comprometen la calidad del café; no obstante, en los granos de café sembrados en el distrito de Hermilio Valdizán de Huánuco y en la región de San Martín, los niveles de plomo sí sobrepasaron los límites permitidos, por lo que (Aguirre, 2022), indica que el café producido en la provincia de Jaén no muestra niveles de metales pesados que afectan la calidad, lo cual se puede comprobar en las 20 marcas de café tostado y molido que se venden en Jaén.

Puerta (2017), indica que las concentraciones de algunos elementos como el cadmio, el plomo y el arsénico tienden a crecer con la altitud. No obstante, el tipo de terreno afecta las variaciones en los minerales del café, especialmente en lo que respecta a los niveles de plomo y cadmio. Según (Pintado, 2019), los granos secos tienen una concentración más alta de cadmio y plomo en comparación con los granos tostados, y la variedad Catimor muestra niveles que exceden el límite máximo definido por el Reglamento Técnico MERCOSUR.

Mundaca (2017), en su estudio demuestra que los niveles de cadmio y plomo presentaron una disminución en el siguiente orden: granos frescos 0,379, granos oro

verde 0,288, granos tostados 0,228, café tostado molido 0,109 y bebida 0,000 mg/kg; en este contexto, estos últimos estarían por debajo de los límites máximos fijados por la MERCOSUR. De manera similar, los estudios muestran concentraciones parecidas de minerales en granos de oro, verdes y en granos tostados.

Pohl (2013), indica que la altura y la variedad del café afectan los niveles de plomo encontrados, debido a factores como el tipo de tierra, la gestión de las plantaciones (aplicación de herbicidas, fungicidas, aditivos y fertilizantes) y que la transformación de los granos de café verde son cruciales y tienen un impacto en la salud, seguridad y calidad del café obtenido en las diferentes regiones.

#### **4.4. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la concentración de cadmio y plomo en suelos y granos pergamino secos del café**

##### **4.4.1. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la concentración de cadmio en suelos y granos pergamino secos del café**

Los resultados muestra la correlación para cadmio (Cd) en los suelos y granos pergamino secos se muestran en las pruebas de tablas de contingencia (Anexo - VII, Tabla A7-1), La clasificación de concentración está asociada a las zonas y diferentes altitudes como Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta), Así mismo el nivel de significación de 0,05 el  $X^2$  (calculado)  $< 5,99$  se acepta  $H_0$  (Hipótesis nula), por lo que el desarrollo de la prueba según la fórmula el valor obtenido es de 0,056.

De esta manera, se puede afirmar que la medición de la concentración de cadmio en el suelo y en el grano pergamino seco en relación a las áreas es independiente.

Inocencio (2022), señala que el pH, sobre todo en casos de variaciones bajas, es un parámetro del suelo que está influenciado por procesos de formación, cualidades inherentes y el historial de manejo; así, los valores promedio de pH a lo largo del gradiente altitudinal analizado generalmente disminuyen de la (zona media) a la (zona alta), lo que concuerda con lo señalado por (Olivares, 2020), quien menciona que el pH disminuye con la altitud hasta los 3000 msnm, y a partir de ese punto podría observarse un comportamiento inverso.

Wilcke (2008), afirma que los niveles de cadmio no se verían significativamente influenciados por la altitud y la variedad de café estudiada, en tanto que los

niveles de plomo sí son afectados por la altitud y las variedades analizadas, ya que muestran diferencias en ambos casos, sin embargo (Havlin, 2010), señala que en ningún caso los indicadores del suelo afectan al plomo y cadmio, salvo el 1% de arena que, debido a su composición química, no justificaría los elevados niveles de plomo hallados.

#### **4.4.2. Correlación de los pisos altitudinales en la cuantificación de la concentración de plomo en suelos y granos pergaminos secos del café**

Los resultados de la correlación para plomo (Pb) en los suelos y granos pergaminos secos se muestran en las pruebas de tablas de contingencia (Anexo - VII, Tabla A7-2), La clasificación de concentración está asociada a las zonas y diferentes altitudes como Huánuco (zona baja), Pasco (zona media) y Puno (zona alta), Así mismo el nivel de significación de 0,05 el  $X^2$  (calculado)  $<5,99$  se acepta  $H_0$  (Hipótesis nula), por lo que el desarrollo de la prueba según la fórmula el valor obtenido es de 0,532.

Por lo tanto, se puede afirmar que la calificación de la concentración de plomo entre el suelo y el grano pergamino seco con respecto a las zonas son independientes.

Florida (2022), indica que las características físicas son indicios del nivel de deterioro de los suelos, al examinar según la textura y los criterios de clasificación de la FAO (2009), los suelos se categorizan como de clase textural franca (zona baja) y (zona media), así como franco arcilloso (zona alta), lo que indica una conexión con las cantidades de arena y limo, que son en gran medida consecuencia de las variaciones espaciales, afectan la absorción de metales pesados, ya que son resultados de procesos de caracterización, sin importar el manejo del suelo.

Puerta (2017), señala que el tipo de suelo afecta las variaciones de los minerales del café, particularmente en las concentraciones de plomo y cadmio.

Sánchez (2016), comunica que la alta absorción en suelos se debe a un elevado porcentaje de materia orgánica, con texturas finas, mayor capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de aluminio intercambiable; así, la solubilidad de estos metales pesados en el suelo incrementa el pH y también se vincula con características específicas como su forma química, concentración del elemento en el suelo y tipo de suelo. Por lo tanto (Aracil, 2011), indica que los metales pesados y sus compuestos pueden desplazarse por el suelo, se adhieren firmemente a la materia orgánica donde permanecerán en reposo en el suelo y serán

asimilados por la fauna vegetal, eventualmente accediendo al suministro alimenticio e iniciando el proceso de bioacumulación en la cadena trófica.

Barraza (2017), señala que los niveles de cadmio y plomo están presentes en la capa superior del suelo (0-20 cm) de profundidad. Según (Granero, 2002), los contenidos de cadmio y plomo en suelos no contaminados varían entre 0,07 y 1,1 mg/kg, en comparación con los suelos contaminados en Japón, que fluctúan entre 1 y 69 mg/kg; así, la presencia de metales pesados en suelos permite su absorción por las raíces de las plantas a través del riego.

## V. CONCLUSIONES

De la investigación realizada, considerando los resultados y objetivos planteados, se llega a la conclusión:

- Los suelos estudiados poseen una textura Franco-Arenoso para la zona baja (Huánuco), y media (Pasco), Franco (Puno) para la zona alta, en cuanto al pH se tuvo: pH moderado ligeramente ácido, C.E baja no salina, M.O niveles bajos medios, para P disponible muy bajo para la zona de Pasco, altos para la zona Huánuco-Puno, CIC bajos, Ca moderado alcalino, Mg, Na y K bajos y CICE bajos. Para granos pergamino secos de café los indicadores presentan la determinación de su calidad, optimización del proceso y potencialidad para la producción de café en alta calidad del producto final.
- En los suelos cafetaleros estudiados, la concentración de cadmio en la zona baja (Huánuco), media (Pasco) y alta (Puno) están dentro de los valores permitidos por la normativa establecida la Unión Europea. En granos pergamino secos del café la concentración de cadmio no está dentro de los niveles permisibles establecidos por el Codex Alimentarius.
- En los suelos cafetaleros estudiados, la concentración de plomo en la zona baja (Huánuco), media (Pasco) y alta (Puno) están dentro de los valores permitidos por la normativa establecida la Unión Europea. En granos pergamino secos del café la concentración de plomo no está dentro de los niveles permisibles establecidos por el Codex Alimentarius.
- Estadísticamente no existe correlación significativa entre los pisos altitudinales y las zonas de producción de Huánuco (zona baja) altitud de 1198 msnm, Pasco (zona media) altitud de 1480 msnm y Puno (zona alta) altitud 1610 msnm con la absorción de cadmio y plomo en suelos y granos pergamino secos del café.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Proponer a los estudiantes hacer estudios de caracterización fisicoquímica de suelo con diferentes profundidades de (0-5 cm, 0-10 cm y 0-20 cm) para hallar si existe una mayor concentración de metales pesados.
- Incentivar a los caficultores líderes a realizar un estudio de suelo de las parcelas de cultivo de café y determinar el grado de fertilidad para una mejor producción.
- Que los caficultores por medio de las entidades privadas cumplan con los estándares establecidos por las normativas sobre los niveles máximos permisibles para garantizar los estándares de calidad, proteger la salud del productor y consumidor.
- Evaluar los probables efectos del procesamiento de postcosecha en el secado, tostado y molido en la disminución de la concentración de cadmio y plomo a niveles aceptables tanto en taza o en bebida.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. (2001). Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño. Tesis, Universidad de la Salle.
- Adler, A. (2019). Concentrations of selected metals (NA, K, CA, MG, FE, CU, ZN, AL, NI, PB, CD) in coffee. *Slovenian Journal of Public Health*, 58(4), 187-193.  
<https://doi.org/10.2478/sjph-2019-0024>.
- Aguirre, S. (2022). “Estudio de los metales contenidos en aire, agua y sedimentos en un área urbano-rural con influencia industrial ubicada en la Zona Metropolitana de Puebla, México”. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 256 pp.
- Alvarado, C. (2005). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) durante el proceso de beneficiado. *Pro Sciences*, 3(26), 17-23.  
doi:10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp17-23.
- Alvarez, A. (2021). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola*. Miranda. 10 (1): 76-87.
- Aminayan, O. (2018). Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar La Contaminación.
- Angulo, C. (2021). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg). *Mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión*. Universidad Militar Nueva Granada, 172-197.
- AOAC. International. Official Method 974.27–Natural mineral waters. En: AOAC International, *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg: AOAC International; 1998.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis*. En línea: AOAC (<http://img.21food>).
- Aracil, E. (2011). Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 8, 100245.

- Assa, J. (2018). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>.
- Barraza, J. (2017). Organic amendments in the immobilization of cadmium in contaminated agricultural soils: A review. In *Informacion Tecnologica* (Vol. 31, Issue 4, pp. 139–152). Centro de Informacion Tecnologica. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>.
- Benavides, J. (2005). “Seguridad Alimentaria y control de cadmio en alimentos, siete puntos que explican lo que está pasando”. Centro Tecnológico AINIA.
- Berttiol, C. & Ghini, M. (2011). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437-441. doi:10.21931/RB/2017.02.04.5.
- Buendía, C. (2014). Relationship between pH and nutrient availability for cocoa in an entisol of the Colombian Amazon. *Corpoica Agricultural Science and Technology* 18(3): 529-541.
- Canet, L. (2016). Toma de muestras y recomendaciones de fertilización en cultivos tropicales [en línea]. S.l.: AGROBANCO. [Consulta: 17 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/039-a- tropicales.pdf>.
- Cardenas, D. (2009). “Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L. expuestas a la toxicidad por plomo” Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 129 pp.
- Celis, R. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. UNEMI. Vol. 13, N° 33. pp. 01 – 09. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1022/1089>.
- CODEX STAN 141-1983, Emendada. (2016). Norma para el cacao es pasta y torta de cacao. En línea: [www.codexalimentarius.org/input/.../standards/69/CXS\\_141s\\_2014.pdf](http://www.codexalimentarius.org/input/.../standards/69/CXS_141s_2014.pdf), 28 abr 2015).
- Condeso, S. & Huaraca, C. (2018). Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica*) de la zona de Jaén durante el periodo febrero – julio 2018”. Tesis para optar el título profesional de químico farmacéutico.

- Facultad de Farmacia y Bioquímica Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica. Universidad Norbert Wiener. Perú.
- Cooper, H. & Abi-Ghanem, N. (2017). Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Cortina, M. (2013). Efectos del consumo de café sobre la salud. *Medisur*, 19(3),492–205.
- Covarrubias, S. & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 33:7–21. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>.
- Cunha, S. (2018). Atributos químicos en físicos no solo en áreas son diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13–24. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>.  
<https://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/4951>.
- Da Silva, S. (2017). Determinación de metales pesados en los granos de café tostado y molido y en la infusión. *Revista Africana de Investigación Agrícola*, 12(4), 221-228.
- Dejud, S. (2022). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1), 150-154. doi:10.21704/rea.v5i1-2.329.
- Del Águila, E. (2017). Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao, frescos, secos y en licor de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tingo María, Huánuco: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Del Rey, I. (2019). Las formas del potasio en el suelo. <https://www.tiloom.com/formas-del-potasio-en-el-suelo/>.
- Duicela, F. (2014). Calidad en taza y caracterización de color de las hojas jóvenes de 22 variedades de café – Proyecto especial del programa ingeniero agrónomo, Zamorano – Honduras.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Guide for soil description 4th Edition. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>.
- Fassbender, H. (2022). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica. IICA.

- Florida, J. (2022). Análisis correlacional de los rendimientos del sector cafetalero y el crecimiento económico del Ecuador. Perspectiva antes y después de la pandemia.
- Fontagro, O. (2019). Cadena Agroproductiva de Papa. Manejo y Fertilidad de Suelos. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima. [En línea]: (<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manualesboletines/papa/manejo>).
- Freitas, J. (2004). Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Universidad, ciencia y tecnología*. 10:2459-262.
- Galán, E. & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla* (10):48–60.
- García, E. (2002). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Revista Colombiana de Nefrología*, 5(1), 43. <https://doi.org/10.22265/acnef.5.2.254>.
- Garza, R. (2020). Concentration of cadmium in water, sediments, eichhornia crassipes and pomacea canaliculata in the Guayas (Ecuador) river and tributaries. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(3), 623–640. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.09>.
- Granero, A. (2002). Niveles de concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el suelo, hojas y almendras de ocho clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Jardín Interclonal de la Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Haswel, R. (2000). “Técnicas Agrícolas y producciones tropicales”. París, Francia. Editorial Blume. Primera Edición.
- Havlin, L. (2010). Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 6ta ed. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey-USA. 499 p.
- ICO [International Coffee Organization]. (2018). Aspectos Botánicos. [http://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp?section=Acerca\\_del\\_caf%E9](http://www.ico.org/es/botanical_c.asp?section=Acerca_del_caf%E9).
- INIA [Instituto Nacional de Innovación Agraria]. (2022). Manual del cultivo de café en el VRAEM. 1° Edición. Lima-Perú. 50p. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/1625/1/Manual%20del%20cultivo%20de%20caf%C3%A9%20en%20el%20VRAEM.pdf>.

- Inocencio, N. (2022). Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en plantación de *Theobroma cacao* en Padre Abad, Ucayali, Perú. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 25(2):e2320. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2320>.
- Jarata, R. (2015). Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products. *Food Control*, 65, 46-53.
- Julca, A. (2010). Informe de colecta de germoplasma de café en el Perú. 38 p. UNALM-FDA-Café Perú-FINCyT. Lima, Perú.
- Junco, C. (2016). Evaluación de la distribución geoespacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos de la microcuenca Rio Bella Distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas. [Tesis de pregrado, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Conservación de Suelos y Agua]. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.
- Kumasi, C. (2015). Tesis: Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Majeed, A. (2019). Salinity: A Major Agricultural Problem-Causes, Impacts on Crop Productivity and Management Strategies. En M. Hasanuzzaman, K. Hakeem, K. Nahar, y H. Alharby (Eds.), *Plant Abiotic Stress Tolerance* (83-99). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_3).
- Martín, C. (2000). Absorción y acumulación de metales pesados en trece especies vegetales en suelos enmenados con lodos depurados. *Environmental biotechnology and engineering* 1-13.
- Martínez, A.; & Palacios, C. (2010). Incidencia de los procesos de beneficiado y factores ambientales en la calidad de café, producido en el departamento de Jinotega, para realizar propuesta de delimitación geográfica de una denominación de origen y/o indicación geográfica en este departamento. Tesis de titulación de la universidad nacional de Ingeniería. Lima – Perú.

- Matés, J. (2010). Contaminación y fitotoxicidad en las plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>.
- Mego, R., & Pintado, M. (2019). Determinación del nivel de concentración de cadmio en granos y esencia de café (*Coffea arabica* L.), en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio. [Tesis de pregrado en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/46?mode=full>.
- Mejía, F. (2017). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 10:29-44.
- Menchaca, C. (2020). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú* 2018; 33(1): 63–75.
- Mendoza, G. (2008). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. doi:10.18684/BSAA(14)145-153.
- MERCOSUR. (2018). Límites Máximos de Contaminantes Inorgánicos en Alimentos.
- MIDAGRI. (2022). Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú. [En línea]. Exportaciones en Alza. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/647409-peru-es-el-primer-productor-y-exportador-mundial-de-cafe-organico-junto-con-etiofia>.
- MINAG. (2011). Ministerio de Agricultura y Riego/ Disponible en: <https://www.gob.pe/midagri>.
- Miranda, T. (2011). Curso de métodos espectrométricos atómicos: ICP-OES e ICP-MS, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Chihuahua México.
- Mundaca, Y. (2017). Evaluación de cadmio en granos de café, café tostado molido y esencia de café (*Coffea arabica* L.) procedentes de fincas manejadas convencionalmente, en el distrito San Ignacio, Cajamarca, campaña 2020. [Tesis de pregrado en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ.

[https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/104/1/Mundaca\\_RYM\\_Huam%C3%A1n\\_GJS.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/104/1/Mundaca_RYM_Huam%C3%A1n_GJS.pdf).

- Navarro, B. (2012). Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* 4(01): 690-697.
- Nava G. (2011). “El cultivo y beneficiado del café”. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a distancia San José. Primera edición.
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487p.  
Obtenido de Grupo Mercado Común:  
<http://www.loa.org.ar/legNormaDetalle.aspx?id=17410>.
- Litardo, E. (2016). “La Agricultura Convencional Del Cultivo De Cacao Y Su Efecto En La Erosión Del Suelo Agrícola Versus Bosque Primario En Jauneche - Ecuador. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu>.
- López, E. (2021). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.7 no.3 Texcoco abr./may. 2016, 1-10.
- Olivares, S. (2020). Evaluación De Los Defectos De Calidad De Café Variedad Arábica (*Coffea Arabica*) Y Robusta (*Coffea Canephora*) Mediante Visión Artificial.
- Ortiz de Bertorelli, B. (2009). The influence of taxonomy and environment on leaf trait variation along tropical abiotic gradients. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 18. doi: 10.3389/ffgc.2020.00018.
- Pavesi, M., & Suqueira, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Peña, J. (2017). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestra de café procedente del Ecotopo en Colombia. *Cenicafé*. 119-131pp.
- Perea, C. (2011). Evaluación del incremento de las exportaciones de café peruano a Alemania debido a la certificación orgánica (2014 –2019). Repositorio Académico, [Tesis de pregrado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Pesca, C. (2015). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2-3), 72-80. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>.

- Pintado, B. (2019). Quantification of K, Ca, Mg y P minerals in coffee (*Coffea arabica* L. var. Typica) pulp and parchment. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 221–230. <http://www.rvcta.org>.
- Pohl, A. (2013). Determinación de la Composición Elemental del Café mediante Métodos Instrumentales. *Food Anal. Methods* 6:598–613).
- Prieto, A. (2009). Biomonitoring of heavy metals in water, sediments, plants and fish of the Ganges river at different trophic levels. *BiolTrace Elem Res*, 536-547.
- Puerta, G. (2017). Composición química de elementos minerales en café verde y tostado, con relación a suelos y altitud. *Revista Cenicafé* 68(2):28-60. 2017.
- Purga, K. (2006). Determinación de la calidad del agua del Río Caldera, Boquete, Chiriquí. *Ciencia y Práctica*, 2(3). <https://doi.org/10.52109/cyp2022321>.
- Quimis, A. (2024). Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. [Tesis de pregrado]. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Reyes, E & Gonzales, A. (2016). La calidad en el cacao. Factores determinantes de la calidad. En línea: CENIAP (<http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd61/calicac.html>, 19 abr.2015).
- Rodríguez, A. (2013). “El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo”, *Anales de la Facultad de Medicina*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Romero, A. & Camilo, J. (2019). Manual de producción sostenible de café. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?Sequence=1>.
- Saeed, W. (2019). Determinación del contenido de cambio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la Región San Martín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 39-49. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87il.321>.
- Sadeghian, S. (2021). Acidez del suelo para el cultivo de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3.<sup>a</sup> ed., pp. 95-99). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_6](https://doi.org/10.38141/10791/0014_6).

- Sagarpa, R. (2012). Manejo de suelos utilizando indicadores de calidad de suelo. Nicaragua. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Nacional Agraria. Managua. Guía técnica 120 p.
- Sanchez, H. (2016). Taxonomía y clasificación del café. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_07](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07).
- Sánchez, V. & Barrón, A. (2016). Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfil de sabor de comercial. Tesis Ing. Agrónomo. Quevedo, Ecuador. Universidad Tecnica estatal de Quevedo. 93 p.
- Tang, H. (2021). Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*, 101(1), 62-73. <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0018>.
- Tilahun A. (2022). Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 8, 100245.
- UE (Union Europea). (2006). Reglamento (UE) 2021/1317. Modifica el Reglamento (CE) 1881/2006 en lo relativo a los contenidos máximos de plomo en determinados productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea. L 286/1-4. <https://www.boe.es/doue/2021/286/L00001-00004.pdf>
- UE (Unión Europea). (2014). Informe General sobre la actividad de la Unión Europea fue adoptado por la Comisión Europea el 24 de febrero de 2017 con el número COM (2017) 1289.
- Vaast, B. (2005). Date of harvest and altitude influence bean characteristics and beverage quality of (*Coffea arabica*) in intensive management conditions. *Hort Science* In press.
- Velásquez, G. (2020). Defectos y vicios del café que se origina o manifiestan en el beneficiado. In Cleves S. R. Eds. *Tecnología en Beneficiado de Café*. San José, C.R. 15-21 pp.
- Vinicio, C. (2014). Caracterización físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos en la zona de riego del proyecto multipropósito Chone. IX CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPE. Obtenido de [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HrgR4b8K5\\_8J:https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/download/87/85+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HrgR4b8K5_8J:https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/download/87/85+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec).

- Wang, X. (2015). Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 247–254. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00027-9>.
- Wilcke, J. (2008). Soils along the altitudinal transect and in catchments. In *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador* (pp. 75-85). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-73526-7\_9.

**ANEXOS**

## ANEXO – I

**Tabla A1-1.** ANVA del contenido de Arena en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	294.0	2	147.0	49.00	0.0002
Repetición	18.0	6	3.0		
Total (Corr.)	312.0	8			

**Tabla A1-2.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Arena en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Puno	3	49.0	X
Pasco	3	60.0	X
Huánuco	3	62.0	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-3.** ANVA del contenido de Arcilla en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	78.0	2	39.0	23.40	0.0015
Repetición	10.0	6	1.66667		
Total (Corr.)	88.0	8			

**Tabla A1-4.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Arcilla en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Huánuco	3	12.6667	X
Pasco	3	14.6667	X
Puno	3	19.6667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-5.** ANVA del contenido de Limo en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>			
Zonas	80.2222	2	40.1111		5.23	0.0484
Repetición	46.0	6	7.66667			
Total (Corr.)	126.222	8				

**Tabla A1-6.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Limo en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Pasco	3	25.3333	X
Huánuco	3	25.3333	X
Puno	3	31.6667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-7.** ANVA para el pH en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>			
Zonas	1.05536	2	0.527678		1.33	0.3332
Repetición	2.38527	6	0.397544			
Total (Corr.)	3.44062	8				

**Tabla A1-8.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey para el pH en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Huánuco	3	4.73333	X
Pasco	3	5.1	X
Puno	3	5.57	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-9.** ANVA para la C.E en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	0.0760667	2	0.0380333	16.62	0.0036
Repetición	0.0137333	6	0.00228889		
Total (Corr.)	0.0898	8			

**Tabla A1-10.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey para la C.E en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos</b>
			<b>Homogéneos</b>
Pasco	3	0.07	X
Huánuco	3	0.0733333	X
Puno	3	0.266667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-11.** ANVA para M.O en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	4.71349	2	2.35674	9.43	0.0140
Repetición	1.49887	6	0.249811		
Total (Corr.)	6.21236	8			

**Tabla A1-12.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey para M.O en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Pasco	3	2.5	X
Puno	3	2.84	X
Huánuco	3	4.17667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-13.** ANVA del contenido de Nitrógeno (N) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	0.011834	2	0.005917	9.46	0.014
Repetición	0.003754	6	0.00062567		
Total (Corr.)	0.015588	8			

**Tabla A1-14.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Nitrógeno en las zonas de Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Pasco	3	0.125	X
Puno	3	0.142	X
Huánuco	3	0.209	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-15.** ANVA del contenido de Carbono (C) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	1.58538	2	0.792691	9.41	0.0141
Repetición	0.505292	6	0.0842153		
Total (Corr.)	2.09067	8			

**Tabla A1-16.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Carbono (C) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Pasco	3	1.45033	X
Puno	3	1.64733	X
Huánuco	3	2.42267	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-17.** ANVA del contenido de Fósforo (P) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de		Cuadrado		
	Cuadrados	Gl	Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	459.565	2	229.783	34.79	0.0005
Repetición	39.6284	6	6.60473		
Total (Corr.)	499.194	8			

**Tabla A1-18.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Fósforo (P) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Pasco	3	3.554	X
Puno	3	12.3927	X
Huánuco	3	21.0573	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-19.** ANVA del contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de		Cuadrado		
	Cuadrados	Gl	Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	28.8597	2	14.4299	3.32	0.1070
Repetición	26.079	6	4.34651		
Total (Corr.)	54.9388	8			

**Tabla A1-20.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de CIC (capacidad de intercambio catiónico) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Pasco	3	0	X
Huánuco	3	0	X
Puno	3	3.79867	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-21.** ANVA del contenido de calcio (Ca) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	1.81954	2	0.909771	0.61	0.5755
Repetición	8.99642	6	1.4994		
Total (Corr.)	10.816	8			

**Tabla A1-22.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Calcio (Ca) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Huánuco	3	3.129	X
Puno	3	3.586	X
Pasco	3	4.22533	X

\* indica una diferencia significativa.

**Tabla A1-23.** ANVA del contenido de Magnesio (Mg) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	0.0387582	2	0.0193791	0.88	0.4630
Repetición	0.132461	6	0.0220769		
Total (Corr.)	0.17122	8			

**Tabla A1-24.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Magnesio (Mg) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Huánuco	3	0.35	X
Puno	3	0.479333	X
Pasco	3	0.497333	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-25.** ANVA del contenido de Potasio (K) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	0.0292327	2	0.0146163	2.65	0.1497
Repetición	0.0331013	6	0.0055169		
Total (Corr.)	0.062334	8			

**Tabla A1-26.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Potasio (K) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Huánuco	3	0.21	X
Puno	3	0.314667	X
Pasco	3	0.342333	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-27.** ANVA del contenido de Sodio (Na) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	0.00589089	2	0.00294544	2.70	0.1456
Repetición	0.00653867	6	0.00108978		
Total (Corr.)	0.0124296	8			

**Tabla A1-28.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Sodio (Na) en las Zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Huánuco	3	0.0956667	X
Pasco	3	0.105	X
Puno	3	0.154	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-29.** ANVA del contenido de CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	33.3771	2	16.6885	12.67	0.0070
Repetición	7.90407	6	1.31735		
Total (Corr.)	41.2812	8			

**Tabla A1-30.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Puno	3	1.14533	X
Huánuco	3	4.619	X
Pasco	3	5.646	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-31.** ANVA del contenido de Hidrógeno (H) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>		<b>Cuadrado</b>		
	<b>Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	159.395	2	79.6976	1.00	0.4220
Repetición	478.354	6	79.7257		
Total (Corr.)	637.75	8			

**Tabla A1-32.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Hidrógeno (H) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Puno	3	0.1	X
Huánuco	3	0.336667	X
Pasco	3	9.14333	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A1-33.** ANVA del contenido de Aluminio (Al) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado</b>		
	<b>Cuadrados</b>		<b>Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Zonas	0.105073	2	0.0525364	0.54	0.6063
Repetición	0.578803	6	0.0964671		
Total (Corr.)	0.683876	8			

**Tabla A1-34.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Aluminio (Al) en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Pasco	3	0.242667	X
Puno	3	0.31	X
Huánuco	3	0.498	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

## ANEXO II

**Tabla A2-1.** ANVA del contenido de Humedad en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	35.3889	2	17.6944	11.8	0.0083
Repetición	9	6	1.5		
Total (Corr.)	44.3889	8			

**Tabla A2-2.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido Humedad en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Huánuco	3	46.3333	X
Pasco	3	50.1667	X
Puno	3	50.8333	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A2-3.** ANVA del contenido de Ceniza en pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	4.22222	2	2.11111	0.92	0.4497
Repetición	13.8333	6	2.30556		
Total (Corr.)	18.0556	8			

**Tabla A2-4.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Ceniza en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Puno	3	1.83333	X
Huánuco	3	2.83333	X
Pasco	3	3.5	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A2-5.** ANVA del contenido de Proteína en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de		Cuadrado		
	Cuadrados	Gl	Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	28.2266	2	14.1133	3613.00	0.0000
Repetición	0.0234375	6	0.00390625		
Total (Corr.)	28.25	8			

**Tabla A2-6.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Proteína en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Puno	3	18.5	X
Pasco	3	21.0625	X
Huánuco	3	22.8125	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A2-7.** ANVA del contenido de Materia Seca en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de		Cuadrado		
	Cuadrados	Gl	Medio	Razón-F	Valor-P
Zonas	35.3889	2	17.6944	11.80	0.0083
Repetición	9.0	6	1.5		
Total (Corr.)	44.3889	8			

**Tabla A2-8.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Materia Seca en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Puno	3	49.1667	X
Pasco	3	49.8333	X
Huánuco	3	53.6667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A2-9.** ANVA del contenido de Materia Orgánica en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
	<b>Cuadrados</b>		<b>Medio</b>		
Zonas	48362.0	2	24181.0	1.06	0.4048
Repetición	137454.	6	22909.0		
Total (Corr.)	185816.	8			

**Tabla A2-10.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido Materia Orgánica en granos pergaminos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Pasco	3	46.3333	X
Puno	3	47.3333	X
Huánuco	3	202.333	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

## ANEXO III

**Tabla A3-1.** ANVA del contenido de Cadmio (Cd) en los suelos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	0.00759622	2	0.00379811	328.680	0.000
Repetición	6.93333E-05	6	1.15556E-05		
Total (Corr.)	0.00766556	8			

**Tabla A3-2.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Cadmio (Cd) en los suelos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Puno	3	0.0156667	X
Huánuco	3	0.047	X
Pasco	3	0.0866667	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A3-3.** ANVA del contenido de Cadmio (Cd) en granos pergaminos secos de café en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	0.393301	2	0.19665	51.68	0.0002
Repetición	0.022832	6	0.0038053		
Total (Corr.)	0.416133	8			

**Tabla A3-4.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Cadmio (Cd) en granos pergaminos secos de café en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Huánuco	3	0.184933	X
Puno	3	0.484467	X
Pasco	3	0.694367	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

## ANEXO IV

**Tabla A4-1.** ANVA del contenido de Plomo (Pb) en los suelos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	154.252	2	77.1262	19.39	0.0024
Repetición	23.8659	6	3.97765		
Total (Corr.)	178.118	8			

**Tabla A4-2.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Plomo (Pb) en los suelos en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Zonas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Huánuco	3	12.0687	X
Puno	3	15.1047	X
Pasco	3	21.966	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

**Tabla A4-3.** ANVA del contenido de Plomo (Pb) en granos pergaminos secos de café en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Zonas	2.44444	2	1.22222	17.97	0.0029
Repetición	0.408106	6	0.0680177		
Total (Corr.)	2.85255	8			

**Tabla A4-4.** Pruebas significativas (HSD) de Tukey del contenido de Plomo (Pb) en granos pergaminos secos de café en las zonas Huánuco, Pasco y Puno.

<b>Zonas</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Huánuco	3	0.349333	X
Pasco	3	1.32833	X
Puno	3	1.54833	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

## ANEXO V

**Tabla A5-1.** Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Huánuco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.047
Desviación Estándar	0.0052915
Coefficiente de Variación	11.26%
Mínimo	0.041
Máximo	0.051
Rango	0.01
Sesgo Estandarizado	-1.03086
Curtosis	
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A5-2.** Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.0866667
Desviación Estándar	0.00208167
Coefficiente de Variación	2.40%
Mínimo	0.085
Máximo	0.089
Rango	0.004
Sesgo Estandarizado	0.914531
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A5-3.** Resumen estadístico para Cadmio en suelos en la zona de Puno para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.0156667
Desviación Estándar	0.00152753
Coeficiente de Variación	9.75%
Mínimo	0.014
Máximo	0.017
Rango	0.003
Sesgo Estandarizado	-0.6613
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A5-4.** Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos secos en la zona de Huánuco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd en granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.184933
Desviación Estándar	0.0441906
Coeficiente de Variación	23,90%
Mínimo	0.135
Máximo	0.219
Rango	0.084
Sesgo Estandarizado	-0.995204
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A5-5.** Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos secos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd en granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.694367
Desviación Estándar	0.0371707
Coefficiente de Variación	5.35%
Mínimo	0.6565
Máximo	0.7308
Rango	0.0743
Sesgo Estandarizado	-0.122517
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A5-6.** Resumen estadístico para Cadmio en granos pergaminos secos en la zona de Puno para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Cd granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.484467
Desviación Estándar	0.0898974
Coefficiente de Variación	18.56%
Mínimo	0.3814
Máximo	0.5467
Rango	0.1653
Sesgo Estandarizado	-1.14713
Curtosis Estandarizada	

## ANEXO VI

**Tabla A6-1.** Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Huánuco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	12.0687
Desviación Estándar	0.343442
Coeficiente de Variación	2.85%
Mínimo	11.789
Máximo	12.452
Rango	0.663
Sesgo Estandarizado	0.87296
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A6-2.** Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	21.966
Desviación Estándar	1.48298
Coeficiente de Variación	6.75%
Mínimo	20.598
Máximo	23.542
Rango	2.944
Sesgo Estandarizado	0.437519
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A6-3.** Resumen estadístico para Plomo en suelos en la zona de Puno para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en suelos</b>	
Recuento	3
Promedio	15.1047
Desviación Estándar	3.10093
Coeficiente de Variación	20.53%
Mínimo	12.18
Máximo	18.356
Rango	6.176
Sesgo Estandarizado	0.331485
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A6-4.** Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos secos en la zona de Huánuco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	0.349333
Desviación Estándar	0.0862342
Coeficiente de Variación	24.69%
Mínimo	0.25
Máximo	0.405
Rango	0.155
Sesgo Estandarizado	-1.19812
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A6-5.** Resumen estadístico para Plomo o en granos pergaminos secos en la zona de Pasco para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	1.32833
Desviación Estándar	0.226844
Coefficiente de Variación	17.08%
Mínimo	1.07
Máximo	1.495
Rango	0.425
Sesgo Estandarizado	-1.07586
Curtosis Estandarizada	

**Tabla A6-6.** Resumen estadístico para Plomo en granos pergaminos secos en la zona de Puno para una Distribución Normal.

<b>Resumen Estadístico de Pb en granos pergaminos</b>	
Recuento	3
Promedio	1.54833
Desviación Estándar	0.380997
Coefficiente de Variación	24.61%
Mínimo	1.11
Máximo	1.8
Rango	0.69
Sesgo Estandarizado	-1.18476
Curtosis Estandarizada	

## ANEXO VII

**Tabla A7-1.** Pruebas con tabla de contingencia para Cadmio en suelos y granos pergaminos secos del café.

	<b>Concentración de Cadmio (mg/Kg)</b>		
	Suelo	Pergamino	Total
Huánuco	0.047	0.184	0.231
Pasco	0.086	0.694	0.78
Puno	0.015	0.484	0.499
Total	0.148	1.362	1.51

**Tabla A7-2.** Pruebas con tabla de contingencia para Plomo en suelos y granos pergaminos secos del café.

	<b>Concentración de Plomo (mg/Kg)</b>		
	Suelo	Pergamino	Total
Huánuco	12.068	0.349	12.417
Pasco	21.966	1.328	23.294
Puno	15.104	1.548	16.652
Total	49.138	3.225	52.363



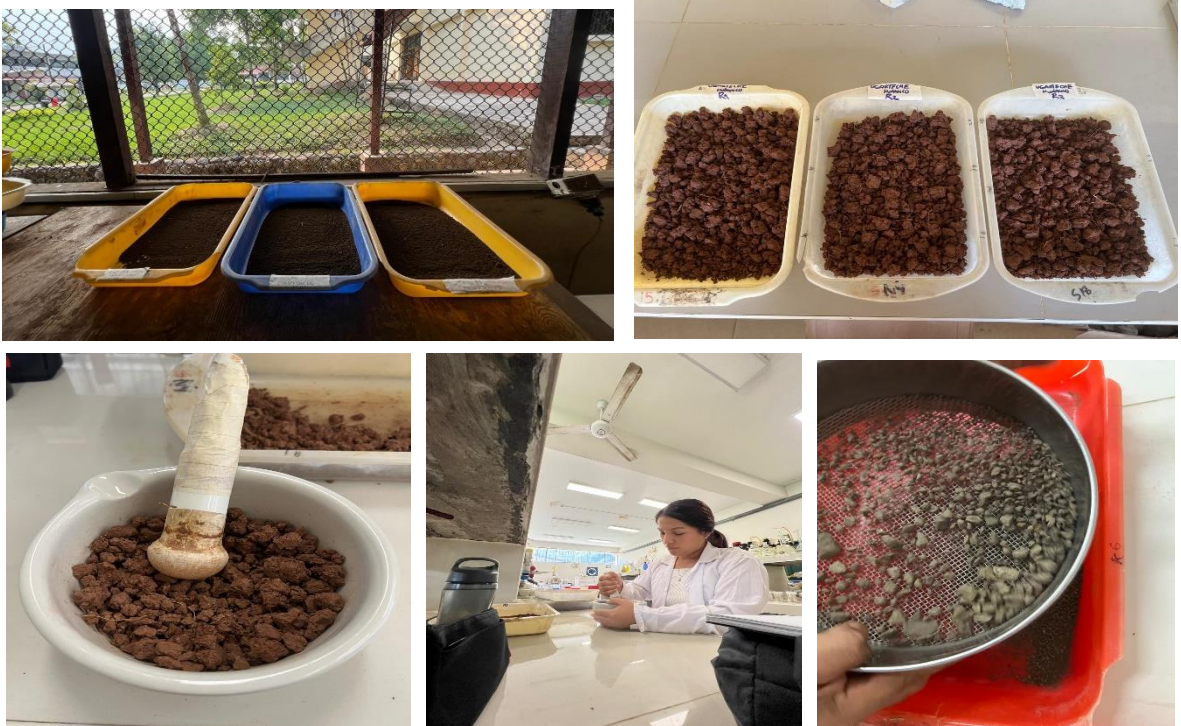
**Figura 5.** Selección del terreno y georeferenciación de las 3 zonas del cultivo del cafeto.



**Figura 6.** Muestreo aleatorio de suelos.



**Figura 7.** Recolecta de cerezos frescos del café.



**Figura 8.** Acondicionamiento de la muestra, molienda y tamizado de suelos.



**Figura 9.** Acondicionamiento y molienda de la muestra de granos pergaminos de café.



**Figura 10.** Caracterización físico – química en suelos del cafeto.



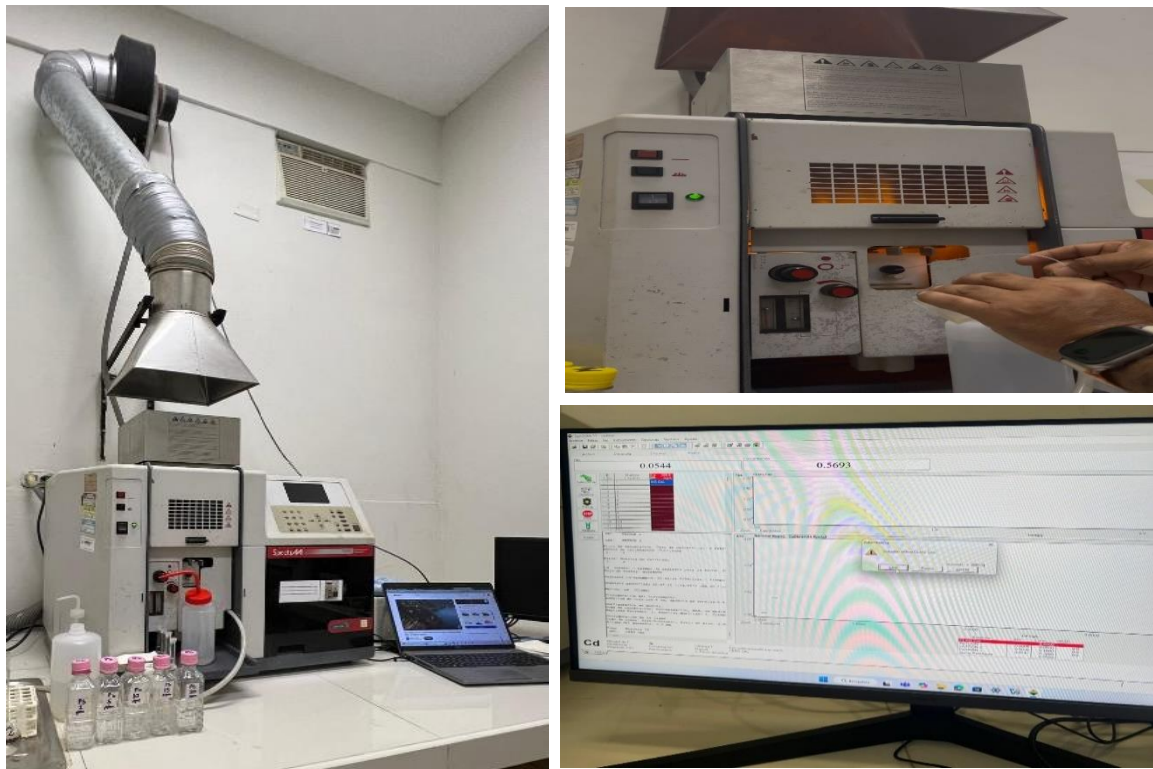
**Figura 11.** Caracterización físico – química en granos pergaminos del café.



**Figura 12.** Preparación de la digestión para la determinación de cadmio y plomo.



**Figura 13.** Diferentes etapas de análisis, filtrado y enraizado de cadmio (Cd) y plomo (Pb).



**Figura 14.** Lectura de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) de las muestras digeridas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama (F-AAS).





# ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	JOSELIN MIRIAM OLIVERA LEDESMA	FECHA DE REPORTE:	d.C.2024年4月12日
MUESTRA:	GRANOS DE CAFE	RECIBO N°	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

Código del Laboratorio	Código del Solicitante	Referencia	CADMIO Cd (mg/Kg)	PLOMO Pb (mg/Kg)	HUMEDAD (%)	MATERIA SECA (%)	MATERIA ORGANICA (%)	CENIZA (%)	PROTEINA (%)
E24-232-1	PUN R1	Quispicanchis	0.5467	1.800	51.00	49.0000	47.5000	1.5000	18.5625
E24-232-2	PUN R2	Quispicanchis	0.5253	1.735	50.50	49.5000	47.5000	2.0000	18.4375
E24-232-3	PUN R3	Quispicanchis	0.3814	1.110	51.00	49.0000	47.0000	2.0000	18.500
E24-232-4	PAS R1	Anexo el Oconal	0.6565	1.420	49.50	50.5000	48.5000	2.0000	21.125
E24-232-5	PAS R2	Anexo el Oconal	0.7308	1.495	48.50	51.5000	49.5000	2.0000	21.0625
E24-232-6	PAS R3	Anexo el Oconal	0.6958	1.070	52.50	47.5000	41.0000	6.5000	21
E24-232-7	HCO R1	Magnolia	0.2008	0.405	46.50	53.5000	51.0000	2.5000	22.875
E24-232-8	HCO R2	Magnolia	0.219	0.250	46.50	53.5000	50.5000	3.0000	22.75
E24-232-9	HCO R3	Magnolia	0.135	0.393	46.00	54.0000	51.0000	3.0000	22.8125

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

VND: VALOR NO DETECTADO - MENOR AL LIMITE DE DETECCION 0.002

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

*H. Alvarado*

Dr. HUGO ALFREDO HUANANI YUPANQUI  
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGÍA



Figura 16. Análisis fisicoquímico y concentración de Cd y Pb en granos pergaminos secos del café en las 3 zonas.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**FAAS**, Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama.

**FAO**, La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

**ICP-MS**, Espectroscopía de Masas Plasma de Acoplamiento Inductivo.

**OMC**, Organización Mundial del Comercio.

**OMS**, Organización Mundial de la Salud.

**NM**, Niveles máximos.

**NMA**, Niveles máximos admisibles.

**CIC**, Capacidad de Intercambio Catiónico.

**CICe**, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

**MERCOSUR**, Mercado Común del Sur.

**MP**, Metales pesados.

**LMP**, Límites máximos permisibles.

**ANOVA**, Análisis de varianza.

**NECAFE**, Asociación Nacional de Exportadores de Café.