

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS

NATURALES



Tesis

Evaluación de la concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) en la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

Asesora:

Dra. Soto Carrión, Carolina.

Autores:

Espinoza Mendoza, Heydy Amely

Arenas Rivera, Ersslint José

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac - Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 27 días del mes de agosto del 2025, siendo las 10:30 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0181-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 18 de agosto del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Pimentel Maldonado Waldir
Dictaminante :	Mg. Vargas Amiquero Milagros Carolina
Replicante :	Mg. Ramos Ascue Juan Diego

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la concentración de Metales pesados en cultivares de Persea americana (Palto) y Citrus sinensis (Naranja) en la quebrada Oroyopampa, Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **Espinoza Mendoza Heydy Amely**

Br.: **Arenas Rivera Ersslint José**

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: **Unanimidad**

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Espinoza Mendoza Heydy Amely	Aprobado
Arenas Rivera Ersslint José	Aprobado

Siendo las 12:20 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **MG. Pimentel Maldonado, Waldir**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

.....
(Firma)

Dictaminante: **Mg. Mg. Vargas Amiquero Milagros Carolina**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

.....
(Firma)

Replicante: **Mg. Ramos Ascue, Juan Diego**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

.....
(Firma)

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o

Ersslint Jose Arenas Rivera

Evaluación de la concentración de metales pesados en cultivares de Persea americana (Palto) y Citrus sinensis (Nara...

 CON DEPOSITO

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::3117:518891219

Fecha de entrega
27 oct 2025, 12:29 GMT-5

Fecha de descarga
27 oct 2025, 12:40 GMT-5

Nombre del archivo
Evaluación de la concentración de metales pesados en cultivares de Persea americana (Palto) y C....pdf

Tamaño del archivo
35.3 MB

302 páginas

56.567 palabras

253.459 caracteres




12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y Nombres	:	Espinoza Mendoza, Heydy Amely
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	74212113
URL ORCID	:	https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0006-0683-9570
Apellidos y Nombres	:	Arenas Rivera, Ersslint Jose
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	71414849
URL ORCID	:	https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-7740-308X
Datos del asesor		
Apellidos y Nombres	:	Dra. Soto Carrión, Carolina
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	31011917
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-5200-5768
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2024-2025
Fuente de financiamiento	:	Dirección de investigación
Porcentaje de similitud	:	12%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Al imponente nevado Ausangate, mi padrino, mi guía, mi apoyo inquebrantable, gracias por estar siempre presente en cada paso de mi vida. A mi familia, mi roca, mi sostén, gracias por ser el pilar de mi formación profesional. A mi madre, Edith Amalia Mendoza Enciso, por tu amor incondicional, tu sacrificio, tu inspiración que son la fuerza que me mueve.

A mi padrino, Señor de Pampahuaylla Mayor, por su guía, protección e inspiración. Al Señor de Socllaccasa, por su amor y apoyo que nos permitieron alcanzar esta meta. A mis familiares, por apoyarme de manera incondicional.

Agradecimientos

Desde el corazón, agradecemos profundamente a nuestra asesora a la Dra. Carolina Soto Carrión por su invaluable guía, apoyo y paciencia a lo largo de este proceso. Su experiencia y dedicación fueron más que fundamentales; fueron el faro que nos iluminó en momentos de duda y nos impulsó a seguir adelante. Sin su constante apoyo, este trabajo no habría sido posible.

De igual manera, expresamos nuestra más sincera gratitud al Dr. Carlos Marín R., profesor de estadística y biometría de la Universidad Central de Venezuela. Su colaboración en el análisis estadístico fue esencial; no solo por su conocimiento experto, sino también por su disposición a compartirlo con tanta claridad y paciencia. Su orientación fue crucial para comprender a profundidad los resultados de nuestra investigación.

Resumen

La investigación ha tenido como objetivo evaluar la concentraciones de metales pesados en los subsistemas ambientales; agua, suelo y tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) en la quebrada Oroyapampa, Apurímac, Perú (2024-2025), para lo cual se analizó tres subsistemas ambientales, agua de riego del río Chalhuanca, suelo agrícola de la quebrada oroyapampa, y tejido vegetal (raíces y tallos) de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranja) Se utilizó un método cuantitativo y experimental, con análisis en laboratorio acreditados por INACAL, como instrumento se utilizó los informes de los laboratorio, por las características del área se tomó en cuenta muestras probabilísticas de tipo sistemático siguiendo los protocolos para las muestras; se tomaron 6 muestras de suelo agrícola, 6 muestras de agua de riego y 4 muestras de tejido vegetal.

Los resultados muestran el agua de riego niveles elevados de aluminio, hierro y manganeso, superando los (ECA) para agua de riego. En el suelo, se detectaron concentraciones de cadmio, arsénico y plomo que excedieron los ECA. El análisis de tejido vegetal evidenció concentraciones de cadmio y plomo que superaron los límites máximos permitidos por la regulación (EU) 2023/915. El análisis estadístico multivariado (ACP y Biplots), realizado con InfoStat, reveló fuertes covariaciones entre la contaminación en las tres matrices, sugiriendo una fuente común de contaminación, probablemente relacionada con la actividad minera en la zona, botaderos inadecuados, uso de agroquímicos y el vertimiento de aguas residuales. La alta correlación entre metales en el suelo, el agua y las plantas evidencia bioacumulación.

Palabras clave: Metales pesados, contaminación de suelo, análisis de tejido vegetal, contaminación del agua, análisis multivariable.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the concentrations of heavy metals in soils of *Persea americana* (avocado) and *Citrus sinensis* (orange) cultivars in the Oroyapampa ravine, Apurímac, Peru (2024-2025). To this end, three environmental subsystems were analyzed: irrigation water from the Chalhuanca River, agricultural soil from the Oroyapampa ravine, and plant tissue (roots and stems) of *Persea americana* (avocado) and *Citrus sinensis* (orange). A quantitative and experimental method was used, with analyses performed in laboratories accredited by INACAL. Due to the characteristics of the area, probabilistic samples of a systemic type were taken, following the protocols for the samples; 6 samples of agricultural soil, 6 samples of irrigation water, and 4 samples of plant tissue were taken.

The results show elevated levels of aluminum, iron, and manganese in the irrigation water analysis, exceeding the (ECA) for irrigation water. In the soil, concentrations of arsenic, cadmium, and lead were detected that exceeded the ECAs. The analysis of plant tissue showed concentrations of lead and cadmium that exceeded the maximum limits allowed by regulation (EU) 2023/915. Multivariate statistical analysis (PCA and Biplots), performed with InfoStat, revealed strong covariations between contamination in the three matrices, suggesting a common source of contamination, probably related to mining activity in the area, inadequate landfills, the use of agrochemicals, and the discharge of wastewater. The high correlation between metals in the soil, water, and plants demonstrates bioaccumulation

Keywords: Heavy metals, soil contamination, plant tissue analysis, water pollution, multivariate analysis.

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Índice general.....	x
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de anexos.....	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1 Descripción y formulación del problema	20
2.2 Objetivos.....	23
2.2.1 Objetivo general.....	23
2.2.2 Objetivos específicos.....	23
2.3 Justificación	24
2.4 Hipótesis	25
2.4.1 Hipótesis general	25
2.4.2 Hipótesis específicas.....	25
2.5 Variables	26
III. Marco teórico	28

3.1 Antecedentes.....	28
3.1.1 Antecedentes a nivel internacional.....	28
3.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	32
3.1.3 Antecedentes a nivel local.....	36
3.2 Bases teóricas.....	41
3.2.1 Metales pesados.....	41
3.2.2 Subsistemas ambientales.....	43
3.3 Definición de términos.....	45
IV. Metodología.....	49
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	49
4.1.1 Tipo de investigación.....	49
4.1.2 Nivel de investigación.....	49
4.1.3 Diseño de investigación.....	50
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	50
4.2.1 Delimitación espacial.....	50
4.2.2 Delimitación temporal.....	54
4.3 Población y muestra.....	54
4.3.1 Población.....	54
4.3.2 Tipo de muestreo.....	55
4.3.3 Muestra.....	55
4.4 Instrumentos.....	57
4.4.1 Técnicas e instrumentos para el muestreo de Suelos agrícolas.....	57
4.4.2 Técnicas e instrumentos para el muestreo de Agua de riego.....	67

4.4.3 Técnicas e instrumentos para el muestreo de tejido vegetal.....	75
4.5 Procedimientos	80
4.5.1 Procedimiento/ protocolo para el análisis de Suelos agrícolas.....	80
4.5.2 Procedimiento/ protocolo para el análisis de Agua de riego	84
4.5.3 Procedimiento/ protocolo para el análisis de tejido vegetal	91
4.6 Análisis de datos	92
4.6.1 Materiales y métodos	92
4.6.2 Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro.....	95
4.6.3 Análisis multivariable, Componentes principales y Biplot	102
4.7 Consideraciones éticas.....	103
V. Resultados y discusión.....	104
5.1 Resultados.....	104
5.1.1 Sub sistema Suelos agrícolas	104
5.1.2 Sub sistema Agua de riego	110
5.1.3 Sub sistema vegetal.....	116
5.1.4 Análisis global de los tres sub sistemas.....	120
5.2 Discusión	124
VI. Conclusiones	130
VII. Recomendaciones	133
VIII. Referencias Bibliográficas	134
IX. Anexos	141

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	27
Tabla 2 Datos del anexo de Oroyapampa en Aymaraes.....	52
Tabla 3 Área (Ha) cultivada	54
Tabla 4 Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación.....	55
Tabla 5 Área de uso de suelo con cultivos de Palta y Naranja.....	56
Tabla 6 Profundidad del muestreo según el uso del suelo.....	58
Tabla 7 Coordenadas del punto de muestreo de suelos agrícolas.....	62
Tabla 8 Técnica e instrumentos para el muestreo de suelos agrícolas	67
Tabla 9 Caudal del rio Chalhuanca.....	68
Tabla 10 Coordenadas del punto de muestreo de suelos agrícolas.....	72
Tabla 11 Técnica e instrumentos para el muestreo de Aguas para riego.	75
Tabla 12 Coordenadas del punto de muestreo de tejido vegetal	78
Tabla 13 Técnica e instrumentos para el análisis de tejido vegetal.....	80
Tabla 14 Procedimiento / protocolo para el análisis de Suelos agrícolas.....	81
Tabla 15 Procedimiento / Protocolo para el análisis de agua para riego.....	85
Tabla 16 Procedimiento / protocolo para el análisis de tejido vegetal.....	91
Tabla 17 Para la hipótesis general	95
Tabla 18 Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de suelo agrícola.....	96
Tabla 19 Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de agua para riego.....	98
Tabla 20 Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de tejido vegetal.....	100

Índice de figuras

Figura 1 Fuentes de contaminación del agua para riego utilizada en la quebrada Oroyapampa.	19
Figura 2 Mapa de la ubicación geográfica de estudios previos relacionados.....	40
Figura 3 Distancia desde Abancay hasta la Quebrada Oroyapampa-Aymaraes	51
Figura 4 Mapa de ubicación y localización	53
Figura 5 Cuarteo de muestra de suelo	59
Figura 6 Técnica del cuarteo para la toma de muestras empleada.	59
Figura 7 Patrón de muestreo aleatorio simple.	60
Figura 8 Ubicación de las muestras de suelo.....	61
Figura 9 Preparación del área de muestreo de suelo.	62
Figura 10 Toma de muestra de suelos.	63
Figura 11 Limpieza de la sub muestra.....	64
Figura 12 Depositar la sub muestra en un recipiente para dividir en cuatro porciones.....	64
Figura 13 Proceso de colección de muestras de suelo.....	66
Figura 14 Ubicación de las muestras de Agua para riego.	69
Figura 15 Ubicación de las muestras de Agua para riego	70
Figura 16 Ubicación de las muestras de Agua para riego	71
Figura 17 Protocolo de Muestreo de Agua.....	74
Figura 18 Ubicación de las muestras de tejido vegetal	77
Figura 19 Procedimiento de la colección de muestras para los cultivos	79
Figura 20 Niveles de Plomo (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)	104
Figura 21 Niveles de Cadmio (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)	105

Figura 22 Niveles de Arsénico (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).....	106
Figura 23 Análisis multivariable Sub sistema Suelo Agrícolas	108
Figura 24 Niveles de Manganeso (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).....	110
Figura 25 Niveles de Hierro (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).....	111
Figura 26 Niveles de Aluminio (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).....	112
Figura 27 Análisis multivariable Sub sistema Agua de riego	114
Figura 28 Niveles de Plomo (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).....	116
Figura 29 Niveles de Cadmio (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).....	117
Figura 30 Análisis multivariable Sub sistema vegetal.....	119
Figura 31 Análisis global de los tres sub sistemas	122

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	142
Anexo 2 Resultados del análisis de Agua para riego.....	143
Anexo 3 Resultados del análisis de suelos agrícolas.....	188
Anexo 4 Resultados del análisis de tejido vegetal.....	236
Anexo 5 Matriz 1 Análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025). ...	244
Anexo 6 Matriz 2 Análisis de seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).....	247
Anexo 7 Matriz 3 Análisis de seis muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).	250
Anexo 8 Matriz 4 Análisis Global de los tres subsistemas.....	254
Anexo 9 Análisis multivariable Sub sistema Agua de riego.	255
Anexo 10 Análisis multivariable Sub sistema Suelo Agrícola.....	259
Anexo 11 Análisis multivariable Sub sistema vegetal.	264
Anexo 12 Análisis global de los tres sub sistemas.	268
Anexo 13 Histogramas del sub sistema Suelo Agrícola.....	274
Anexo 14 Histogramas del sub sistema Agua de riego.	278
Anexo 15 Histogramas del sub sistema vegetal.	287
Anexo 16 Acreditación de los laboratorios en INACAL.	291
Anexo 17 Panel fotográfico del área de estudio.	293
Anexo 18 Panel fotográfico del muestreo de agua para riego.....	296
Anexo 19 Panel fotográfico del muestreo de suelos agrícolas.....	299
Anexo 20 Panel fotográfico del muestreo de tejido vegetal.....	302

I. Introducción

La contaminación por metales como el plomo, cadmio, arsénico, hierro, aluminio manganeso y otros es un problema ambiental global con graves consecuencias para la salud humana y los ecosistemas, la bioacumulación de estos metales a lo largo de la cadena trófica genera efectos tóxicos crónicos, incluso letales. La contaminación por metales pesados tiene fuentes naturales, como la erosión y actividad volcánica, pero es principalmente causada por actividades humanas como la minería, industrias, agricultura (fertilizantes, pesticidas) y la mala gestión de residuos que resultan en la liberación de contaminantes al suelo, agua y aire.

Los metales pesados son depositados directamente por las actividades mineras e industrias o se filtran en las aguas subterráneas y superficiales, los metales son depositados en los suelos a través del riego o cuando el río sube su caudal e inunda zonas agrícolas o mediante la agricultura (fertilizantes y pesticidas), para finalizar las plantas absorben los metales previamente depositados en el suelo a través de las raíces acumulándose en los tejidos vegetales.

El departamento de Apurímac, con su intensa actividad minera y el uso de fertilizantes en la agricultura, es especialmente vulnerable a esta problemática.

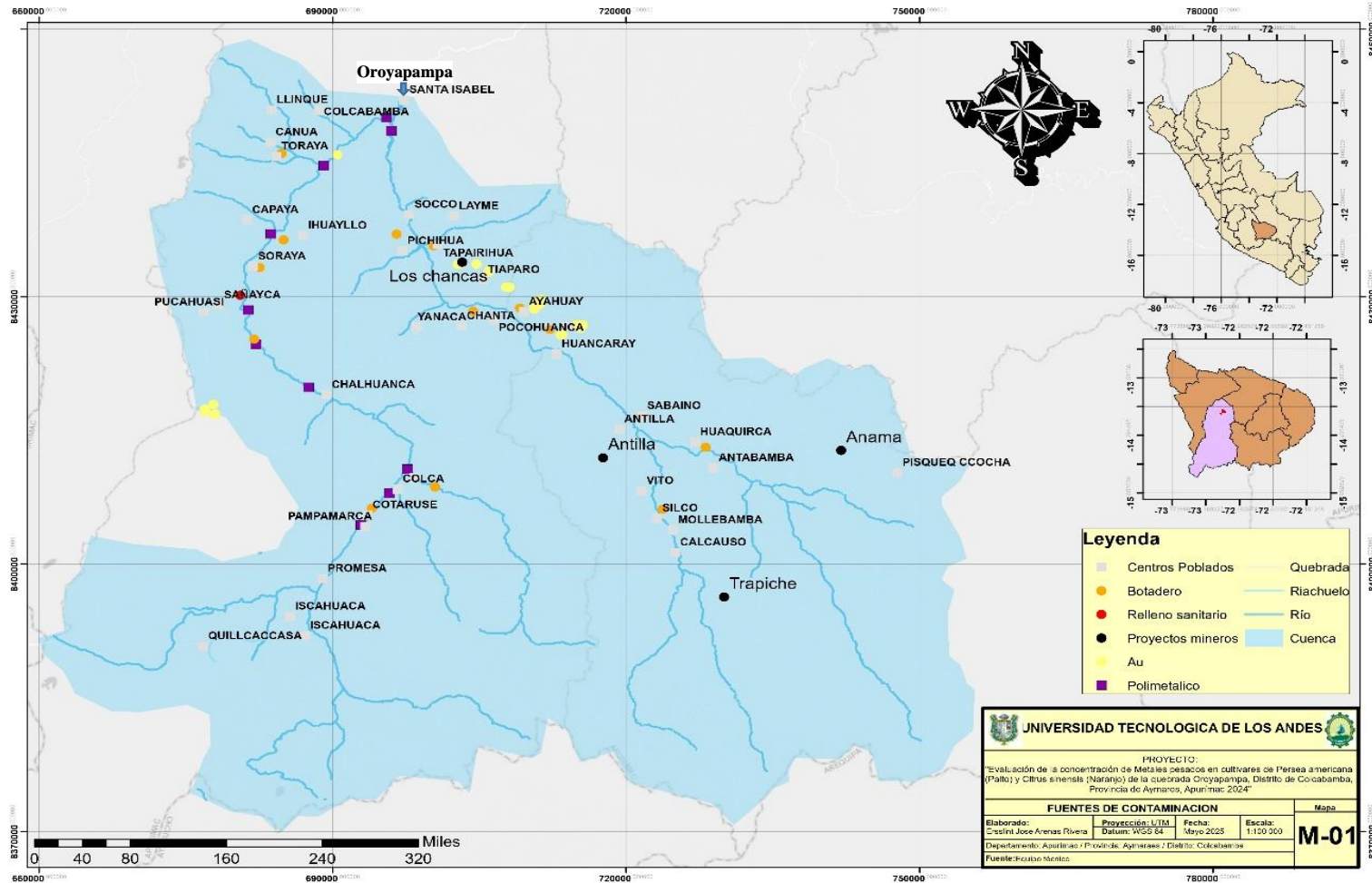
La quebrada Oroyapampa, ubicada en el distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac, presenta un alto riesgo de contaminación hídrica debido a la confluencia de factores: la proximidad de asentamientos humanos, vertederos y rellenos sanitarios que contribuyen a la contaminación por residuos domésticos, aguas residuales y lixiviados; y la actividad minera cercana que introduce metales pesados mercurio, arsénico, plomo, cadmio, cianuro y otros compuestos químicos tóxicos en el ecosistema. Las fuertes lluvias exacerban la situación, transportando estos contaminantes hacia el río Chalhuanca, principal fuente de agua para riego en la zona. Esta contaminación multifactorial afecta la calidad del agua, del suelo y, consecuentemente, la salud de los cultivos.

Esta tesis presenta los resultados de una investigación cuantitativa y experimental (2024-2025) que evalúa la concentración de metales pesados en tres subsistemas ambientales: el suelo agrícola, el agua de riego del río Chalhuanca, y los tejidos vegetales (tallos y raíces) de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranja), cultivos de importancia socioeconómica en la quebrada Oroyapampa. Se emplearon métodos analíticos rigurosos en laboratorios acreditados (Laboratorio Louis Pasteur y BHIOS Laboratorios) para determinar la concentración de Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Bismuto, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cesio, Cobre, Hierro, Mercurio, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fosforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Silicio, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Uranio, Vanadio y Zinc.

Los hallazgos de esta investigación contribuyen significativamente al conocimiento de la contaminación generada por los metales pesados en Apurímac, proporcionando información crucial para el desarrollo de políticas ambientales más efectivas y estrategias para proteger la salud de las personas y la seguridad alimentaria de la población. Se sugiere que con esta investigación se puede realizar estudios futuros sobre la fitorremediación y la gestión sostenible de los recursos naturales en la región.

Figura 1

Fuentes de contaminación del agua para riego utilizada en la quebrada Oroyapampa.



Nota. La figura muestra las posibles fuentes de contaminación que convergen en el punto de aforo (Oroyapampa). Elaboración propia.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

La presencia de los contaminantes inorgánicos (metales pesados) en los subsistemas ambientales genera un problema de gran envergadura y seriedad que impacta de manera significativa en los ecosistemas, así como en la salud de las personas a nivel mundial. Esta problemática trasciende límites fronterizos manifestando su impacto negativo de manera generalizada en diferentes regiones del mundo. Según Reyes (2016) la presencia de metales en el ambiente se produce a través de procesos naturales y actividades humanas, propagándose a los recursos hídricos, suelo y aire (p. 2).

El Perú se enfrenta a los desafíos de la contaminación por los metales ocasionado por la presencia de industrias mineras, la minería informal e ilegal, botaderos municipales, la descarga de las aguas residuales y la explotación de recursos naturales que provocan la propagación de los metales pesados al medio ambiente. De acuerdo al MINSA (2015) la existencia de metales como el plomo, mercurio y arsénico en los hábitats tiene impactos perjudiciales para la salud y el entorno natural (p. 1).

De acuerdo al MINAM (2021) existe una amenaza ambiental potencial en todos los departamentos del Perú debido al ineficiente tratamiento de las aguas residuales, los botaderos mal ubicados y las actividades mineras que se llevan a cabo (pp. 103-162-168). Esto incluye el departamento de Apurímac, como menciona OEFA (2018) la presencia de metales como el plomo, mercurio y el arsénico en el entorno natural ha afectado negativamente los ecosistemas adyacentes (p. 3). Especialmente el ecosistema acuático el cual sirve de transporte de estos contaminantes a lo largo de las cuencas, esta agua con carga de diversos elementos contaminantes es utilizada para el riego lo que conlleva a la posterior contaminación de los suelos regados y posteriormente a la acumulación de contaminantes inorgánicos en los tejidos vegetales.

Los cultivos de palto y naranjo en la quebrada Oroyapampa, así como las actividades acuícolas y agrícolas de la zona, dependen del agua del río Chalhuanca. A pesar de su importancia socioeconómica para las actividades agrícolas y la acuicultura. De acuerdo a Flores (2018) el río Chalhuanca se encuentra afectado por una significativa contaminación hídrica derivada de vertidos de aguas residuales y otros contaminantes. Este hecho se manifiesta en la mortandad piscícola observada durante la última década (pp. 11-22). Indicando un preocupante deterioro del ecosistema fluvial.

La preocupante contaminación del Río Chalhuanca, exacerbada por la potencial influencia de la actividad minera en los recursos hídricos de la región Apurímac, junto con el uso de agroquímicos para la agricultura, el riego con aguas del río en la quebrada Oroyapampa, y la degradación del área debido a su uso en el pasado durante la construcción del puente Santa Rosa como cantera, campamento, patio de máquinas y exige una evaluación ambiental inmediata. Dada la amenaza que representa la posible contaminación por metales pesados, resulta imperativo analizar el suelo agrícola, el agua de riego y el tejido vegetal para determinar la magnitud del problema y proteger la salud de los ecosistemas y las comunidades que dependen de estos recursos.

La agricultura no solo es un pilar fundamental de la economía local, sino que también representa la base de subsistencia para muchas comunidades. La producción agrícola además de generar ingresos vitales para la población, también asegura la seguridad alimentaria y contribuye al beneficio de la sostenibilidad ambiental y social de la región.

Según Fischer y Garcia (2023) la presencia de metales pesados en los alimentos cultivados es multifactorial, resultando de la interacción de diversas fuentes, tales como la atmósfera, el agua de riego, el suelo, zonas industriales, vías de transporte de alta densidad vehicular, cursos de agua contaminados y la aplicación de agroquímicos (p. 10). Los

contaminantes provenientes de estas fuentes se acumulan en el suelo, el agua y los tejidos vegetales.

De acuerdo a Elango et al, (2022) los metales pesados en el suelo afectan de manera significativa en la producción de la cosecha debido a la afectación de procesos fisiológicos en las plantas esenciales como la germinación, la fotosíntesis y la homeostasis redox, lo que resulta en un incremento del estrés oxidativo (p. 2).

Nuestra investigación es la evaluación de la presencia y niveles de concentración de metales pesados, en los componentes ambientales de la quebrada Oroyapampa, incluyendo el suelo, el agua y el tejido vegetal de los cultivos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja).

El estudio se basó en el muestreo y el posterior análisis de las muestras de suelo agrícola, agua para riego y tejido vegetal de palto y naranja en laboratorios acreditados por INACAL, para medir las cantidades concentradas de contaminantes inorgánicos (metales pesados). Los resultados de la investigación sirven para proponer estrategias de mitigación y gestión de riesgos, en aras de la protección del ecosistema.

2.2 Formulación del problema de investigación

Problema general

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en los subsistemas ambientales; agua, suelo y tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del suelo agrícola de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac

2024?

- ¿Cuáles son las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del agua para riego de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa, Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024?
- ¿Cuáles son las concentraciones de contaminantes inorgánicos en los tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024?

2.3 Objetivos

2.3.1 *Objetivo general.*

- Evaluar la concentración de metales pesados en los subsistemas ambientales; agua, suelo y tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa, Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

2.3.2 *Objetivos específicos.*

- Determinar las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del suelo agrícola de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa, Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.
- Determinar las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del agua para riego de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa, Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.
- Determinar las concentraciones de contaminantes inorgánicos en los tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranjo) de la quebrada Oroyapampa,

Distrito de Colcabamba, Provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

2.4 Justificación

Este trabajo de investigación infiere la presencia de contaminantes inorgánicos (metales pesados) en el agua para riego, el suelo agrícola y en los tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja), este trabajo se justifica:

Teóricamente: Este estudio es crucial para abordar un vacío significativo en la teoría científica existente en este campo y en este lugar. Al ser un tema poco explorado en el área de estudio y en la región, este trabajo no solo contribuye a ampliar el conocimiento existente, sino que también sirve como una base sólida para investigaciones futuras en esta temática.

Ambientalmente: Los resultados obtenidos no solo generan información valiosa sobre los impactos de la contaminación en los cultivos, sino que también proporcionarán antecedentes fundamentales para profundizar en la comprensión de este problema ambiental y su repercusión en la salud pública y la seguridad alimentaria. Los hallazgos pueden ser aplicados en la implementación de estrategias efectivas para mitigar la contaminación por metales pesados. Además, estos resultados servirán para diseñar y posteriormente ejecutar políticas más efectivas en las decisiones a nivel local y regional, generando un impacto significativo en la protección del medio ambiente y en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

La evaluación de metales pesados en la quebrada Oroyapampa es fundamental desde una perspectiva ambiental debido a los posibles impactos negativos que estos contaminantes pueden generar en la calidad de los productos cultivados, en los suelos agrícolas, en el agua para regar, los tejidos vegetales y en general en la biodiversidad del lugar.

Socialmente: La existencia de contaminantes inorgánicos en los suelos agrícolas y en el agua que se usa para el riego puede conducir a la acumulación en las plantas, lo que no

solo afecta la productividad de los cultivos, sino que también existe un riesgo de quienes consumen estos alimentos.

Económicamente: Los resultados de esta investigación no solo contribuye a evaluar la calidad de los sub sistemas estudiados, sino que también puede generar beneficios económicos a través de la implementación de planes de mitigación para evitar la reducción de pérdidas de cosechas, mejorar la calidad de los productos agrícolas y la disminución de costos asociados al tratamiento de enfermedades relacionadas con la exposición a estos contaminantes.

Metodológicamente: La metodología de esta tesis se justifica por la necesidad de abordar la problemática de la contaminación por metales pesados desde una perspectiva integral y multidisciplinaria, estudiando los sub sistemas ambientales como el suelo, agua y el tejido vegetal.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Existe concentración de metales pesados en los subsistemas ambientales; agua, suelo y tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Existen variaciones significativas en las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del suelo agrícola de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.
- Existe modificación de las características físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas del agua para riego de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de

Aymaraes, Apurímac 2024.

- Existe concentración de contaminantes inorgánicos en los tejidos de *Persea americana* (Palto) y *Citrus sinensis* (Naranja) de la quebrada Oroyapampa, distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, Apurímac 2024.

2.6 Variables

Variable dependiente

Metales pesados

Variable independiente

Subsistemas Ambientales (Agua, Suelo y Tejido vegetal)

Tabla 1

Operacionalización de variables

MATRIZ DE OPERACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS(*)
Variable: Dependiente (*) Metales pesados	Pabón (2020) los metales pesados se caracterizan por su peso atómico y su alta densidad (pp. 1).	La concentración de metales pesados en suelos, tejidos vegetales (mg/kg) y agua (mg/L) se determinará mediante análisis espectroscópico	Suelos agrícolas	ECAs para suelo Características físico químicas Características microbiológicas Características inorgánicas	Arsénico, Bario, Cadmio, Mercurio, Plomo y Cianuro (mg/kg) Materia orgánica, Limo, Arena y Arcilla (%), Fosforo y Potasio (mg/kg). Bacillus cereus y Staphylococcus aureus (ufc/g).
			Agua para riego	ECAs para agua Características físico-químicas Características Biológicas y microbiológicas Características inorgánicas	Aluminio, Antimonio, Azufre, Berilio, Bismuto, Boro, Cromo, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Estaño, Estroncio, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio, wolframio y zinc (mg/kg).
Variable: Independiente Sistemas ambientales	Gonzales (2018) un subsistema ambiental es un componente específico del medio ambiente. (pp. 52).	Cada muestra de subsistema ambiental será analizada por un laboratorio acreditado, el informe de laboratorio brindará los instrumentos utilizados, así como los niveles de concentración.	Tejido de cultivares de <i>Persea americana</i> (palto) y <i>Citrus sinensis</i> (naranja) (tallos y raíz)	Características inorgánicas en tejido vegetal	Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc (mg/L). Turbiedad (NTU), Color (UCV) y Conductividad ($\mu\text{s/cm}$), pH, Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitratos, Nitritos y Oxígeno Disuelto (mg/L). Coliformes Termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL). Sólidos totales (ppm), Antimonio, Calcio, Cerio, Estroncio, Fósforo, Molibdeno, Potasio, Silicio, Sodio, Titanio, Torio y Vanadio (mg/L). Plata, Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Bismuto, Calcio, Cadmio, Cerio, Cobalto, Cromo, Cesio, Cobre, Hierro, Mercurio, Potasio, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fosforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Silicio, Estaño, Estroncio, Titanio, Talio, Uranio, Vanadio y Zinc (mg/kg).

Nota. Elaboración propia.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 *Antecedentes a nivel internacional*

Lara (2015) contenido de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México; cuyo objetivo fue determinar el grado de absorción y movilidad del cadmio (Cd) y plomo (Pb) En plantas que crecen en tierras regadas con aguas residuales. Su metodología consistió en muestrear suelos y plantas (maíz, alfalfa y girasol) de la región del valle del Mezquital, Hidalgo, México sus instrumentos fueron un espectrofotómetro de absorción atómica (GBC®) y el programa estadístico SAS V.9 para analizar las muestras las cuales incluyeron suelos y diferentes partes de las plantas (divididas en tres tercios), los resultados indicaron que los niveles de Cd y Pb en las plantas variaron según la especie y la parte de la planta analizada. En el maíz, las concentraciones de Cd fueron similares en los tres tercios y menores que en el suelo. En la alfalfa, la concentración de Cd fue mayor en la planta que en el suelo. El girasol mostró las concentraciones más bajas de ambos metales. Las concentraciones de plomo en el suelo y la planta fueron, en promedio, comparables.

Leal (2023) análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura; para su objetivo se llevó a cabo una evaluación del impacto de la irrigación continua con aguas residuales de acuicultura en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el fin de identificar las variables que mejor explican su comportamiento bajo estas condiciones de riego. Para su metodología se tomaron muestras a 0-30 cm de profundidad con nueve repeticiones por suelo. Se determinaron parámetros como pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrato, amonio,

nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, textura, densidad aparente y comportamiento microbiano. En su muestra se eligieron tres suelos agrícolas representativos de Tlaxcala, México, para el estudio. Su instrumento consistió en la técnica de análisis de componentes principales (ACP) se empleó en este estudio. Sus resultados evidenciaron un aumento en los niveles de fósforo, potasio, calcio, amonio y nitratos como consecuencia de la irrigación. El ACP permitió identificar dos componentes principales: el primero, explicando el 76% de la varianza, se relacionó con el pH, materia orgánica, arena, nitrógeno total, potasio, magnesio y amonio; y el segundo, con el 23% de la varianza, se vinculó al fósforo y a la adsorción en la arcilla.

Elango (2022) intervenciones agronómicas, de mejoramiento y biotecnológicas para mitigar los problemas de toxicidad de los metales pesados en la agricultura, India; su objetivo de esta investigación es abordar de manera sistemática los desafíos vinculados a la toxicidad de metales pesados en el ámbito agrícola, y proponer estrategias efectivas para mitigar estos problemas. Su metodología se centra en la biorremediación, empleando tanto la fitorremediación con plantas como la biorremediación microbiana, como métodos eficaces para la eliminación de metales pesados del entorno. cuyo instrumento de esta investigación, se utilizarán sensores especializados para la detección rápida de metales pesados, junto con herramientas avanzadas como la espectroscopia de masas, que permitirán un análisis detallado y preciso. Su muestra en el estudio se enfocará en cultivares de plantas con tolerancia a metales pesados, seleccionadas de diversos cultivos de importancia económica. Estas muestras proporcionarán información relevante para la evaluación de la efectividad de las intervenciones propuestas. Como resultados preliminares revelan que más de 400 variedades de plantas poseen la capacidad de hiperacumulación de distintos metales pesados, lo que respalda la fitorremediación como una

estrategia agronómica exitosa para mitigar la toxicidad de estos elementos. Se explorarán diversas técnicas de fitorremediación, como la fito-estabilización, fito-extracción, fito-volatilización, fito-filtración, fito-degradación y rizo-degradación, con el objetivo de encontrar soluciones efectivas y sostenibles para remediar los suelos contaminados con metales pesados.

Aveiga, et al (2022) distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador; su objetivo de este estudio pretende examinar la presencia de plomo, cadmio y cobre en diferentes componentes del ecosistema acuático del río Carrizal de Manabí (agua, sedimentos y peces) para determinar su distribución. En cuanto a su metodología se llevó a cabo el análisis mediante el empleo del procedimiento estandarizado APHA AWWA WEF 3111- B, mediante espectrometría de adsorción atómica. Sus instrumentos para llevar a cabo las mediciones, se utilizó un espectrofotómetro de adsorción atómica. Para su muestra se establecieron 21 estaciones de monitoreo a lo largo del río para la recolección de muestras de agua y sedimentos. Se tomaron muestras de hígado, branquias y tejido muscular de peces de río. Los resultados fueron el contenido de plomo (Pb) en el agua proveniente del río carrizal fue de 0,41 mg/L y la cantidad de sedimento fue 0,03 mg/L. Se registraron los mayores niveles de plomo en branquias 0.181 mg/kg y en los músculos se encontró 0.149 mg/kg. Las especies de peces analizadas no presentaron niveles considerables de Cadmio o Cobre. Se encontró que los niveles de plomo en el agua excedían los límites establecidos, lo que indica una posible contaminación e indica la distribución y biocondensación de este metal en los ecosistemas acuáticos.

Tulcán (2020) evaluación de metales pesados en nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador; el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad y seguridad de los nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la zona urbana de Quito, analizando la presencia de metales pesados en la fruta, considerando el posible impacto de la contaminación urbana para su metodología se realizaron análisis físico-químicos en la porción comestible de nísperos frescos para determinar su composición y calidad nutricional. Estos análisis incluyeron mediciones de diámetro (ecuatorial y longitudinal), pH, sólidos solubles, número de semillas, acidez titulable, peso, ceniza y contenido de humedad. Sus instrumentos fueron el transporte de las muestras que se efectuó en contenedores refrigerados, previamente limpiados y desinfectados, garantizando así la integridad y calidad de los frutos durante el traslado para evitar daños físicos. Se recolectaron muestras de nísperos maduros de 15 puntos diferentes de la ciudad, priorizando áreas con alto tráfico vehicular, con el objetivo de investigar si la contaminación urbana podría estar afectando a la concentración de metales pesados en el fruto. Los resultados en este estudio determinaron que los nísperos presentan un tamaño máximo de 3,2 cm (diámetro ecuatorial) y 4,0 cm (diámetro longitudinal), con un peso máximo de 25,9 g y un promedio de 4,4 semillas. Los análisis físico-químicos mostraron un pH de 4,4, 15,0 ° Brix, 3,5% de acidez titulable, 59,9% de cenizas y 98,8% de humedad. Finalmente, se hallaron concentraciones de 952,6 ng/g PS de cadmio y 60,5 ng/g PS de cromo.

Alban y Calle (2019) metales pesados en *Mangifera indica l.* cultivada a orillas del río amarillo y su repercusión socioambiental, Ecuador; este trabajo tiene como objetivo desarrollar una Guía de Control de Trazabilidad para agrocalidad, con el fin de garantizar la inocuidad en el cultivo de mango (*Mangifera indica L.*) y prevenir peligros

no contables que puedan afectar el bienestar de los consumidores. La metodología se llevó a cabo en un laboratorio certificado de la Escuela Politécnica Nacional e incluyó un proceso de disgregación con HNO₃, seguido de una aforación a un volumen específico, filtración y lecturas realizadas mediante un espectrómetro de absorción atómica. Se utilizaron herramientas de geoprocésamiento para la elaboración de mapas del área de estudio. Se empleó un GPS para obtener coordenadas UTM de los puntos de muestreo, Google Earth para la visualización del área y QGIS para la creación de mapas detallados. La muestra consistió en 20 mangos envasados en fundas selladas y conservados en un recipiente hermético para prevenir su degradación durante el transporte a los Laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional en Quito. Los análisis revelaron concentraciones elevadas de plomo estas superan estándares internacionales. Estos hallazgos resaltan que el consumo del mango, un fruto de consumo comercial en los cantones de Arenillas, Santa Rosa y Machala, presenta un exceso de plomo sin control sanitario, lo que plantea preocupaciones sobre la inocuidad de este alimento para la población.

3.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Méndez, et al. (2023) niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba; el objetivo de este estudio es evaluar la calidad de los sedimentos del río Locumba en su zona alta, analizando las concentraciones de metales pesados (Arsénico, Boro, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Manganeseo y Plomo). En su metodología se tomaron muestras en diferentes épocas del año para ver cómo cambiaba la calidad del agua. En los instrumentos, se siguió un protocolo de muestreo (LSASDPROC-200-R4) y se utilizaron estándares de la USEPA. La técnica analítica empleada fue la espectroscopía de plasma ICP-OES, garantizando la confiabilidad de los datos. Las muestras de sedimentos se recolectaron en cinco sectores de muestreo ubicados en la zona alta del río Locumba, durante los meses de enero y marzo, abarcando tanto la

temporada seca como la lluviosa para capturar las variaciones estacionales. El resultado de sedimentos del río Locumba evidenció una contaminación significativa por metales pesados. Las concentraciones encontradas fueron: arsénico (58 ppm), boro (8,2 ppm), cobre (372 ppm) y plomo (121 ppm), valores que exceden los estándares de calidad. Se recomienda la implementación de medidas para la remediación del río

Meniz (2022) efectos ecotóxicos de metales pesados sobre *Daphnia magna* y *Paracheirodon innesi* en un río de la amazonía peruana; el objetivo principal fue evaluar la toxicidad de los metales pesados en el río Madre de Dios, utilizando las especies *Daphnia magna* y *Paracheirodon innesi* para determinar el impacto en el agua y los sedimentos del ecosistema. Se aplicó una metodología de evaluación de la toxicidad basado en la escala de Roig, empleando como indicadores la CL50 en *Daphnia magna* y la CE50 para el comportamiento de "nado extraño" en *Paracheirodon innesi*. Sus instrumentos para la recolección de muestras, se utilizaron botellas plásticas de 1 litro para el agua superficial y un cucharón metálico para los sedimentos. Para la muestra se recolectaron 40 litros de agua y 4 kg de sedimentos por punto de muestreo. Las muestras se tomaron en cuatro puntos diferentes del río Madre de Dios durante la época seca de 2019, entre la confluencia con el río Colorado y el puerto de Boca Colorado. En sus resultados se detectaron concentraciones de arsénico (58 ppm), boro (8,2 ppm), cobre (372 ppm) y plomo (121 ppm) en los sedimentos del río Locumba, todas ellas superiores a los niveles aceptables. La contaminación por metales pesados encontrada requiere la implementación de un plan de manejo ambiental para proteger el río.

Soto et al. (2020) riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana; cuyo

objetivo principal fue cuantificar la concentración de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en los suelos y cultivos de plátano y yuca en áreas del sureste amazónico peruano afectadas por la actividad extractiva aurífera, con el fin de evaluar el impacto de la minería. En su metodología se evaluaron las concentraciones de metales pesados en las raíces, tallos, hojas y frutos de las muestras vegetales. Como instrumentos para el muestreo se utilizaron bolsas de polietileno zip-lock, garantizando la preservación de las muestras. Para las muestras se empleó un diseño de muestreo sistemático para la recolección de 6 submuestras compuestas de suelo por parcela. Para las muestras de productos agrícolas (plátanos y yucas), se utilizó un muestreo aleatorio simple de 3 individuos por especie. Los resultados mostraron que las concentraciones de mercurio (Hg) en el suelo eran similares en áreas contaminadas y no contaminadas. Sin embargo, los niveles de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) fueron significativamente más altos en zonas afectadas por la minería. En los cultivos, la yuca y el plátano de las áreas contaminadas presentaron mayores concentraciones de As, Pb y Cd. La yuca, en particular, acumuló altos niveles de plomo y arsénico en raíces y tallos, superando los límites establecidos por la FAO/OMS, mientras que los frutos de plátano mostraron las concentraciones más bajas entre los metales analizados.

Quispe (2023) concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana*, Luricocha, Huanta; cuyo objetivo de este estudio es evaluar la concentración de plomo y cadmio en los suelos utilizados para el cultivo de palta en la zona de Luricocha. Para su metodología se seguirá un enfoque cuantitativo, aplicando un diseño experimental para el análisis de las concentraciones de metales pesados en las muestras de suelo. Como instrumentos para la concentración de plomo y cadmio se determinó mediante espectrometría de absorción atómica con llama, una técnica analítica de alta

precisión para metales pesados. Para las muestras se recolectaron muestras de suelo de siete comités de regantes en la región de Luricocha, que en conjunto abarcan una extensión total de 138,82 hectáreas dedicadas al cultivo de palta. Para los resultados se encontraron niveles de plomo en el suelo inferior a los estándares agrícolas, pero superiores a los rangos aceptables para suelos sin contaminación (0,0-0,2 mg). La concentración de cadmio fue significativamente mayor, lo que podría estar relacionado con el empleo de fertilizantes fosfatados en la región.

Cano (2021) metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno; para el objetivo se propone una investigación integral sobre la calidad de los suelos del área de irrigación del Canal N - Cupi, abarcando la presencia de metales pesados, la caracterización edafológica y la percepción de los productores sobre el uso del suelo y el agua de riego. En su metodología la concentración de metales pesados en las muestras de suelo se determinó mediante el método EPA 200.8 Rev. 5.4 (1994). Las propiedades físicas y químicas del suelo se analizaron de acuerdo con los "Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters of California, Division of Agricultural Sciences, E.U.A." como instrumento se usó un cuestionario estructurado permitió explorar la percepción de los productores con respecto al sistema de irrigación del Canal N. Se recolectaron muestras de suelo de manera sistemática en dos zonas: la zona A, bajo riego, con cultivos de Rye grass y avena, y la zona B, sin riego, con pastos naturales y avena. Resultados: Las concentraciones de mercurio (Hg) en ambas zonas (259 y 249 mg/kg) excedieron significativamente el límite establecido por el D.S. N° 011-2017-MINAM (6.6 mg/kg). En cuanto a la caracterización del suelo, se observó una textura predominantemente franco limosa a franca, con bajos niveles de materia orgánica, nitrógeno y carbonatos. El pH mostró variabilidad, siendo moderadamente alcalino en áreas irrigadas y pastos, y

ligeramente ácido en cultivos de avena. Los niveles de fósforo fueron moderados (método Olsen), mientras que los de potasio y calcio fueron altos. Los niveles de magnesio fueron moderados, y los de sodio normales. La capacidad de intercambio catiónico fue alta en suelos con cultivos perennes irrigados y media en los demás

3.1.3 Antecedentes a nivel local

Correa (2021) contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray; el objetivo fue Investigar la presencia de metales en los sedimentos del río Huancaray - Apurímac, identificando sus fuentes y cuantificando sus niveles. Para su metodología se recolectaron los sedimentos durante las estaciones seca y lluviosa de 2018 y 2019, y se analizó su composición mediante fluorescencia de rayos X (FRX). Los instrumentos para el análisis de sedimentos se realizaron con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X (FRX) equipado con una fuente de excitación de Cd-109 y un detector multicanal PCAII The Nucleus (detector Si (Li), resolución de 167 eV a 5.8 keV). Para las muestras se recolectaron sedimentos 15 muestras en cinco puntos de muestreo representativos a lo largo del río Huancaray. El resultado demostró que el análisis de la microcuenca del río Huancaray reveló la presencia de 20 elementos pesados, incluyendo metaloides y metales de diversos grupos. Las concentraciones se encontraron en el siguiente orden decreciente: hierro, calcio, potasio, titanio, manganeso, estroncio, bario, cobalto, vanadio, cromo, zirconio, cobre, zinc, plomo, rubidio, itrio, niobio, bromo, níquel y arsénico. La distribución de estos elementos fue consistente en todos los puntos muestreados.

Soto, Jiménez y Barragán (2021) capacidad fitorremediadora de *Amaranthus hybridus*- especie vegetal andina- en suelos contaminados por metales pesados en el botadero de basura de Quitasol- Imponeda de Abancay; cuyo objetivo evaluó la

fitorremediación de suelos contaminados con plomo, cadmio, níquel, cromo y zinc (Pb, Cd, Ni, Cr, Zn) en el vertedero de Quitasol-Imponeda utilizando *Amaranthus hybridus*. Metodología: Espectroscopia de absorción atómica para el análisis de metales en las muestras de suelo y pesaje para la determinación de la biomasa de la planta. Como instrumentos para el análisis, se utilizó un espectrofotómetro de Absorción Atómica. Las muestras fueron recolectadas durante la etapa de floración en el vertedero de Quitasol-Imponeda. Como resultados los análisis del suelo del vertedero mostraron que el pH es ligeramente alcalino y la textura es franco-arenosa, con contenido de materia orgánica. La capacidad de Intercambio Catiónico se encontró en 18.6 mEq/100g en la parcela A, 16.8 mEq/100g en la parcela B y 16.1 mEq/100g en la parcela C, evidenciando variaciones en la capacidad de intercambio iónico en las diferentes áreas del sitio de estudio.

Correa et al, (2020) determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos X en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac - Perú, para periodos de estiaje y lluvia; su objetivo fue evaluar la concentración de metales pesados en los sedimentos del río Huancaray durante las estaciones seca y lluviosa, utilizando FRX, para identificar las fuentes de contaminación y determinar su variación estacional. En su metodología luego de la recolección, las muestras fueron procesadas: secado a 20°C, molienda con mortero de ágata, y finalmente analizadas por FRX en el laboratorio del IPEN. Se empleó como instrumentos una plataforma analítica compuesta por un equipo de fluorescencia de rayos X (FRX) y el software AXIL para procesar las muestras. Para las muestras se tomó a lo largo del río Huancaray, se establecieron cinco puntos de muestreo con coordenadas UTM precisas (M01 Suytuccocha, M02 Suytuccocha, M03 Cceñuaran, M04 Taypicha y M05). Las muestras se recolectaron en

los períodos de sequía y lluvias. En los resultados se determinó la presencia de al menos 20 metales en cada muestra, con diferentes niveles de concentración. El hierro (Fe) fue el metal más abundante, seguido por calcio (Ca), potasio (K), titanio (Ti), manganeso (Mn), estroncio (Sr), bario (Ba), cobalto (Co), vanadio (V), cromo (Cr), zirconio (Zr), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb), rubidio (Rb), itrio (Y), niobio (Nb), bromo (Br), níquel (Ni) y arsénico (As). Los análisis no mostraron diferencias significativas en las concentraciones de estos elementos entre los períodos secos y lluviosos.

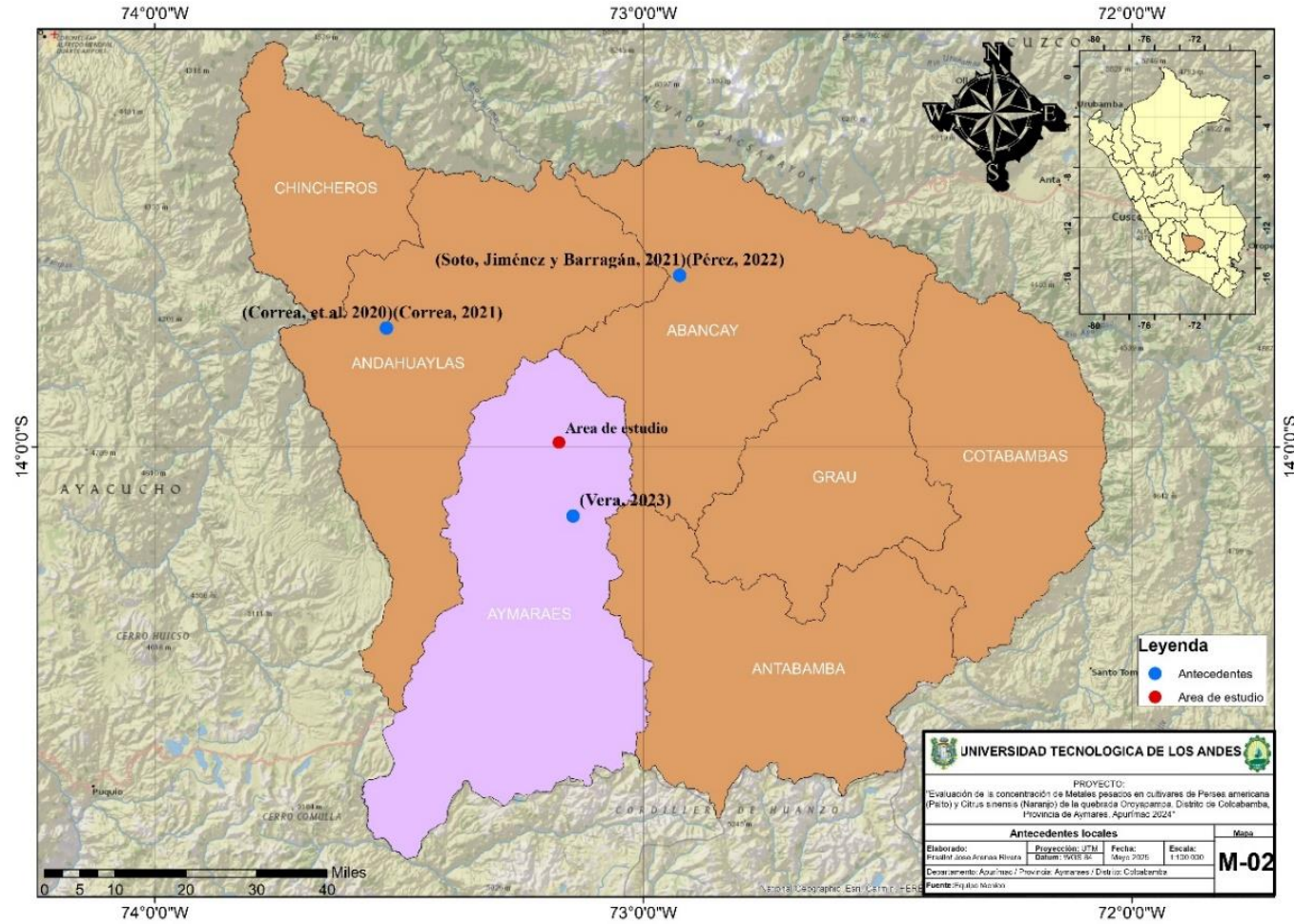
Pérez (2022) evaluación de propiedades físico - químicas, plomo asimilable y valor ambiental en suelo agrícola ante exposición al botadero quitasol, Abancay – Apurímac; el objetivo de este estudio es evaluar las propiedades físico-químicas del suelo agrícola, la concentración de plomo asimilable y el valor ambiental frente a los efectos del botadero de Quitasol. En su metodología se utilizó el Laboratorio Acreditado Envirotest S.A.C. para determinar la concentración de plomo asimilable en las muestras de suelo. Los instrumentos para el análisis implicaron el uso de reactivos químicos como dicromato de potasio, ácido sulfúrico, ácido fosfórico y otros, junto con material de laboratorio estándar (vidrio, tamices ASTM). Para las muestras se recolectaron muestras de suelo agrícola a dos profundidades (0-10 cm y 15-30 cm) en tres puntos de la capa arable, utilizando un muestreador manual para asegurar la consistencia del muestreo. Como resultados el análisis de las muestras del botadero mostró que, en general, los niveles de plomo se encontraban dentro de los límites permisibles, excepto en un punto de muestreo donde se superó el límite máximo.

Vera (2023) capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides l. f.* en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua -

Aymaraes - Apurímac, 2022; para su objetivo se estudió la capacidad de la *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. para absorber y eliminar los metales pesados presentes en el agua contaminada de la quebrada Pacchantay. Para su metodología se aplicó un método cuantitativo, recolectando datos numéricos que serán analizados estadísticamente para validar la hipótesis. En los instrumentos para este estudio, se utilizaron herramientas de registro como fichas para la *Hydrocotyle ranunculoides*, informes analíticos de la planta y el agua, y registros de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, conductividad y pH). Se tomó una muestra de 20 litros de agua contaminada de la quebrada Pacchantay. Este estudio demuestra el potencial de la *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. para la fitorremediación de metales pesados en la quebrada Pacchantay. La planta logró una alta remoción de cobre, manganeso y aluminio, con porcentajes de remoción superiores al 59%. Estos resultados, validados por análisis de espectroscopía de absorción atómica, se acompañaron de cambios en la conductividad eléctrica y el pH del agua, indicando una mejora en la calidad del agua después del tratamiento.

Figura 2

Mapa de la ubicación geográfica de estudios previos relacionados



Nota. La figura muestra los antecedentes locales más relevantes para este estudio. Elaboración propia.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Metales pesados

3.2.1.1 Definición de Metales Pesados. Pabón (2020) afirma lo que los metales pesados, que incluyen elementos como aluminio, berilio, cobre, hierro, manganeso, cadmio, mercurio y plomo, se caracterizan peso atómico y su alta densidad. Si bien algunos metales son esenciales para la vida en cantidades mínimas, su acumulación excesiva puede resultar tóxica para los organismos vivos (p. 1).

También Eróstegui (2009) afirma de manera similar que los metales pesados como el plomo, utilizado históricamente en tuberías, y el cadmio, se encuentran naturalmente en el ambiente y tienen aplicaciones industriales. Aunque útiles en ciertas concentraciones, estos metales pueden ser tóxicos en exceso, provocando daños en diversos órganos y afectando la salud humana (p. 1).

Por otro lado, García (2016) menciona que los contaminantes como cadmio, plomo, mercurio, y otros metales y metaloides, representan un riesgo significativo para la salud y el medio ambiente. Su naturaleza no biodegradable, junto con su capacidad de transformarse en compuestos más tóxicos, los convierte en una seria amenaza para la agricultura (p. 1).

Los metales en la tabla periódica y los elementos en ella tienen contribuciones de diversos científicos y ha evolucionado constante mente. Según Antonio (2016) el plomo tiene un peso atómico de 207.2 g/mol y se caracteriza por su alta densidad y maleabilidad. Así mismo el cadmio tiene un peso atómico de 112.4 g/mol y una configuración electrónica que le permite formar compuestos tóxicos (pp. 207-336). Adicionalmente para Antonio (2016) el arsénico tiene un peso atómico de 74.92 g/mol y exhibe propiedades metaloides, significa que puede formar compuestos altamente tóxicos.

Así mismo el aluminio tiene un peso atómico de 26.98 g/mol, es un metal ligero y resistente a la corrosión. Además, el manganeso con un peso atómico de 54.93 dg/mol es

esencial en varios procesos biológicos e industriales, conocido por formar una variedad de estados de oxidación. El hierro tiene un peso atómico de 55.84 26.98 g/mol, es fundamental para la vida, presente en la hemoglobina de la sangre, y tiene una gran importancia industrial debido a su resistencia y capacidad para formar aleaciones (pp. 117-223-297-300).

3.2.1.2 Fuentes de Contaminación por Metales Pesados. Para Leyte (2019) nos menciona que las industrias como la minería, fundiciones, plantas de energía, fabricantes de fertilizantes y pesticidas generan residuos con metales pesados; si no se gestionan correctamente, estos residuos contaminan los ecosistemas acuáticos (p. 3).

También García (2016) afirma que la agricultura, metalurgia, producción energética, transporte y fabricación electrónica son fuentes de metales pesados; el manejo inapropiado de los residuos es un factor clave en la contaminación por metales pesados (p. 384).

Por otro lado, Rosas (2005) menciona que la agricultura, la metalurgia, la energía y la electrónica liberan metales pesados, la gestión inadecuada de residuos agrava la contaminación (p. 2).

3.2.1.3 Efectos de la Contaminación por Metales Pesados. Según Rosas (2005) nos menciona que, aunque esenciales en cantidades mínimas para ciertos procesos biológicos, los metales pesados pueden tener efectos beneficiosos o perjudiciales en los organismos según su concentración (p. 2).

También Hernández (2022) afirma que el arsénico se relaciona con un mayor riesgo de cáncer en diversos órganos y enfermedades cardiovasculares; el cadmio puede provocar daños en riñones, hígado y huesos, incrementando el riesgo de cáncer de pulmón y riñón. Por su parte, el plomo puede afectar el sistema nervioso, óseo y sanguíneo (p. 3).

Por otro lado, Argota (2012) menciona en líneas generales, que la exposición a metales pesados por encima de ciertos límites puede resultar altamente tóxica para la mayoría de los seres vivos (p. 10).

3.2.2 *Subsistemas ambientales*

De acuerdo a Gonzales (2018) un subsistema ambiental es un componente específico del medio ambiente. (p. 52). La calidad y cantidad de agua determinan el crecimiento de las plantas y la biodiversidad, mientras que el suelo rico en nutrientes sustenta el crecimiento vegetal. La vegetación, a su vez, influye en el clima local y proporciona recursos a otras especies. Cualquier desequilibrio en este sistema tiene consecuencias negativas de gran alcance para todo el ecosistema.

3.2.2.1 *Definición de Persea americana (Palto) y Citrus sinensis (Naranja)*

Nos menciona Lemus (2010) que el palto es un árbol de hoja perenne nativo de América Central, donde se desarrolla en áreas boscosas donde distintas especies compiten por luz y espacio de manera constante (p. 10).

En su taxonomía para Rebolledo (2019) la *Persea americana* (palto) se clasifica dentro de las Magnoliophyta y pertenece a la familia Lauraceae, destacada por árboles aromáticos perennes con flores axilares y frutos como bayas o drupas. (p. 4).

El sistema radicular del palto para Alfonso (2008) las raíces del palto están caracterizada por ser superficial y la raíz principal suele ser corta y débil alcanza una profundidad de 1 a 1.5 m., por la escasez de pelos absorbentes, la absorción de agua y nutrientes se realiza a través de los tejidos primarios. (p. 6). Siguiendo esta misma línea en relación al tallo de palto para Alfonso (2008) el tallo presenta un tronco leñoso y recto, su corteza es suberosa, cambiando de lisa a agrietada con un grosor de hasta 30 Mm, su tejido leñoso exhibe un color crema claro y vasos anchos (p. 7).

Por otro lado, Miranda (2020) menciona que el naranja es un árbol de tamaño mediano de hoja perenne, con un crecimiento vertical que puede alcanzar entre seis y diez

metros de altura dependiendo del patrón utilizado. Su madera es duradera y su corteza varía en tonalidades desde verde hasta gris-marrón (p. 27).

La taxonomía del *Citrus sinensis* (naranja) para Bologna, (2006) pertenece a la familia Rutaceae y al género *Citrus*, que abarca 16 especies de hoja perenne con espinas, flores en inflorescencias, y frutos esféricos u ovals con corteza glandular y pulpa jugosa segmentada (p. 12).

Además, los tallos del naranja para Miranda (2020) presenta crecimiento longitudinal y en grosor, con una cinética irregular que va desde muy lento hasta cesar con ramas principales que influyen en su aspecto y arquitectura. Además, el sistema radical es distribuido horizontal y verticalmente, concentra la mayoría de sus raíces (más del 70%) en el primer metro de suelo con raíces laterales numerosas, extendiéndose más allá de la copa y alcanzando 6-7 metros horizontalmente (pp. 26-28).

3.2.2.2 Suelos agrícolas. De acuerdo al MIDAGRI (2023) nos dice que el suelo es vital para la vida vegetal, proveyendo nutrientes esenciales que alimentan a las plantas y, en última instancia, a la humanidad (p. 3).

3.2.2.3 Agua para riego. Para Fernández (2012) menciona que el agua es fundamental para la vida, sustentando y regulando el clima global. Su poder transformar el paisaje terrestre, convirtiéndolo en un elemento esencial para la existencia humana (p.148).

3.2.2.4 Efectos de la Contaminación por elementos inorgánicos (Metales Pesados) en Cultivos. Guzmán (2019) menciona que las actividades humanas, aunque no parezca un riesgo inmediato, pueden contaminar gradualmente el suelo agrícola debido a las emisiones, la mala gestión de residuos y el almacenamiento inadecuado de sustancias, liberando elementos tóxicos (p.2).

3.3 Definición de términos

- 1. Agricultura:** La agricultura es la actividad económica que se encarga de cultivar la tierra para producir alimentos, fibras, materias primas y otros productos vegetales. Abarca una amplia gama de prácticas, desde la siembra y el cuidado de los cultivos hasta la cosecha y el procesamiento de los productos.
- 2. Agua:** El agua es indispensable para la supervivencia, siendo un compuesto químico inodoro, insípido e incoloro en su forma pura (H₂O).
- 3. Aluminio:** El aluminio (Al) es un elemento químico metálico, perteneciente al grupo 13 de la tabla periódica.
- 4. Análisis de laboratorio:** El análisis de laboratorio permite determinar la composición precisa de una muestra, identificando y cuantificando las sustancias que la componen
- 5. Arsénico:** Es un metaloide presente en la corteza terrestre en múltiples formas, es más dañino para la salud en su forma inorgánica, pudiendo causar enfermedades y cáncer.
- 6. Bioacumulación:** La bioacumulación es el proceso por el cual los metales pesados se concentran en los tejidos de los organismos a medida que se transfieren a través de la cadena alimentaria.
- 7. Cadmio:** El cadmio es un metal pesado tóxico que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Aunque no es esencial para la vida, su toxicidad lo convierte en

un elemento peligroso para los seres vivos, pudiendo causar daños en los riñones, el hígado y los huesos, e incluso cáncer.

- 8. Concentración:** La concentración se refiere a la cantidad de una sustancia, ya sea natural o contaminante, presente en un volumen o masa específicos del medio ambiente.
- 9. Contaminación ambiental:** La contaminación ambiental ocurre cuando sustancias o energía dañinas se introducen en el ecosistema, originándose naturalmente o como consecuencia de la actividad humana.
- 10. Cultivo:** Un cultivo es la práctica de cultivar plantas o animales para obtener productos útiles para el ser humano, como alimentos, fibras, medicinas, entre otros. Implica la selección, siembra, cuidado y recolección de especies vegetales o animales domesticadas.
- 11. Cultivares:** son una categoría independiente y básica en uso para la identificación de organismos en agricultura, silvicultura y horticultura
- 12. Estándares de Calidad Ambiental (ECAs):** Los ECA son herramientas de gestión ambiental que determinan los niveles permisibles máximos de contaminantes en el aire, el agua y el suelo.
- 13. Fitorremediación:** Uso de plantas para eliminar o reducir contaminantes del suelo o agua.
- 14. Hierro:** El hierro es un elemento químico esencial para la vida, crucial en procesos biológicos su disponibilidad en el suelo puede afectar significativamente la salud y productividad de las plantas.
- 15. Impacto ambiental:** El impacto ambiental abarca todas las consecuencias, positivas o negativas, de las actividades humanas sobre el medio ambiente y sus recursos.

- 16. Manganeso:** El manganeso es un elemento esencial para las plantas, que ayuda en procesos vitales como la fotosíntesis y la formación de clorofila, aunque en cantidades excesivas puede ser tóxico.
- 17. Metales pesados:** Los metales pesados son elementos químicos densos y pesados que resultan tóxicos para los organismos vivos.
- 18. Muestreo:** El muestreo es la técnica de seleccionar una parte representativa de una población para estudiarla y obtener conclusiones sobre la totalidad.
- 19. Plomo:** Se trata de un metal blando, pesado y gris azulado: el plomo (Pb), cuyo número atómico es 82. Es un elemento peligroso y su manipulación debe hacerse con precaución y siguiendo las normas de seguridad.
- 20. Quebrada:** Una quebrada es un valle angosto y profundo, generalmente con un río o arroyo que lo atraviesa.
- 21. Riego:** El riego es una técnica fundamental en la agricultura que consiste en la aplicación controlada de agua a los cultivos para garantizar su crecimiento óptimo.
- 22. Riesgo ambiental:** La probabilidad de que sustancias peligrosas en el medio ambiente causen daño a los ecosistemas se conoce como riesgo ambiental.
- 23. Suelo:** Compuesto por minerales, materia orgánica, agua, aire y vida, el suelo es un recurso indispensable para el planeta. Este sustrato vital soporta la agricultura, influye en la calidad del agua, ayuda a combatir el cambio climático, proporciona hábitat a diversas especies y contribuye a la purificación del aire y el agua.
- 24. Sistema ambiental:** Los sistemas ambientales son redes complejas e interactivas de organismos vivos y elementos no vivos, que se influyen mutuamente y con su entorno.
- 25. Subsistema ambiental:** Los subsistemas ambientales son partes interconectadas y mutuamente dependientes de un sistema ambiental más amplio.

26. Factores ambientales: Las condiciones físicas, químicas y biológicas del entorno (factores ambientales) determinan cómo funcionan los sistemas y subsistemas ambientales.

27. Tejido vegetal: Las plantas están compuestas por diversos tejidos vegetales, cada uno formado por células especializadas con funciones específicas para el crecimiento, la nutrición y la reproducción de la planta.

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 *Tipo de investigación*

Es una investigación de tipo aplicada, que busca solucionar un problema real. Al identificar la concentración de metales en la quebrada Oroyapampa, que permitirán desarrollar soluciones. Este trabajo consiste en evaluar la concentración de metales pesados en el suelo, agua y tejido vegetal. De acuerdo a Sampieri (2014) es decir que se recolectan datos y se analizan esta clase de investigación cumple la función de resolver problemas (investigación aplicada) (p. 24).

Esto demuestra que la tesis se alinea con la investigación aplicada, busca desarrollar conocimiento práctico y útil para enfrentar los desafíos de la contaminación.

La metodología de este estudio fue cuantitativa, con la recolección y el análisis de datos numéricos como elementos centrales. Mata (2020) este enfoque nos permite probar una hipótesis y establecer las relaciones entre variables, contribuyendo así a lograr resultados más objetivos y generalizables (p. 6).

4.1.2 *Nivel de investigación*

Es un estudio experimental que determinó la concentración de metales pesados en los cultivos de palto y naranjo de la quebrada Oroyapampa. Nos dice

Sampieri (2014) el primer requisito para que sea experimental es que la variable independiente es fundamental para el investigador porque se piensa que es una de las razones que causan el efecto que se está estudiando, y se busca comprobar esta conexión causal. (p. 130).

El estudio experimental sobre metales pesados en paltos y naranjos de Oroyapampa busca determinar si la concentración de estos metales es una causa del efecto observado en los cultivos, siguiendo el enfoque de Sampieri (2014) para establecer una relación causal.

4.1.3 Diseño de investigación

La investigación sigue un diseño Cuasi experimental. Menciona Sampieri (2014) que, en los estudios cuasiexperimentales, las muestras no se eligen al azar; si no que, los grupos ya existen antes de que comience el experimento. (p. 151).

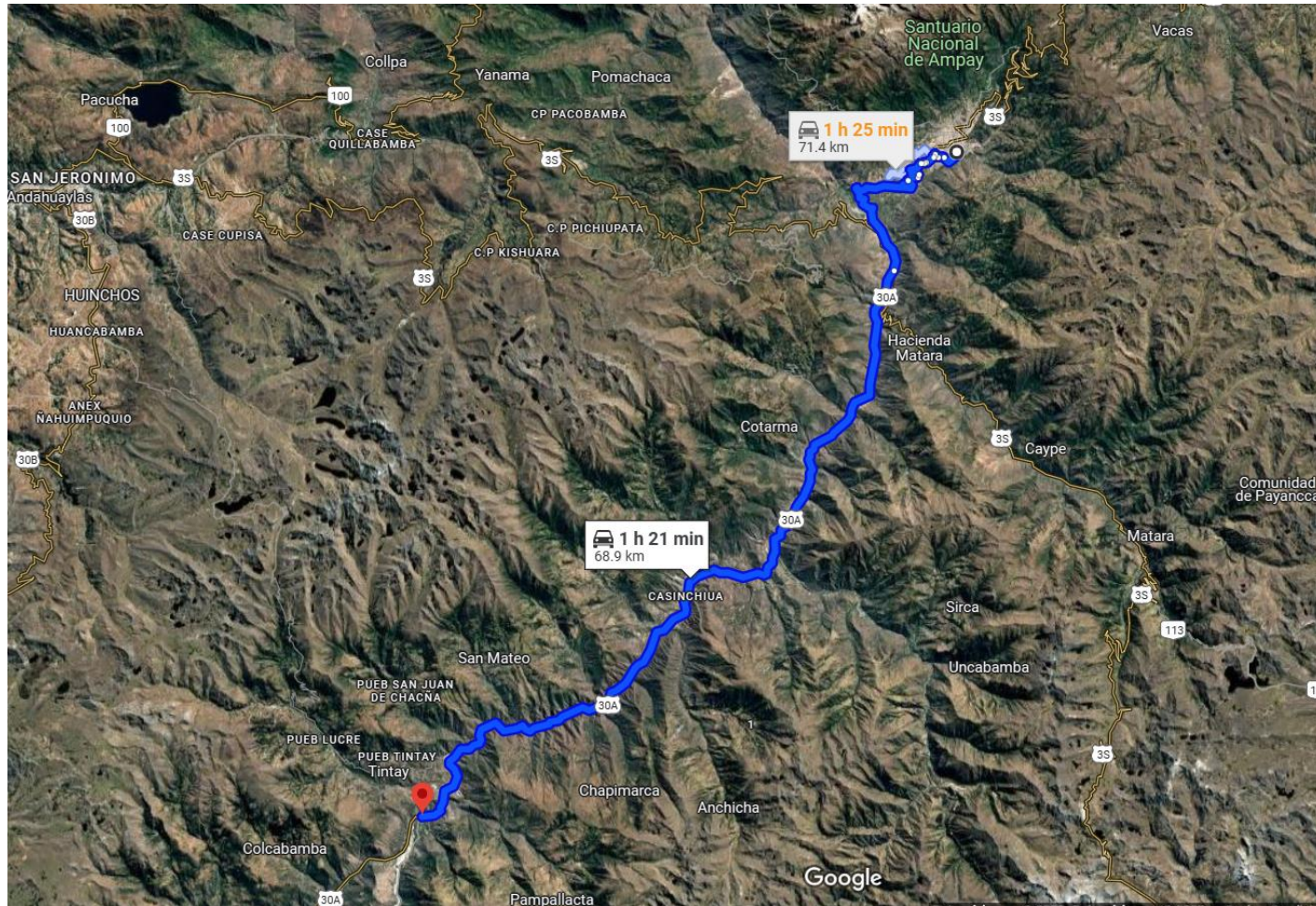
4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Delimitación espacial

El área geográfica abarcada por la investigación, infiere los terrenos de cultivos de palto y naranjo ubicados en la quebrada Oroyapampa, en la provincia de Aymaraes, dentro de la región de Apurímac. Esta región montañosa y fértil proporciona el escenario ideal para estudiar las consecuencias producidas por los metales pesados en el agua para riego en los suelos agrícolas y en los cultivos, brindando un contexto único y significativo para la investigación.

Figura 3

Distancia desde Abancay hasta la Quebrada Oroyapampa-Aymaraes



Nota. La figura muestra el tiempo estimado de viaje en vehículo desde Abancay hasta el área de estudio. Elaboración propia.

La quebrada Oroyapampa, se ubica en el distrito de Colcabamba, se localiza a 68.9 kilómetros al suroeste del distrito de Abancay, con un tiempo estimado de desplazamiento en automóvil de aproximadamente 1 hora y 21 minutos. Con una altitud de 2266.8 m.s.n.m.

Tabla 2

Datos del anexo de Oroyapampa en Aymaraes

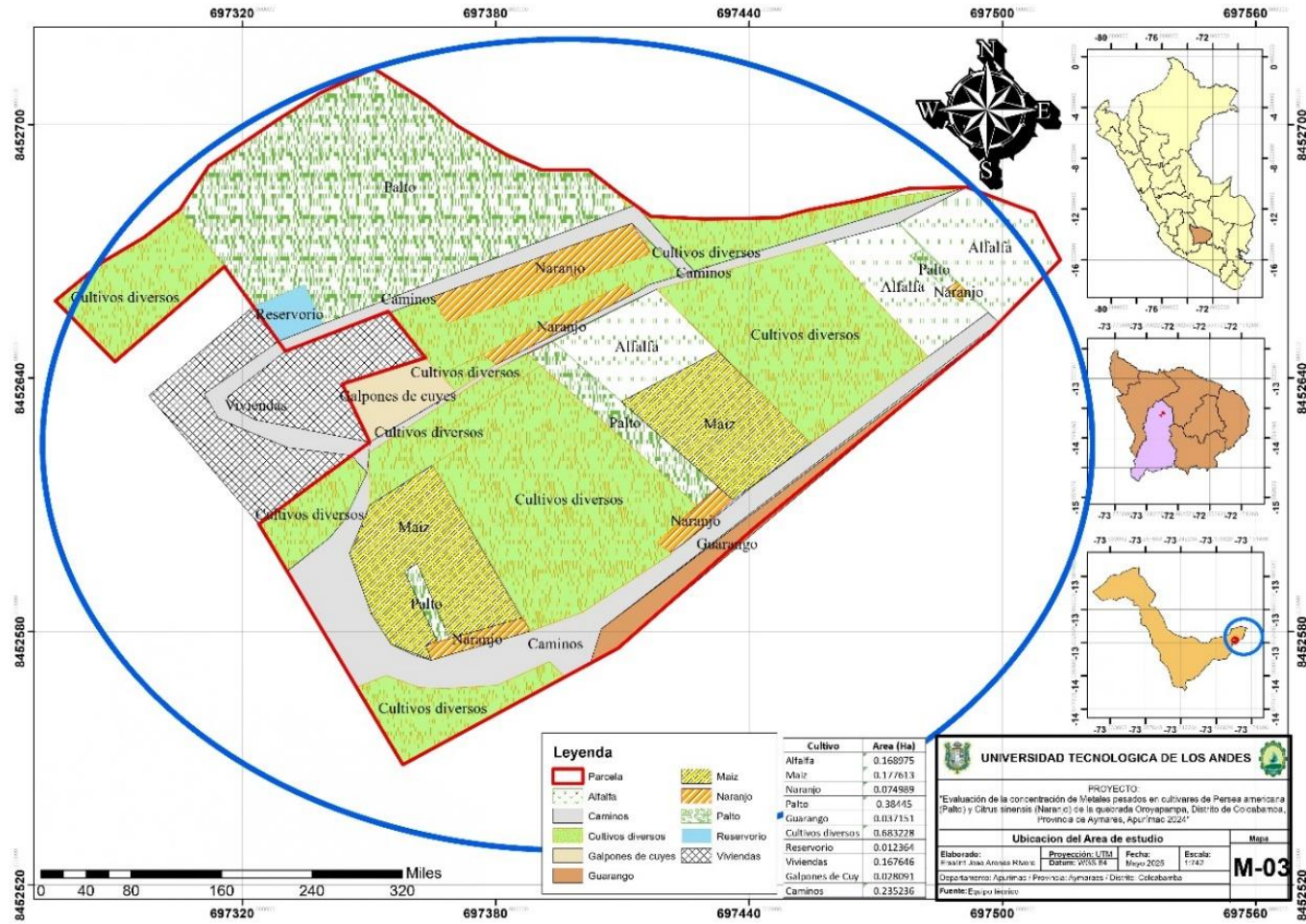
DATOS DEL ANEXO OROYAPAMPA	
Característica	Descripción
Ubicación	Anexo de Oroyapampa, Colcabamba, Aymaraes, Apurímac
Código de ubigeo	El código de ubigeo del centro poblado de Oroyapampa es 304050017
Coordenadas	Longitud de -73.173505, una latitud de -13.990415 y una altitud de 2266.8 metros.
Servicios básicos	La información sobre los servicios básicos en este lugar indica que el anexo tiene acceso a agua potable por red pública y energía eléctrica en las viviendas. Sin embargo, no cuentan con desagüe por red pública.
Infraestructura	La información sobre la infraestructura indica que la comunidad tiene acceso a un camino carrozable, lo que significa que se puede llegar a ella en vehículo. El transporte más utilizado es el automóvil.

Nota: Esta tabla proporciona una visión general de la ubicación, identificación, servicios básicos e infraestructura del Anexo de Oroyapampa, tomado del Sistema de consulta de centros poblados del INEI

Con el objetivo de proporcionar una visión detallada y precisa del área de estudio, se adjunta a continuación un mapa que ilustra la ubicación exacta, la delimitación geográfica de la zona de investigación y los tipos de cultivos.

Figura 4

Mapa de ubicación y localización



Nota. La figura muestra la distribución de diferentes cultivos, caminos, viviendas y otras características del terreno. Elaboración propia.

Se identificaron cultivos diversos, maíz, palto, alfalfa, naranjos y guarango, además de caminos, un reservorio de agua y galpones para cuyes, la leyenda proporciona información sobre el área en hectáreas de cada cultivo, el mapa incluye coordenadas y una ubicación geográfica más amplia en Perú.

Tabla 3

Área (Ha) cultivada

Cultivo	Área (Ha)
Alfalfa	0.168975
Maíz	0.177613
Naranjo	0.074989
Palto	0.38445
Huarango	0.037151
Cultivos diversos	0.683228
Reservorio	0.012364
Viviendas	0.167646
Galpones de Cuy	0.028091
Caminos	0.235236

Nota. La tabla muestra la distribución del uso de la tierra. Elaboración propia.

El cultivo de tierras presenta una variedad de áreas dedicadas a diferentes productos y estructuras

4.2.2 Delimitación temporal

El proyecto de investigación se llevó a cabo durante el año 2024 y 2025, abarcando específicamente los meses de noviembre del 2024 a junio del 2025.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de estudio comprende los suelos agrícolas donde se cultivan *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranjo) que es de 0.4593 (Ha), incluyendo el agua de riego utilizada proveniente del río Chalhuanca y cultivos de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranjo).

4.3.2 Tipo de muestreo

Probabilístico de tipo sistémico, los criterios de selección de la muestra se hicieron aplicando el método de muestreo básico utilizado en métodos estadísticos y cálculos, se ha asignado números a los tratamientos ejecutados de los tres sub sistemas con un diseño experimental.

4.3.3 Muestra

Se tomarán 6 muestras para suelo agrícola, 6 muestras para agua de riego y 6 muestras de tejido vegetal siguiendo los criterios siguientes para cada subsistema:

Suelos agrícolas. Se seleccionó seis muestras representativas de suelos agrícolas donde se cultivan palta y naranja del área de estudio en la quebrada Oroyapampa.

Criterios de selección: Se ha tomado en cuenta el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo, donde indica los criterios de selección de muestras

Tabla 4

Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación.

Número mínimo de puntos de muestreo para el muestreo de identificación	
Área de interés (ha)	Puntos de muestreo
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Nota. La figura contempla el número de muestras de acuerdo al tamaño del área en estudio.

Tomado de la Guía para el Muestreo de Suelos/ En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo.

La superficie total destinada al cultivo de *Persea americana* (paltos) y *Citrus sinensis* (naranjos) es de 0.4593 hectáreas como se describe en la tabla siguiente.

Tabla 5

Área de uso de suelo con cultivos de Palta y Naranja

Cultivo	Área (Ha)
Naranja	0.0749
Palto	0.3844
Total	0.4593

Nota. La tabla indica que el área total cultivada con naranjos y paltos es de 0.4593 hectáreas, siendo el palto el cultivo predominante. Elaboración propia.

De acuerdo a MINAM (2013) Para obtener resultados confiables en un estudio, es crucial tomar una cantidad de muestras de un número igual o mayor de puntos de muestreo. Además, indica que para áreas mayores a 100 Ha se determinara con la formula siguiente (pp.24-25).

$$N = 0.1x + 40$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo

X =Superficie en hectáreas

Nuestra población en suelos no supera los a 100 Ha, por ende, como indica la Guía para el Muestreo de Suelos/ En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo. No se tomará de acuerdo a esta fórmula. Sino como indica para 0.4593 Ha se tomará una cantidad de muestras de un número igual o mayor Numero mayo de 0.4593 Ha de acuerdo a la tabla es 0.50 Ha por ello se tomaron una cantidad de seis (6) muestras de suelo agrícola representativas del área de estudio.

Agua de riego. Se seleccionó seis muestras representativas del agua del río Chalhuanca utilizada para riego en los cultivos de palto y naranja, tres muestras en épocas de estiaje y otras tres muestras en épocas de avenida.

Criterios de selección: Siguiendo los criterios de la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA para la selección de puntos de muestreo (aguas arriba, aguas por debajo de fuentes contaminantes puntuales y aguas abajo), y considerando la estacionalidad de la cuenca (avenida y estiaje), se realizarán un total de seis muestreos. En cada época (avenida y estiaje) se tomará una muestra aguas arriba, una muestra aguas abajo de las fuentes contaminantes y una muestra aguas abajo, para un total de tres muestras por época.

Tejido vegetal. Se selecciono muestras de plantaciones de palto y naranja dentro del área de estudio. Estas muestras son 1kg de tallo de palto, 1kg de tallo de naranjo, 1kg de raíz de palto y 1kg de raíz de naranjo. De acuerdo a Walinga (1995) y a lo solicitado por el laboratorio de análisis de tejido vegetal.

Criterios de selección: Según el artículo denominado El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial, indica lo siguiente: Ruiz (2017) Para poder comparar las medias de dos grupos con datos cuantitativos continuos y distribución normal, la prueba t de Student es una opción apropiada. Así mismo se indica que la cantidad de muestras necesarias para realizar un promedio, los promedios resultan de la suma de un conjunto de muestras dividida por la cantidad de muestras relacionadas medidas tres o más veces (p.367).

De acuerdo a estas consideraciones se tomaron cuatro muestras representativas para el tejido vegetal. Los individuos que se tomaron como muestra fueron de 3 años de edad para poder estimar el tamaño de la raíz, grosor de tallo de 5 cm para poder llegar al peso 1kg por cada muestra y color que indiquen buena salud.

4.4 Instrumentos

4.4.1 Técnicas e instrumentos para el muestreo de Suelos agrícolas

Para determinar si el suelo presenta niveles de contaminación por metales pesados, se llevará a cabo un muestreo de identificación (MI). Se utiliza un muestreo que respeta las

especificaciones del Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, permite evaluar si la concentración de metales pesados en el suelo supera los ECA para suelo no contaminado. El muestreo de identificación es un paso fundamental para determinar si se requiere un análisis más detallado para la evaluación de la contaminación del suelo y la consiguiente planificación de medidas de remediación.

Para determinar si el suelo está contaminado, de acuerdo a MINAM (2014) se tomarán muestras representativas que se analizarán para verificar si los niveles de contaminantes exceden los estándares de calidad ambiental (p.24).

Tabla 6

Profundidad del muestreo según el uso del suelo.

Profundidad del muestreo según el uso del suelo	
Suelo Agrícola	0-30 cm (1)
	30-60 cm
Suelo Residencial / Parques	0-10 cm (2)
	10-30 cm (3)
Suelo Comercial / Industrial / Extractivo	0-10 cm (2)

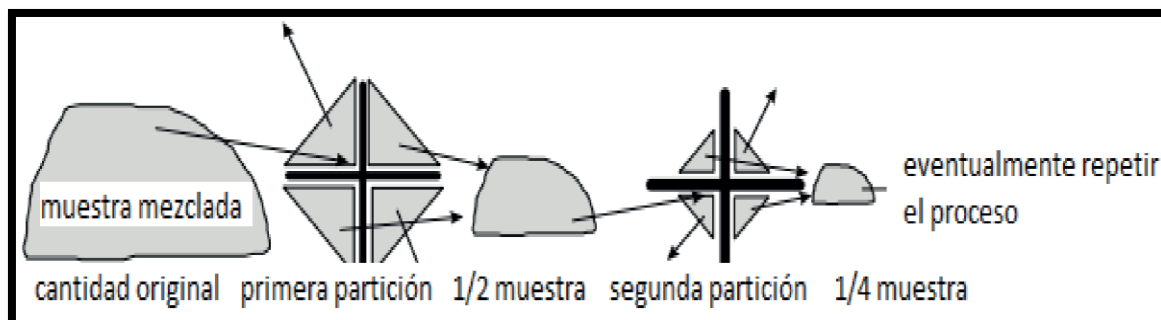
Nota. La figura muestra la profundidad a la que se tomaran las muestras de suelo agrícola.

Tomado de la Guía para el Muestreo de Suelos/ En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo.

Se procedió a tomar muestras superficiales de suelo agrícola (aproximadamente a 30 cm de profundidad), se usó empleó de una pala de tipo "recta" con el objetivo de obtener alrededor de 4 kg de suelo por cada muestra individual.

Figura 5

Cuarteo de muestra de suelo



Nota. La figura muestra el método de cuarteo de las sub muestras para la muestra final. Tomado de la Guía para el Muestreo de Suelos/ En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo.

El método del cuarteo es una técnica para reducir el tamaño de una muestra conservando su representatividad, dividiéndola repetidamente en cuatro partes y descartando partes opuestas hasta obtener la cantidad deseada.

Figura 6

Técnica del cuarteo para la toma de muestras empleada.



Nota. Muestra de suelo tomado en el área de estudio Oroyapampa. Elaboración propia

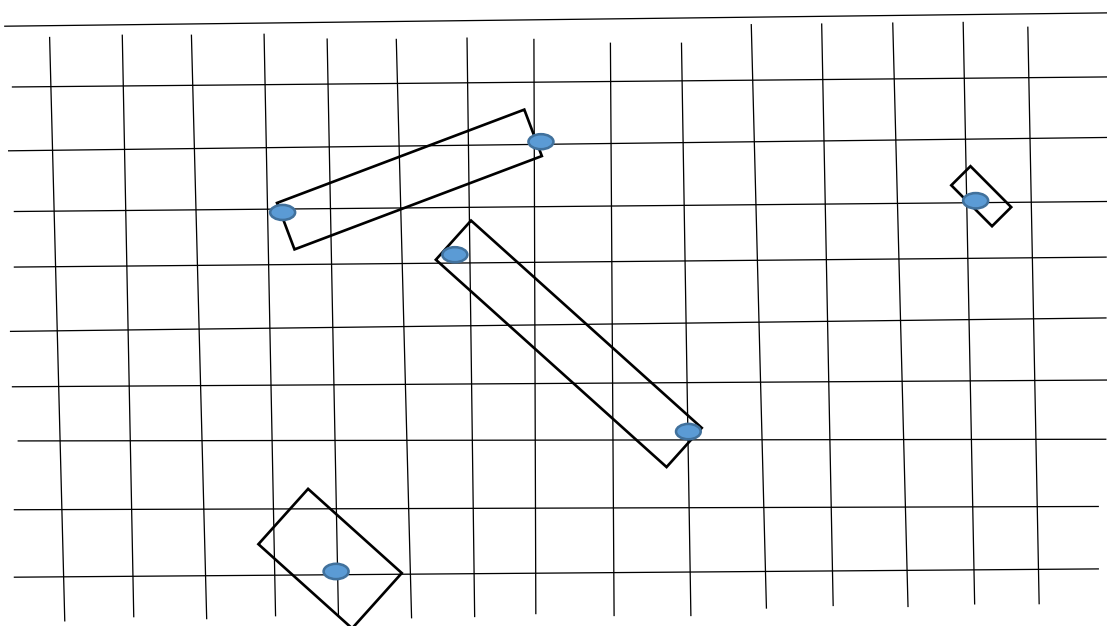
La muestra representativa, obtenida tras el cuarteo consistió en 1 kg de suelo.

Procedimiento de la colección de muestras de suelo.

En el presente estudio, se seleccionó un patrón de muestreo aleatorio simple como se muestra a continuación.

Figura 7

Patrón de muestreo aleatorio simple.

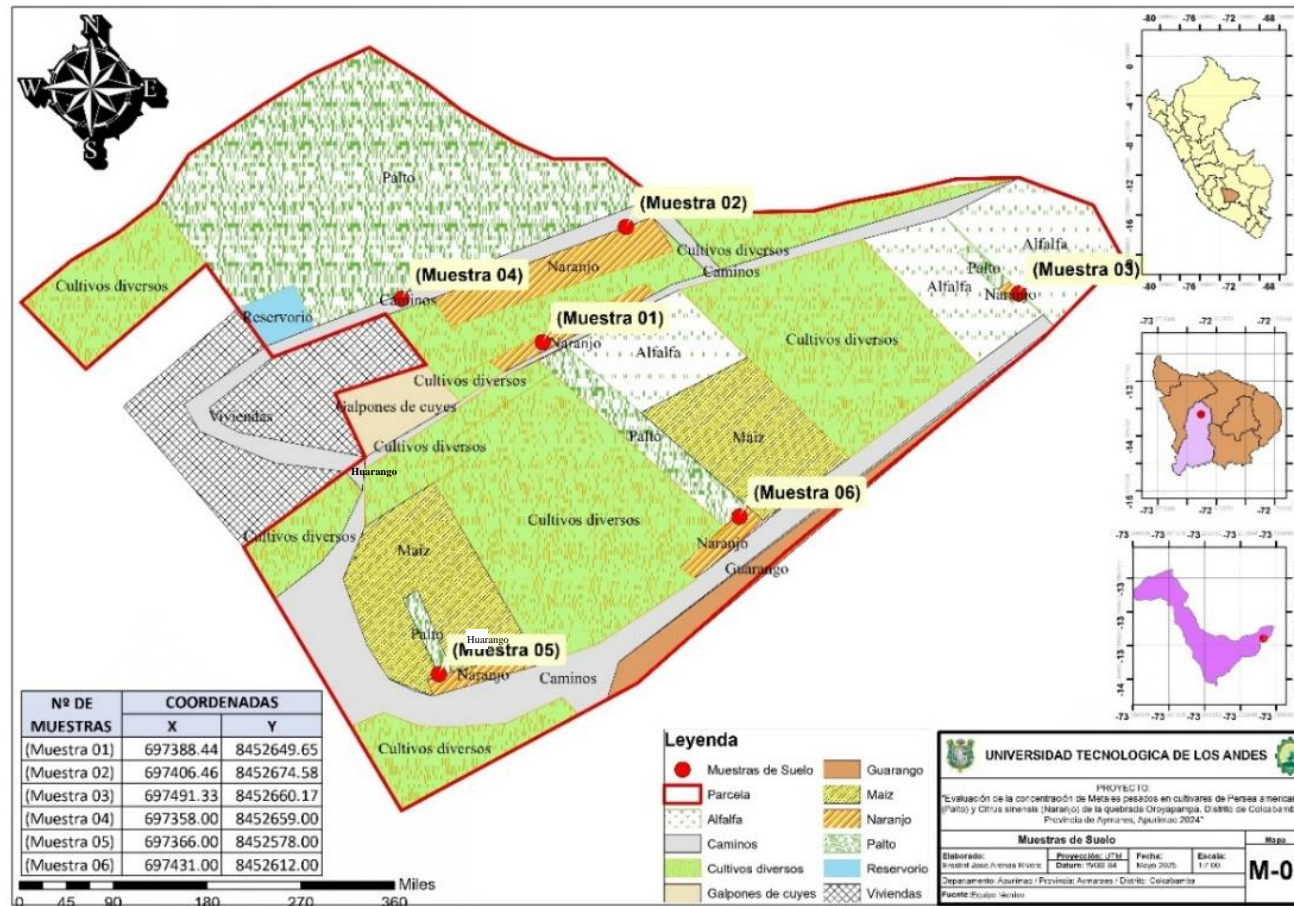


Nota. La figura muestra el patrón de muestreo para suelo agrícola en el que se tomaron muestras en varios puntos distribuidos. Elaboración propia.

Como procedimiento más adecuado para la recolección de datos en el área designada. Se establecieron seis (6) puntos de muestreo, y en los suelos agrícolas las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm. La recolección de las muestras se llevó a cabo utilizando los materiales y equipos apropiados, asegurando la integridad y representatividad de los datos obtenidos.

Figura 8

Ubicación de las muestras de suelo



Nota. La figura muestra la ubicación de los seis puntos de muestreo de suelo agrícola en el área de estudio. Elaboración propia.

Tabla 7*Coordenadas del punto de muestreo de suelos agrícolas*

Nº Muestras de suelo	X	Y
Muestra 01	697388.44	8452649.65
Muestra 02	697406.46	8452674.58
Muestra 03	697491.33	8452660.17
Muestra 04	697358.00	8452659.00
Muestra 05	697366.00	8452578.00
Muestra 06	697431.00	8452612.00

Nota. La tabla muestra las coordenadas de los puntos de muestreo de suelo agrícola en la quebrada Oroyapampa. Elaboración propia.

En la fase de toma de muestras, inicialmente se identificaron los puntos de muestreo según la metodología establecida. Posteriormente, se preparó cada área de muestreo, removiendo cualquier vegetación, residuo o escombros que pudiera comprometer la integridad de la muestra a recolectar. Este procedimiento garantizó la obtención de muestras representativas y libres de contaminantes externos.

Figura 9*Preparación del área de muestreo de suelo.*

Nota. La figura muestra la forma de preparación de la superficie del suelo limpiando los restos orgánicos y malezas para la toma de las muestras. Elaboración Propia.

Para la extracción de la muestra, se utilizó una pala tipo recta, obteniendo el suelo a la profundidad previamente definida de 30 cm de profundidad. Se garantizó que la muestra recolectada fuera representativa del área en estudio, siguiendo los protocolos establecidos para asegurar la validez de los resultados.

Figura 10

Toma de muestra de suelos.



Nota. La figura muestra el modo de la toma de muestras de suelo agrícola. Elaboración Propia.

En el proceso de preparación de la muestra, se retiraron los bordes utilizando un cuchillo, machete o, en su defecto, manualmente asegurando la limpieza de la muestra. Este procedimiento cuidadoso resultó en la obtención de una tajada de suelo de aproximadamente 5 cm de ancho, siguiendo las especificaciones de la Guía para el Muestreo de Suelos/ En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, ECA para suelo.

Figura 11

Limpieza de la sub muestra de suelo agrícola.



Nota. La figura muestra la forma limpia de la muestra de suelo tomada. Elaboración propia.

Se procedió a depositar la sub muestra en un recipiente o en una superficie cubierta de plástico limpiando de impurezas (raíces, hojas, piedras etc.), para su posterior cuarteo.

Figura 12

Depositar la sub muestra en un recipiente para dividir en cuatro porciones.



Nota. La figura muestra la técnica del cuarteo de las sub muestras de suelo agrícola.

Elaboración propia.

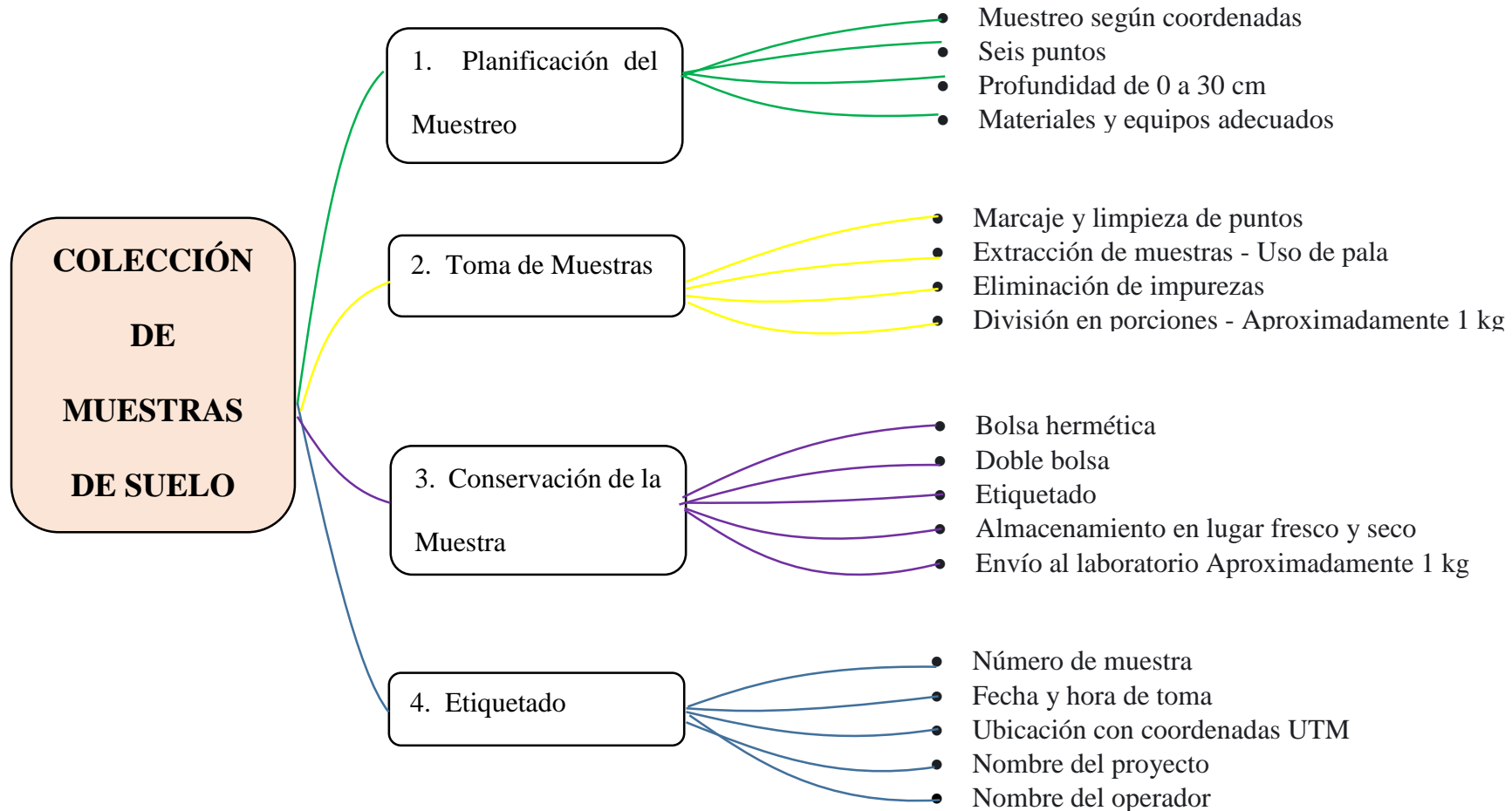
El proceso de cuarteo consistió en limpiar la submuestra de impurezas y dividirla en cuatro porciones, siguiendo el esquema ilustrado en la imagen de referencia. Se eliminaron los extremos y se mezclaron las porciones restantes, repitiendo esta operación hasta obtener aproximadamente 1 kg de muestra.

Para la conservación de la muestra, se introdujo en una bolsa con cierre hermético, asegurando su sellado, y luego se colocó dentro de otra bolsa. Se añadió una etiqueta con la información pertinente. La muestra se almacenó en un lugar fresco y seco hasta su envío al laboratorio.

En cuanto al etiquetado, se registró el número de muestra, la fecha y hora del muestreo, la ubicación del muestreo con coordenadas UTM, el nombre del proyecto y el nombre del operador. Esta información detallada garantizó la trazabilidad y correcta identificación de la muestra.

Figura 13

Proceso de colección de muestras de suelo.



Nota. La figura muestra el procedimiento de la guía técnica para el muestreo de suelos, alineada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo del Perú (Decreto Supremo 002-2013-MINAM), Elaboración propia.

Tabla 8*Técnica e instrumentos para el muestreo de suelos agrícolas*

Técnica	Instrumentos	Materiales
Se emplea la técnica del cuarteo para la recolección de las muestras de suelo agrícola en la quebrada Oroyapampa.	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza, 01 unidad • Serrucho, 01 unidad • Pala, 01 unidad • Cámara fotográfica, 01 unidad • Tablero, 01 unidad • Plumones indelebles, 01 unidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Botas de gebe, 02 unidades • Mascarilla, 02 unidades • Gorrilla, 02 unidades • Guantes de látex, 02 unidades • Bata, 02 unidades • Bolsa siplot, 12 unidades • Bolsa de 26×40 negra (bolsa de residuos), 06 unidades • Etiquetas para identificar las muestras, 06 unidades • Cinta adhesiva transparente, 01 unidad

Nota. La tabla ilustra la técnica, instrumento y materiales en el muestreo de suelos agrícolas.

Elaboración propia.

4.4.2 Técnicas e instrumentos para el muestreo de Agua de riego

El monitoreo de la calidad del agua se llevó a cabo siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de recursos hídricos superficiales, establecido por la Resolución Jefatural N°010.2016-ANA. Este protocolo, un documento técnico de referencia, define los procedimientos estandarizados para la toma de muestras, asegurando la uniformidad y la calidad de los datos recolectados.

Se consideraron los siguientes criterios:

Para la selección de los puntos de muestreo, se consideraron los siguientes criterios. En primer lugar, la ubicación de los puntos se realizó utilizando coordenadas UTM y el sistema Datum WGS84. En segundo lugar, se garantizó la accesibilidad, seleccionando lugares de muestreo que fueran de acceso seguro. En tercer lugar, se priorizó la representatividad, eligiendo puntos de monitoreo que presentaran un cauce regular y

uniforme. Finalmente, la periodicidad del monitoreo se determinó en función de la estacionalidad de la cuenca, considerando las épocas de crecida y de bajada del caudal. Adicionalmente, se consideraron los reportes de caudal del cuerpo de agua superficial para establecer la periodicidad del monitoreo.

Tabla 9

Caudal del río Chalhuanca

MES	RIO CHALHUANCA
Setiembre / 2018	88.00 (m ³ /s)
Diciembre / 2018	80.00 (m ³ /s)
Enero / 2018	387.26 (m ³ /s)
Febrero / 2018	682.71 (m ³ /s)
Marzo / 2018	411.11 (m ³ /s)
Abril / 2019	245.11 (m ³ /s)
Mayo / 2019	140.11 (m ³ /s)

Nota. La figura muestra el caudal del río Chalhuanca en relación a los meses del año. Tomado de Caracterización de los recursos hídricos superficiales de la microcuenca Chalhuanca/ Ministerio de la Producción 2018.

El río Chalhuanca, fuente de agua para riego en el área de estudio, tiene dos períodos estacionales definidos: la época de avenida, que abarca de enero a abril, y la época de estiaje, que se extiende de mayo a diciembre.

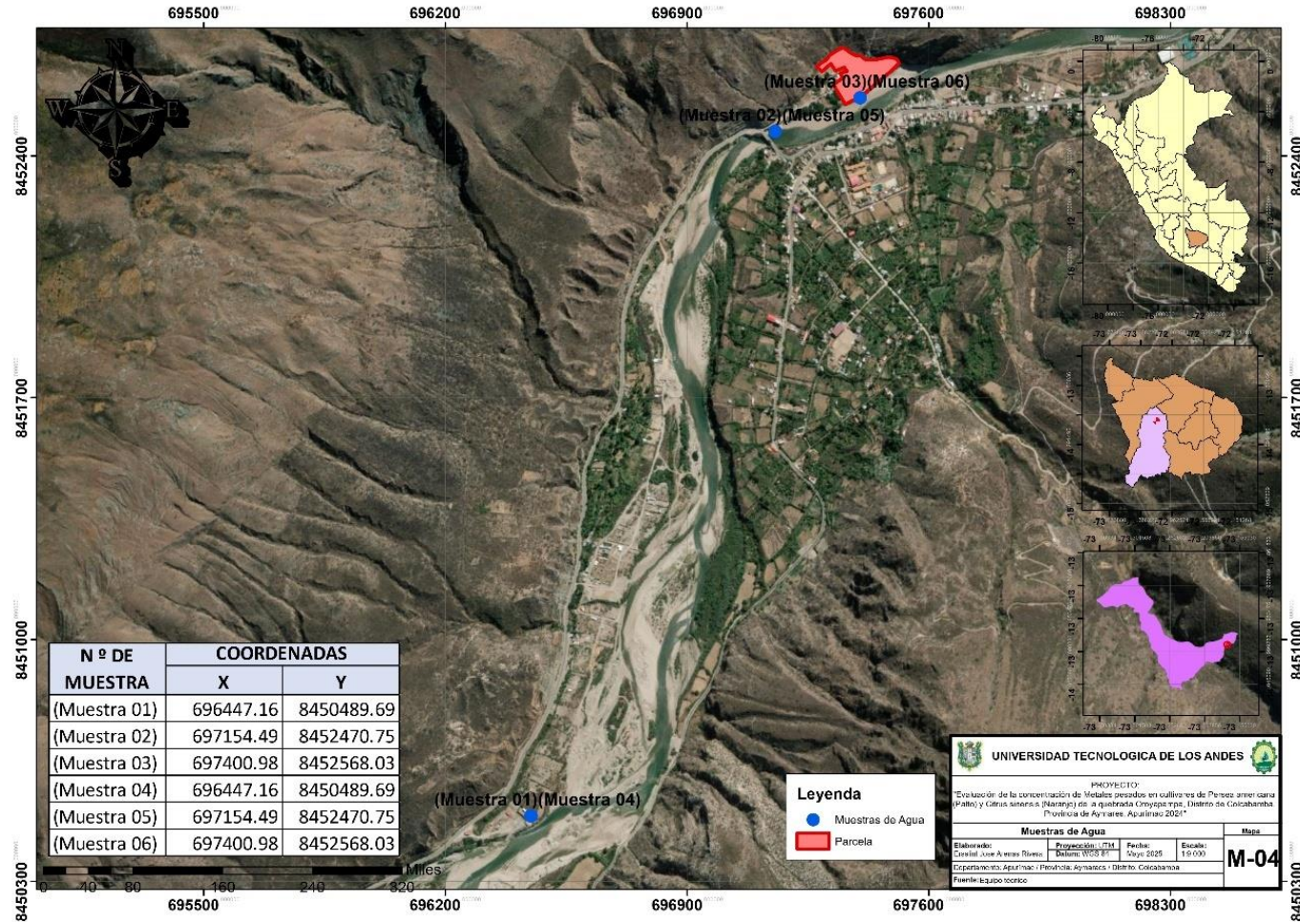
Para analizar las variaciones en el caudal del río, se establecieron dos momentos de muestreo: uno durante la época de avenida y otro durante la época de estiaje.

Toma de muestras desde la orilla.

Este procedimiento de muestreo, basado en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), se aplica a ríos caudalosos y profundos, y a lagos (muestreando desde la orilla).

Figura 14

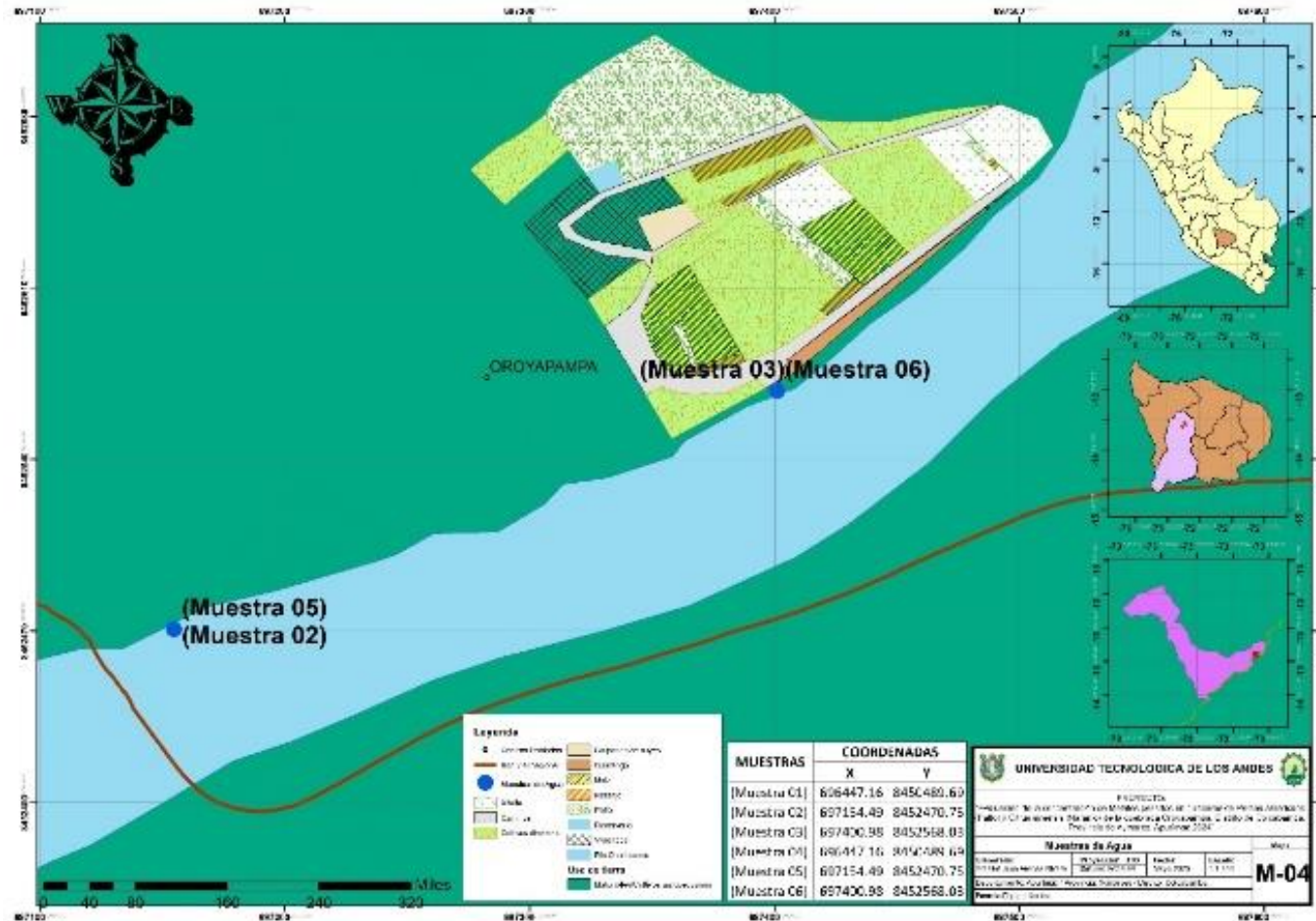
Ubicación de las muestras de Agua para riego.



Nota. La figura muestra la ubicación donde se obtendrán las muestras de agua para riego. Elaboración propia.

Figura 15

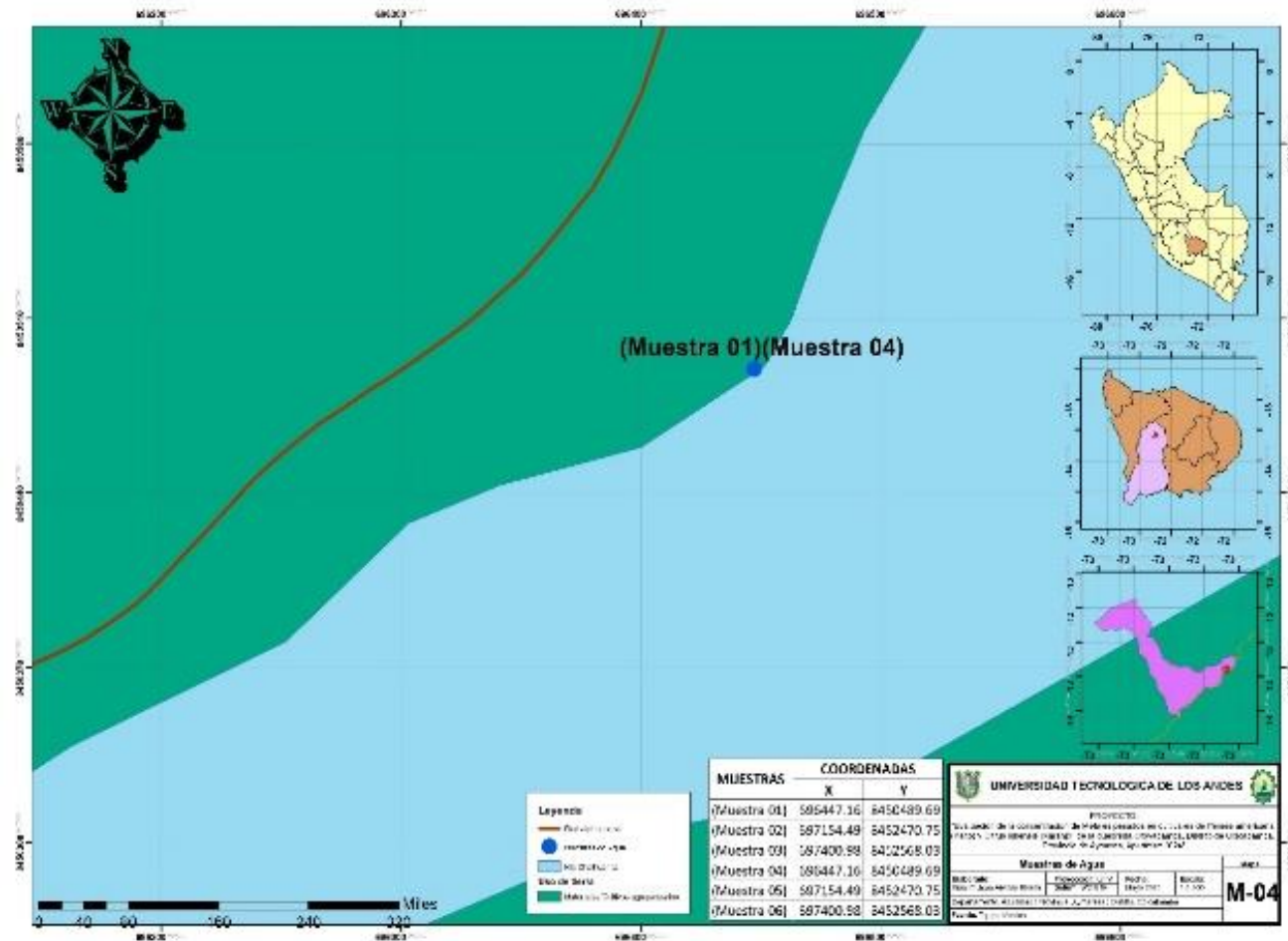
Ubicación de las muestras de Agua para riego



Nota. La figura muestra la ubicación donde se obtendrán las muestras 02,03,05 y 06 de agua. Elaboración propia.

Figura 16

Ubicación de las muestras de Agua para riego



Nota. La figura muestra la ubicación donde se obtendrán las muestras 01 y 04 de agua. Elaboración propia.

La figura muestra los puntos de monitoreo de manera global, las cuales fueron seleccionadas por factores logísticos, como la accesibilidad del terreno, homogeneidad de la corriente, etc. Las imágenes inferiores son los puntos de muestreo a una escala menor de 1:1300, para apreciar en más detalle.

Tabla 10

Coordenadas del punto de muestreo de agua para riego

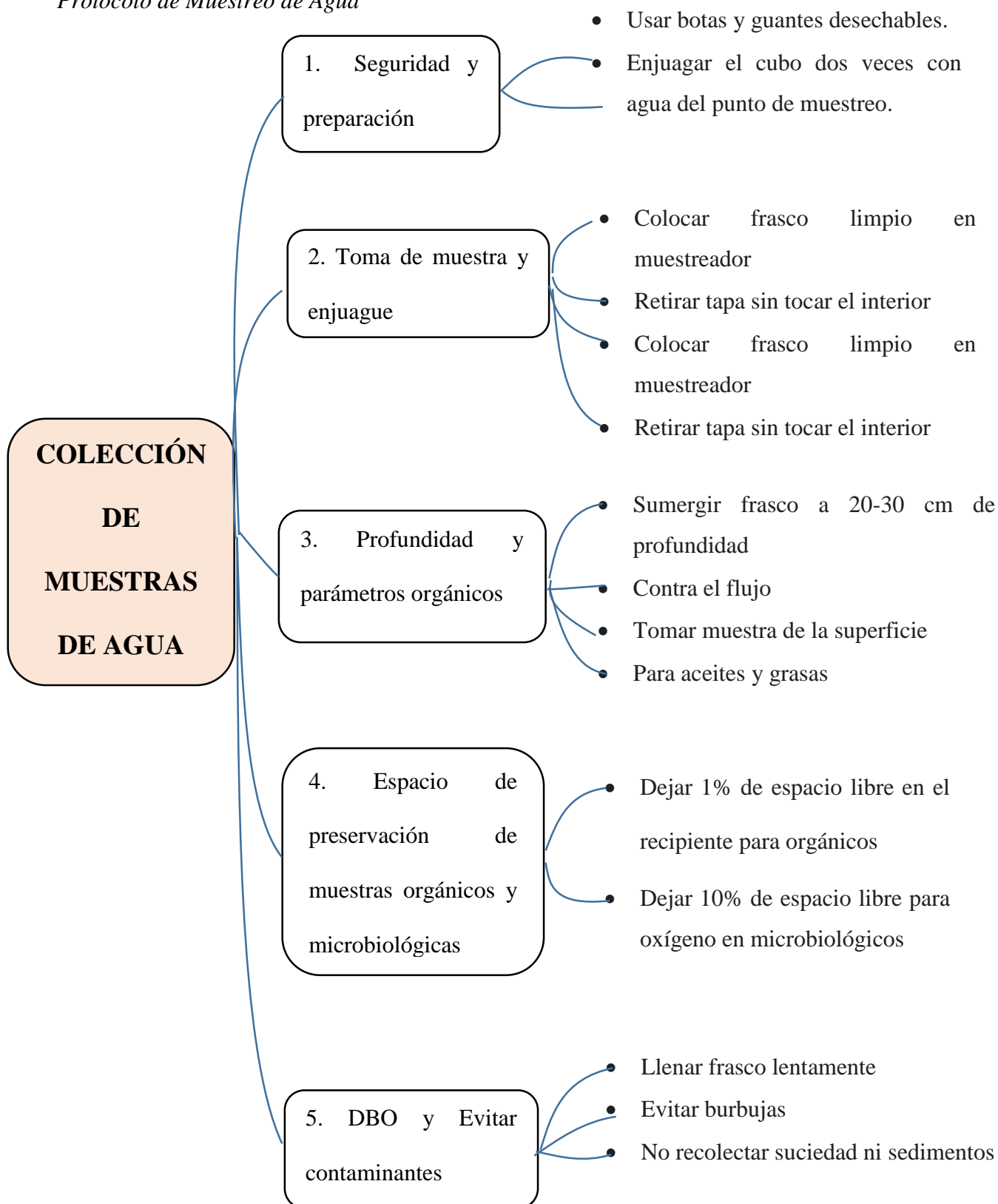
Nº Muestra de agua de riego	X	Y
Muestra 01	696447.16	8450489.69
Muestra 02	697154.49	8452470.75
Muestra 03	697400.98	8452568.03
Muestra 04	696447.16	8450489.69
Muestra 05	697154.49	8452470.75
Muestra 06	697400.98	8452568.03

Nota. La tabla muestra las coordenadas de muestreo de agua. Elaboración propia.

Procedimiento:

El procedimiento de muestreo de agua se ejecutó siguiendo un protocolo estricto para asegurar la validez y representatividad de las muestras obtenidas. Inicialmente, se garantizó la seguridad del personal mediante el uso de botas de goma y guantes desechables durante todo el proceso de muestreo. En la fase de preparación, y con el objetivo de minimizar la introducción de posibles contaminantes, se procedió a enjuagar el cubo dos veces con agua extraída directamente del punto de muestreo, justo antes de la toma de la muestra destinada a los parámetros de campo. La toma de muestra se realizó colocando un frasco limpio, asegurándolo adecuadamente y removiendo la tapa con precaución para evitar cualquier contacto que pudiera comprometer la integridad de la muestra. A continuación, el frasco se sumergió en dirección opuesta a la corriente del agua y se enjuagó dos veces, exceptuando los frascos destinados al análisis de datos orgánicos o microbiológicos. La inmersión del recipiente se llevó a cabo a una profundidad de entre 20 y 30 cm desde la superficie del agua,

siempre en contra del flujo. Para el análisis de parámetros orgánicos, tales como aceites, grasas e hidrocarburos del petróleo, la muestra se obtuvo directamente de la superficie del río. Se verificó que cada recipiente contara con un 1% de su capacidad libre para permitir la preservación adecuada de los parámetros correspondientes. En el caso de las muestras microbiológicas, se dejó un 10% del volumen del recipiente vacío para asegurar el suministro de oxígeno requerido por las bacterias. Para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el frasco se llenó cuidadosamente hasta su capacidad total, evitando la formación de burbujas. Finalmente, se tuvo especial cuidado para evitar que la muestra contuviera suciedad, material de la superficie o sedimentos provenientes del lecho del río.

Figura 17*Protocolo de Muestreo de Agua*

Nota. Guía oficial para evaluar la calidad del agua en ríos y lagos del Perú (Resolución 010-2016-ANA). Elaboración propia.

La figura anterior muestra detalladamente los pasos a seguir para la toma de las muestras de agua.

Tabla 11

Técnica e instrumentos para el muestreo de Aguas para riego.

Técnica	Instrumentos	Materiales	Insumos
Se utilizo la técnica simple o puntual para la recolección de datos de agua para riego.	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica • Tablero 	<ul style="list-style-type: none"> • Botas de jebe • Mascarilla • Gorrilla • Guantes de látex • Bata • Cooler • Botellas de 1L (químicos, DBO, helmitos) • Botellas de 500ml (O.D, Escherichia Coli, DBQ) • Botellas de 250 ml (metales y nitrito) • Botella de vidrio de 1.5 L para clorofila • Etiquetas para identificar las muestras • Cinta adhesiva transparente • Plumones indelebles 	<ul style="list-style-type: none"> • Preservante (Hielo, otros)

Nota. La tabla muestra la técnica, instrumentos, materiales e insumos para el muestreo de agua para riego. Elaboración propia.

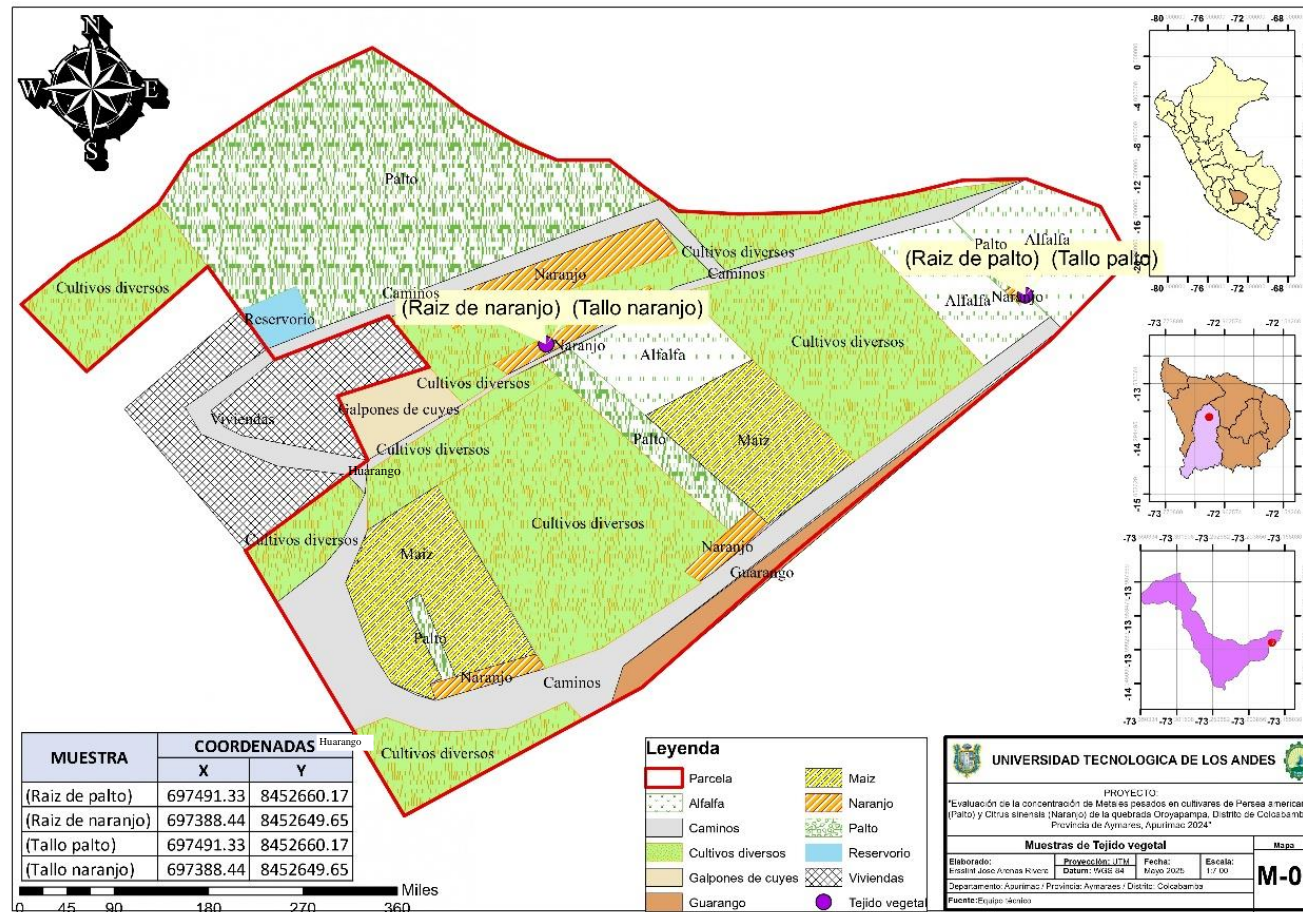
4.4.3 Técnicas e instrumentos para el muestreo de tejido vegetal

Se realizo un muestreo Aleatorio sin estratificar, procedimientos de recolección de datos se tomó como referencia la “Guía de Evaluación de la Flora Silvestre”, elaborada por el Ministerio del Ambiente (2011).

Según MINAM (2011) Este tipo de muestreo se aplica en zonas donde las condiciones físicas y biológicas son bastante uniformes, lo que hace innecesario dividir o clasificar el área en estratos. Además, se utiliza cuando es fácil moverse a través de la vegetación. En este método, las muestras se eligen de forma totalmente aleatoria, lo que significa que cada punto del área tiene la misma oportunidad de ser seleccionado, resultando en una muestra que representa bien a toda la población (p. 23).

Figura 18

Ubicación de las muestras de tejido vegetal



Nota. La figura muestra la ubicación donde se realizará el muestreo de tejido vegetal. Elaboración propia.

Tabla 12*Coordenadas del punto de muestreo de tejido vegetal*

Nº Muestra de tejido vegetal	X	Y
Raíz de palto	697491.33	8452660.17
Raíz de naranjo	697388.44	8452649.65
Tallo palto	697491.33	8452660.17
Tallo naranjo	697388.44	8452649.65

Nota. La tabla muestra las coordenadas de los puntos de muestreo de tejido vegetal.

Elaboración propia.

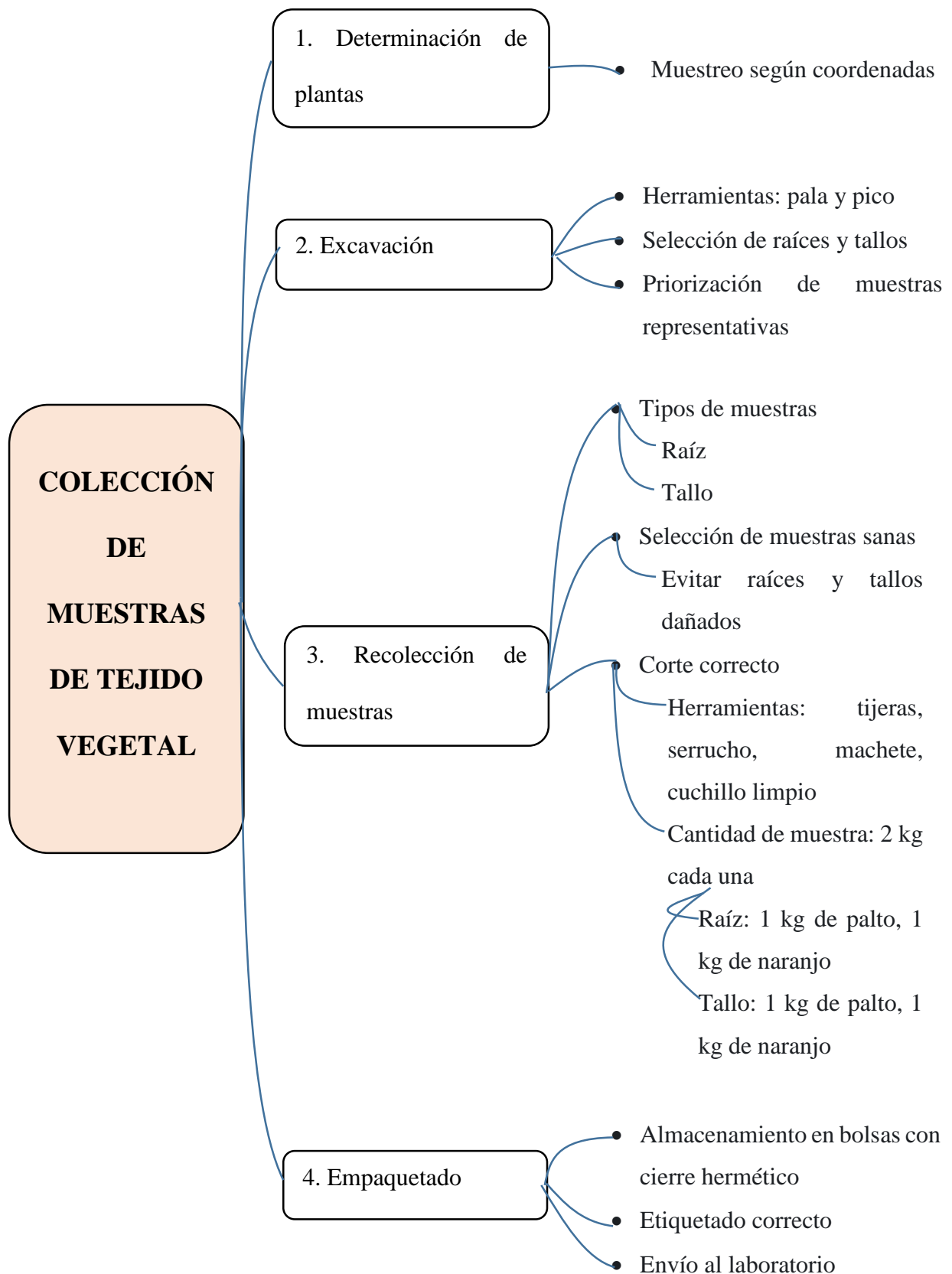
Procedimiento de la colección de muestras para el análisis de tejido vegetal

El procedimiento de muestreo de tejidos vegetales se llevó a cabo siguiendo una metodología rigurosa para asegurar la representatividad y calidad de las muestras. Inicialmente, se identificaron las plantas de muestreo basándose en las coordenadas previamente establecidas. Posteriormente, se realizó una excavación cuidadosa con pala y pico, seleccionando las raíces y tallos más adecuados para el estudio, priorizando aquellas muestras que mejor representaban las características de interés. Durante la recolección, se seleccionaron raíces y tallos sanos y típicos del cultivo, evitando aquellos que presentaban daños o signos de enfermedad.

El corte de las raíces se realizó utilizando herramientas limpias, como tijeras, serrucho, machete o cuchillo, recolectando un total de 2 kg de muestra de raíz (1 kg de palto y 1 kg de naranjo) y 2 kg de muestras de tallo (1 kg de palto y 1 kg de naranjo). Finalmente, las muestras se guardaron en bolsas con cierre hermético, etiquetadas correctamente para su posterior envío al laboratorio.

Figura 19

Procedimiento de la colección de muestras para los cultivares



Nota. Se muestra los pasos para recolectar muestras de tejido vegetal. Elaboración propia.

La imagen muestra detalladamente el procedimiento para la toma de las muestras de tejido vegetal de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranja) (tallo y raíz).

Tabla 13

Técnica e instrumentos para el análisis de tejido vegetal.

Técnica	Instrumentos	Materiales
Se realizó una técnica Aleatoria sin estratificar,	<ul style="list-style-type: none"> • Tijeras para podar • SERRUCHO • Machete • Balanza • Cámara fotográfica • Tablero • Pala • Pico 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsas ziplot • Caja de tecnopor • Etiquetas para identificar las muestras • Cinta adhesiva transparente • Plumones indelebles • Mascarilla • Bata • Zapatos de seguridad • Gorrilla • Guantes de látex

Nota. La tabla muestra la técnica, instrumentos y materiales para el muestreo de tejido vegetal. Elaboración propia.

4.5 Procedimientos

4.5.1 Procedimiento/ protocolo para el análisis de Suelos agrícolas

Se realizó el análisis de las muestras de suelo agrícola en un laboratorio acreditado, Louis Pasteur S.R.Ltda. y Registro en INACAL N°. LE – 042, empleando métodos analíticos rigurosos y siguiendo protocolos de calidad reconocidos internacionalmente. La fiabilidad de los resultados está garantizada por la acreditación del laboratorio.

Tabla 14*Procedimiento / protocolo para el análisis de Suelos agrícolas.*

Parámetro	Protocolo / Método	Procedimiento
Staphylococcus aureus	AOAC 975.55 22nd Ed. Chapter 17 Subchapter 5- 17.5.02(2023) Staphylococcus aureus in Foods. Surface plating Method for Isolation and Enumeration.	Para la preparación: Se homogeniza una muestra representativa usando un diluyente adecuado. Dilución en Serie: La muestra homogenizada se diluye en serie para obtener diluciones apropiadas para la siembra. Siembra: Se extiende un volumen conocido de cada dilución sobre la superficie de las placas de agar selectivo. Incubación: Las placas se incuban a 35-37°C durante 48 horas. Conteo de Colonias: Después de la incubación, se examinan las placas para detectar colonias típicas de S. aureus, que suelen ser negras, redondas y rodeadas por una zona clara de hidrólisis. El conteo de colonias se traduce a unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de alimento.
Bacillus cereus	ICMF Microorganismos de los alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Pag. 285-286 2da ed. Vol. 1, Parte II Reimpresion 2000 (1983). Bacillus cereus Recuento de presuntos Bacillus cereus	Preparación de la muestra: Se realiza una dilución decimal de la muestra de alimento en solución salina tamponada (PBS). Siembra en placas: Se siembra una alícuota de la dilución decimal en placas de agar de agar sangre o agar manitol-yolk-polymyxin (MYP). Incubación: Las placas se incuban a 30°C durante 24 horas. Recuento de colonias: Se cuentan las colonias típicas de Bacillus cereus, que son grandes, blancas, opacas y pueden tener un halo de hemólisis en el agar sangre.

Limo		Toma de muestra: Se toma una muestra representativa del suelo, asegurándose de que sea homogénea.
Arena	PE-2127, Técnica Densitometría	Preparación: La muestra se seca al aire y se tamiza para eliminar las partículas de tamaño mayor a 2 mm. <i>Separación de las partículas:</i> Se utiliza un método de sedimentación, como el método de Bouyoucos, para separar las partículas de suelo por tamaño.
Arcilla		Medición de la densidad: Se mide la densidad de la muestra utilizando un picnómetro o un densímetro. Cálculo de la proporción: Se calcula la proporción de limo, arena y arcilla en la muestra utilizando las densidades de las partículas y la ley de Stokes.
Materia orgánica	PE-2129, Anal. Elemental	Preparación: Tomar una muestra representativa del material a analizar (suelo, compost, residuos). La muestra se seca a 105°C hasta peso constante para eliminar la humedad y luego se muele hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 2 mm para asegurar la homogeneidad. Análisis elemental: Utilizar el método PE-2129, que probablemente se basa en la técnica de análisis elemental por combustión. Introducir una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura en presencia de oxígeno. Los gases producidos (CO ₂ y N ₂) se miden con precisión utilizando un detector de conductividad térmica o un espectrómetro de infrarrojo. Cálculo de la materia orgánica: La cantidad total de materia orgánica se calcula usando una fórmula específica (ej. Walkley-Black), basándose en las cantidades de carbono (C) y nitrógeno (N) determinadas a partir de las mediciones de CO ₂ y N ₂ . La relación C/N proporciona información adicional sobre la calidad y estabilidad de la materia orgánica.
Cianuro libre	EPA Method 9013 ^a Rev.2-2014 / SMEWW 4500	Preparación de la Muestra: Secado: Se seca la muestra de suelo a temperatura ambiente o en un horno a baja temperatura.

CN F. 24th Ed. 2023	<p>Trituración: Se tritura la muestra seca para obtener un tamaño de partícula uniforme.</p> <p>Mezcla: Se mezcla la muestra triturada para asegurar la homogeneidad.</p> <p>Extracción:</p> <p>Método de extracción: Se utiliza un agente de extracción para liberar el cianuro del suelo. El método específico dependerá del tipo de suelo y el objetivo del análisis.</p> <p>Procedimiento de extracción: Se pesa una cantidad específica de la muestra de suelo preparada, se agrega el agente de extracción, se agita la mezcla durante un tiempo determinado y se filtra para separar el extracto de suelo.</p> <p>Análisis:</p> <p>Destilación: Se utiliza un proceso de destilación para separar el cianuro del extracto de suelo.</p> <p>Análisis del cianuro: Mediante una técnica analítica, se determina la cantidad de cianuro en la solución de NaOH.</p> <p>Cálculos:</p> <p>Cálculo de la concentración de cianuro: La concentración de cianuro en la muestra de suelo se obtiene mediante un cálculo que considera la concentración en el extracto de NaOH (solución de hidróxido de sodio) y el volumen del extracto.</p>
Zinc	1. Digestión Ácida (EPA Method 3050B):
Wolfranio	Se utiliza una cantidad específica de muestra de suelo, previamente pesada.
Vanadio	EPA Method
Uranio	3050B
Torio	Rev.2 (1996) /
Titanio	EPA Method
Talio	6020B Rev.2
Sodio	(2014)
Selenio	La mezcla se calienta a alta temperatura (generalmente en una placa caliente o en un horno) para acelerar la digestión.
Potasio	La mezcla se enfría y se diluye con agua destilada.

Plomo	El extracto resultante contiene los metales disueltos, listos para su análisis.
Niquel	
Molibdeno	2. Análisis por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES) (EPA Method 6020B):
Mercurio	
Manganeso	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Magnesio	
Litio	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Hierro	
Fosforo	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Estroncio	
Estaño	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Cromo	
Cobre	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Cobalto	
Cerio	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Calcio	
Cadmio	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Boro	
Bismuto	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Berilio	
Bario	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Azufre	
Arsénico	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.
Antimonio	
Aluminio	Para saber qué metales y en qué cantidad hay en la muestra, la metemos en un plasma de argón supercaliente. Cada metal brilla con su propia "firma" de luz, y midiendo la intensidad de esa luz podemos saber su concentración.

Nota. La tabla muestra los procedimientos/protocolo para el análisis de Suelos agrícolas.

Elaboración propia.

4.5.2 Procedimiento/ protocolo para el análisis de Agua de riego

Las muestras de agua utilizada para riego, se analizaron en un laboratorio acreditado, Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. y Registro en INACAL N°. LE – 042, empleando métodos analíticos rigurosos y siguiendo protocolos de calidad reconocidos internacionalmente.

La fiabilidad de los resultados está garantizada por la acreditación del laboratorio.

Tabla 15*Procedimiento / Protocolo para el análisis de agua para riego.*

Parámetro	Protocolo / Método	Procedimiento
Coliformes Fecales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 24th Ed (2023) Multiple Tube fermentation technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).	Preparación de la muestra: Se realiza una dilución seriada de la muestra de agua en tubos con EC Medium, un medio de cultivo diseñado para el crecimiento de coliformes fecales. Incubación: Estos tubos se incuban a una temperatura de 44.5 ± 0.2 °C durante 24 horas. Observación de la producción de gas: Un análisis de la producción de gas en los tubos indica si hay coliformes fecales en la muestra. Cálculo del Número Más Probable (MPN): Para determinar la concentración de coliformes fecales, se utiliza una tabla de MPN que considera el número de tubos positivos a cada nivel de dilución.
Escherichia coli	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F, 24th Edition. 2023. (2023) Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 1. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium)	Preparación de la muestra: Se utiliza EC-MUG Medium (lactosa, rojo de fenol, MUG) para la dilución de la muestra de agua en una serie de tubos de ensayo para análisis posterior. Proceso de incubación: 24 horas a 35 ± 0.5 °C. Observación de fluorescencia y producción de gas: El análisis se basa en la detección de la fermentación de lactosa (producción de gas) y la actividad β -glucuronidasa (fluorescencia bajo luz UV) para indicar la presencia de E. coli. Cálculo del Número Más Probable (MPN): El MPN de E. coli se obtiene de una tabla, usando el número de tubos positivos en cada dilución para estimar la concentración en la muestra original

Color	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF, Part. 2120-B. 24th Ed. (2023) Color. Visual Comparison Method</p>	<p>Preparación: Se preparan soluciones estándar de color con concentraciones conocidas de cloroplatinato de potasio y cloruro de cobalto. Estas soluciones se utilizan como referencia para comparar el color de la muestra.</p> <p>Eliminación de la turbidez: La turbidez puede interferir con la determinación del color, por lo que se utiliza un proceso de filtración o centrifugación para eliminar las partículas suspendidas.</p> <p>Comparación visual: Se coloca la muestra de agua y las soluciones estándar de color en tubos de ensayo o vasos de precipitados. Se observan los tubos o vasos desde arriba y se compara el color de la muestra con el de las soluciones estándar. Se busca la solución estándar que coincida más estrechamente con el color de la muestra.</p> <p>Determinación del valor de color: El valor de color se expresa en unidades de platino-cobalto. El valor de color se expresa en UPCo, donde cada unidad corresponde a la coloración producida por 1 mg de platino en 1 litro de agua, mediante la comparación con una solución patrón.</p>
	Conductividad	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. (2023) Conductivity. Laboratory Method</p>

<p>Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)</p>	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. (2023) Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.</p>	<p>conductividad de la muestra utilizando la constante de celda y la resistencia medida. Expresión de los resultados: La conductividad se reporta usualmente como $\mu\text{S/cm}$ o mS/cm, dependiendo del rango de valores. Preparación de la muestra: La muestra de agua se diluye en agua de dilución, que contiene nutrientes y microorganismos para estimular la descomposición de la materia orgánica. Se ajusta el pH de la muestra a un rango óptimo para el crecimiento de los microorganismos. Incubación: La muestra diluida se coloca en botellas de vidrio herméticas y se incuba a 20°C durante 5 días en la oscuridad. Medición del OD: Se mide el OD inicial de la muestra antes de la incubación y el OD final después de 5 días de incubación utilizando un método de titulación o un electrodo de membrana. Cálculo de la DBO: La DBO se calcula restando el OD final del OD inicial.</p>
<p>Demanda Química De Oxígeno (DQO)</p>	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5220 C, 24th Ed. (2023) Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method.</p>	<p>Preparación de la muestra: Se prepara una alícuota de la muestra de agua en un matraz de reflujo añadiendo dicromato de potasio, ácido sulfúrico concentrado y sulfato de plata que actúa como catalizador. Reflujo: Para asegurar la oxidación completa de la materia orgánica, el matraz se somete a un proceso de reflujo durante dos horas. Enfriamiento y titulación: Después del reflujo, la solución se enfría y se titula con una solución estándar de sulfato ferroso amónico utilizando una solución indicadora de ferroína. Cálculo de la DQO: El volumen de sulfato ferroso amónico empleado en la valoración indica la cantidad de dicromato consumido, y por tanto, permite calcular la DQO.</p>

Oxígeno disuelto	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF, Part. 4500- O C. 24th Ed. (2023) Oxygen (Dissolved). Azide Modification</p>	<p>Preparación de la muestra: Se toma una alícuota de la muestra de agua y se añade una solución de manganeso (II) y NaOH. Se agita la muestra para asegurar la mezcla completa y se deja reposar hasta que el precipitado se asiente.</p> <p>Adición de azida: Se añade una solución de azida de sodio (NaN_3) a la muestra para eliminar la interferencia del nitrito. La azida reacciona con el nitrito para formar nitrógeno gaseoso (N_2), que no interfiere con la reacción de Winkler.</p> <p>Adición de ácido: Se añade H_2SO_4 a la muestra para disolver el precipitado de hidróxido de manganeso (III) y liberar yodo.</p> <p>Titulación: Una titulación con tiosulfato de sodio (estándar) y almidón como indicador determina la cantidad de yodo liberado.</p> <p>Cálculo del OD: La concentración de OD se calcula utilizando el volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la titulación.</p> <p>Calibración del medidor de pH: La calibración con una solución tampón (pH conocido) verifica la exactitud del medidor de pH</p>
pH	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. (2023) pH. Electrometric Method</p>	<p>Preparación de la muestra: Para una medición precisa, la muestra de agua debe ser preparada correctamente. Esto puede incluir filtración para eliminar partículas suspendidas que puedan interferir con la medición.</p> <p>Medición del pH: Se sumergen los electrodos del medidor de pH en la muestra de agua y se lee el pH en la pantalla del medidor.</p> <p>Expresión de los resultados: La medición de pH se realiza en una escala de 0 a 14, donde 7 representa un pH neutro; los valores por debajo de 7 indican acidez, y los valores por encima de 7, alcalinidad</p>

		<p>Seleccionar el termómetro adecuado: En función del rango de temperatura esperado y la precisión necesaria.</p>
Temperatura	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.</p>	<p>Calibrar el termómetro: Asegurar que el termómetro esté calibrado correctamente.</p> <p>Introducir el termómetro en la muestra: Deje que el termómetro alcance el equilibrio térmico con la muestra.</p> <p>Temperatura: Leer la temperatura indicada por el termómetro.</p>
Turbidez	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 2130 B, 24th Ed. (2023) Turbidity.Nephel ometric Method</p>	<p>Procedimiento: Se determina la turbidez (NTU) mediante un turbidímetro nefelométrico, que mide la cantidad de luz dispersada a 90 grados por la muestra.</p> <p>Interferencias: La turbidez se mide mejor en muestras de agua limpias y libres de sedimentos. Evite burbujas, cristalería sucia y vibraciones. El color verdadero del agua puede causar lecturas bajas de turbidez, aunque este efecto es mínimo en aguas tratadas..</p>
Solidos Totales	<p>SMEWW-APHA- AWWA-WEF, Part. 2540- B 24th Ed. (2023) Solids.Total Solids Dried From 103 To 105 °C</p>	<p>Preparación: Se toma una muestra de agua y se coloca en un recipiente previamente pesado.</p> <p>Evaporación: La muestra se calienta a una temperatura de 103-105 °C hasta que se evapora toda el agua.</p> <p>Secado: El residuo se lleva a peso constante mediante secado en horno a temperatura controlada.</p> <p>Cálculo: Se calcula la cantidad de sólidos totales en la muestra original mediante la siguiente expresión: Sólidos totales = Peso (residuo seco) / Volumen (muestra original).</p>
Nitratos	<p>SMEW W 4110 B Ed 23. 2019</p>	<p>Preparación: La muestra de agua se puede filtrar o diluir según sea necesario.</p> <p>Inyección en el cromatógrafo: La muestra se inyecta en un cromatógrafo de iones.</p>

		<p>Separación de iones: Los iones en la muestra se separan en la columna cromatográfica.</p> <p>Detección: Los iones separados se detectan por un detector de conductividad.</p> <p>Análisis de datos: La concentración de nitratos se calcula basándose en la señal del detector.</p> <p>Preparación de la muestra: La muestra de agua se puede filtrar o diluir según sea necesario.</p> <p>Inyección en el cromatógrafo: La muestra se inyecta en un cromatógrafo de iones.</p>
Nitritos	SMEW W 4110 B Ed 23. 2020	<p>Separación de iones: Los iones en la muestra se separan en la columna cromatográfica.</p> <p>Detección: Los iones separados se detectan por un detector de conductividad.</p> <p>Análisis de datos: La señal del detector se utiliza para determinar la concentración de nitritos en la muestra.</p>
<p>Corrida de metales:</p> <p>Aluminio,</p> <p>Antimonio,</p> <p>Arsénico, Bario,</p> <p>Boro, Cadmio,</p> <p>Calcio, Cerio,</p> <p>Cobalto, Cobre,</p> <p>Cromo, Estroncio,</p> <p>Fósforo, Hierro,</p> <p>Litio, Magnesio,</p> <p>Manganeso,</p> <p>Mercurio,</p> <p>Molibdeno, Níquel,</p> <p>Plomo, Potasio,</p> <p>Selenio, Silicio,</p> <p>Sodio, Titanio,</p> <p>Torio, Vanadio,</p> <p>Zinc, Berilio</p>	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	<p>Iniciando el análisis: La muestra se introduce en un plasma de argón de alta temperatura.</p> <p>Ionización: Los átomos de la muestra se ionizan en el plasma.</p> <p>Separación de iones: Un espectrómetro de masas fracciona los iones en función de su relación masa/carga.</p> <p>Detección: Por un detector sensible se detectan los iones.</p> <p>Análisis de datos: La señal del detector se procesa para determinar la concentración de cada elemento.</p>

Nota. La tabla muestra el procedimiento/Protocolo para el análisis de agua para riego.
Elaboración propia.

4.5.3 Procedimiento/ protocolo para el análisis de tejido vegetal

Para asegurar la calidad, las muestras de tejido vegetal fueron analizadas en un laboratorio acreditado, BHIOS LABORATORIOS y Registro en INACAL N°. LE - 055, empleando métodos analíticos rigurosos y siguiendo protocolos de calidad reconocidos internacionalmente. La fiabilidad de los resultados está garantizada por la acreditación del laboratorio.

Tabla 16

Procedimiento / protocolo para el análisis de tejido vegetal.

Parámetro	Protocolo / Método	Procedimiento
Plata		1.Preparacion.
Aluminio		Lavado: Lavado cuidadoso con agua desionizada para eliminar contaminantes superficiales.
Arsénico		Secado: Secado en horno a baja temperatura (60-70°C) hasta peso constante.
Boro		Trituración: Trituración hasta obtener un polvo fino para asegurar la homogeneidad de la muestra.
Bario		
Berilio	Metales Totales	
Bismuto	por ICP-MS	
Calcio	Digestion + EPA	
Cadmio	METHOD 6020	2. Digestión Ácida:
Cerio	B, Rev. 2 2014	Se agrega una mezcla de ácidos concentrados, como ácido nítrico (HNO ₃) y ácido clorhídrico (HCl), a la muestra.
Cobalto	Inductively	
Cromo	Coupled Plasma-	La mezcla se calienta a alta temperatura en un bloque de calentamiento o un horno de microondas para acelerar la digestión.
Cesio	Mass	La mezcla se enfría y se diluye con agua destilada.
Cobre	Spectrometry	El extracto resultante contiene los metales disueltos, listos para el análisis por ICP-MS.
Hierro		
Mercurio		
Potasio		
Litio		
Magnesio		3. Análisis por ICP-MS:
Manganeso		

Molibdeno	En el análisis por ICP-MS, el extracto de la muestra se introduce en un plasma de argón, donde los átomos de los metales se cargan eléctricamente (ionizan). Estos iones cargados son acelerados y luego separados según su relación masa-carga en un espectrómetro de masas. La cantidad de cada ion detectado es directamente proporcional a la concentración del metal correspondiente en la muestra original.
Sodio	
Níquel	
Fosforo	
Plomo	
Antimonio	
Selenio	
Silicio	
Estaño	
Estroncio	
Titanio	
Talio	
Uranio	
Vanadio	
Zinc	

Nota. La tabla muestra el procedimiento/protocolo para el análisis de tejido vegetal.

Elaboración propia.

4.6 Análisis de datos

Para comprender mejor los datos experimentales, se aplicó un análisis estadístico y se han calculado diversas medidas estadísticas para conocer la distribución natural de los datos. Se calcularon los estadísticos: Media, desviación estándar, intervalo de confianza (95%), límites de confianza, de datos organizados por fila (observación) o columna (variable dependiente).

A través del análisis estadístico se obtuvo una visión general de los datos, considerando tanto el conjunto completo como posibles subgrupos.

4.6.1 Materiales y métodos

Los datos fueron recogidos mediante un informe de los laboratorios acreditados por INACAL, a la hoja de cálculo electrónico de Microsoft © Excel 2019. Fueron obtenidas 4 matrices de datos.

Matriz 1 Análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).

Se utiliza una tabla para presentar los resultados del análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025). La primera columna enumera las variables analizadas, agrupadas en tres categorías: microbiológicas, físico-químicas e inorgánicas, seguidas de una sección con los resultados de metales pesados según la norma ECA "CAT 3, D1 riego de vegetales, Agua para riego restringido". Cada categoría contiene varias filas, cada una representando una variable específica (ej: Coliformes Termotolerantes, Conductividad, Sólidos totales, Aluminio). Las seis columnas restantes representan las muestras de agua analizadas, identificadas como R-CHA-01E, R-CHA-04A, R-CHA-02E, R-CHA-05A, R-CHA-03E y R-CHA-06A. Cada celda de la tabla contiene el valor medido para cada variable en cada muestra.

La matriz se incluye en el anexo 5.

Matriz 2 Análisis de seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)

La tabla "Análisis de seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)" presenta datos organizados en filas y columnas. La primera columna, contiene la lista de las variables analizadas, categorizadas en microbiológicas, físico-químicas e inorgánicas, con una sección final mostrando los valores de la ECA para suelo (Estándares de Calidad Ambiental). Cada categoría contiene múltiples filas, cada una representando un parámetro específico (ej: Bacillus cereus, Materia orgánica, Aluminio, Arsénico). Las seis columnas restantes representan las seis muestras de suelo analizadas, identificadas como OR-SAGR01 a OR-SAGR06. Cada celda de la tabla muestra el valor medido para cada parámetro en cada muestra. La tabla proporciona una visión general de las características microbiológicas, físico-químicas e inorgánicas de las muestras de suelo, incluyendo una comparación con los valores de ECA.

La matriz se incluye en el anexo 6.

Matriz 3 Análisis de seis muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)

El cuadro presenta datos sobre la composición inorgánica de muestras de tejido vegetal. La tabla está organizada con una columna de "Variables" que lista los diferentes elementos químicos analizados (ej: Plata, Aluminio, Arsénico, etc.). Las cuatro columnas restantes representan las muestras de tejido vegetal: "R-PALTO" (raíz de palto), "R-NARANJO" (raíz de naranjo), "T-PALTO" (tallo de palto), y "T-NARANJO" (tallo de naranjo). Cada celda de la tabla muestra la concentración (en mg/kg) de cada elemento en cada muestra de tejido vegetal. La tabla presenta un análisis comparativo de la concentración de elementos inorgánicos entre las raíces y los tallos de palto y naranjo.

La matriz se incluye en el anexo 7.

Matriz 4 Análisis Global de los tres subsistemas

Cómo factores se fijaron: a. En el suelo agrícola en el que se cultiva palto y naranjo (Características físico químicas, Características microbiológicas y Características inorgánicas). b. El agua para riego utilizada para estos cultivos (Características físico químicas, Características microbiológicas y Características inorgánicas). c. El tejido vegetal de palto y naranjo (Características inorgánicas).

Fue empleada la prueba T de Student para un parámetro (muestras vs ECA) a un nivel de significancia de $p=0.05$, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las distintas muestras y los parámetros parámetro.

Para el análisis de las las concentraciones de las muestras en todas las variables dependientes (elementos determinados), se utilizó el Análisis por Componentes Principales de la Varianza Total (ACP) con sus respectivos gráficos de doble representación (Biplot). Este tipo de análisis factorial exploratorio fue realizado a través de cuatro ACP:

a. Subsistema Suelo, con dos ejes extraídos que explicaron el 90% de la variación total y un coeficiente de correlación cofenética, $ccc = 0.997$. b. Subsistema Agua con dos ejes extraídos que explicaron el 87% de la variación total y un coeficiente de correlación cofenética, $ccc = 0.933$. c. Subsistema tejidos vegetales (Palto y Naranja), con dos ejes extraídos que explicaron el 90% de la variación total y un coeficiente de correlación cofenética, $ccc = 0.997$. d. Análisis global de los tres subsistemas (suelo, agua y tejidos) con dos ejes extraídos que explicaron el 87% de la variación total y un coeficiente de correlación cofenética, $ccc = 0.933$.

En general, los cuatro ACP generados son de alta confiabilidad. Los análisis estadísticos del ACP fueron realizados con la aplicación Infostat /Profesional 2020, (Universidad Nacional de Córdoba República de la Argentina.)

La matriz se incluye en el anexo 8.

4.6.2 Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro

Se realizó una prueba t de Student para las muestras, comparando los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Tabla 17

Para la hipótesis general

H0:	No existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos muestreados y los valores de los ECAs.
H1:	Existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos muestreados y los valores de los ECAs

Nota. La tabla muestra las hipótesis planteadas para la prueba t de Student. Elaboración propia.

Tabla 18

Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de suelo agrícola

PRUEBA DE HIPOTESIS PARA UNA MEDIA MUESTRAL CONTRA UN PARAMETRO - PARA VARIABLES DE SUELO AGRICOLA															
Variables	MUESTRA						Estadísticas Descriptivas								
	OR-SAGR01	OR-SAGR02	OR-SAGR03	OR-SAGR04	OR-SAGR05	OR-SAGR06	PROMEDIO	ECA para suelos agrícolas	DESVIACION ESTANDAR	INTERVALO DE CONFIANZA (95%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	COEFICIENTE DE VARIACION EN (%)	PRUEBA STUDENT	P- VALOR
Arsénico mg/kg	74.10	112.00	46.40	74.10	112.00	46.40	77.50	50.00	29.46	38.04	39.46	115.54	38.01	2.287	0.071
Bario mg/kg	171.70	106.30	137.20	171.70	106.30	137.20	138.40	750.00	29.26	37.79	100.61	176.19	21.14	-51.195	p≤0.001
Cadmio mg/kg	1.20	0.30	1.73	1.87	2.32	1.99	1.57	1.40	0.72	0.93	0.64	2.50	45.92	0.571	0.593
Mercurio mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	6.60	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	-3954000.000	p≤0.001
Plomo mg/kg	32.61	12.45	27.62	32.61	70.45	60.62	39.39	70.00	21.78	28.13	11.27	67.52	55.29	-3.442	0.018
Cianuro mg/kg	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.90	0.00	0.00	0.30	0.30	0.00	-363635.303	p≤0.001
Materia orgánica %	2.21	3.61	1.69	2.21	3.61	1.69	2.50	-	0.89	1.15	1.36	3.65	35.48	-3.163	0.025
Arena %	60.00	35.00	57.00	60.00	35.00	57.00	50.67	-	12.21	15.77	34.90	66.43	24.10	-3.163	0.025
Limo %	25.00	45.00	30.00	25.00	45.00	30.00	33.33	-	9.31	12.02	21.31	45.36	27.93	-3.163	0.025
Arcilla %	15.00	20.00	13.00	15.00	20.00	13.00	16.00	-	3.22	4.16	11.84	20.16	20.16	-3.163	0.025
Fosforo mg/kg	622.00	635.00	673.00	622.00	635.00	673.00	643.33	-	23.70	30.61	612.72	673.95	3.68	-3.163	0.025
Potasio mg/kg	1410.00	2164.00	1674.00	1410.00	2164.00	1674.00	1749.33	-	342.21	441.95	1307.39	2191.28	19.56	-3.163	0.025
Bacillus cereus ufc/g	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00	-3.163	0.025
Staphylococcus aureus ufc/g	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	-	0.00	0.00	10.00	10.00	0.00	-3.163	0.025
Aluminio mg/kg	6.39	18316.00	8043.00	6.39	18316.00	8043.00	8788.46	-	8208.64	10601.01	-1812.54	19389.47	93.40	-3.163	0.025
Antimonio mg/kg	0.41	0.17	0.28	0.41	0.17	0.28	0.29	-	0.11	0.14	0.15	0.42	37.16	-3.163	0.025
Azufre mg/kg	450.00	658.00	450.00	450.00	658.00	450.00	519.33	-	107.41	138.72	380.62	658.05	20.68	-3.163	0.025
Berilio mg/kg	0.39	0.66	0.38	0.39	0.66	0.38	0.48	-	0.14	0.18	0.30	0.66	29.16	-3.163	0.025
Bismuto mg/kg	4.97	0.19	0.21	4.97	0.19	0.21	1.79	-	2.47	3.18	-1.39	4.97	137.71	-3.163	0.025
Boro mg/kg	5.59	9.88	5.64	5.59	9.88	5.64	7.03	-	2.20	2.85	4.19	9.88	31.32	-3.163	0.025
Calcio mg/kg	13281.00	131348.00	19127.00	13281.00	131348.00	19127.00	54585.33	-	59517.55	76863.65	-22278.32	131448.99	109.04	-3.163	0.025

Cerio mg/kg	22.73	28.16	22.37	22.73	28.16	22.37	24.42	-	2.90	3.75	20.67	28.17	11.88	-3.163	0.025
Cobalto mg/kg	5.63	8.34	5.55	5.63	8.34	5.55	6.51	-	1.42	1.83	4.67	8.34	21.81	-3.163	0.025
Cobre mg/kg	60.80	36.30	37.60	60.80	36.30	37.60	44.90	-	12.33	15.92	28.98	60.82	27.46	-3.163	0.025
Cromo mg/kg	7.20	15.15	7.29	7.20	15.15	7.29	9.88	-	4.08	5.27	4.61	15.15	41.30	-3.163	0.025
Estaño mg/kg	0.83	1.07	0.89	0.83	1.07	0.89	0.93	-	0.11	0.14	0.79	1.07	11.75	-3.163	0.025
Estroncio mg/kg	41.21	204.10	53.34	41.21	204.10	53.34	99.55	-	81.17	104.82	-5.27	204.37	81.53	-3.163	0.025
Hierro mg/kg	16201.00	15659.00	16149.00	16201.00	15659.00	16149.00	16003.00	-	267.47	345.43	15657.57	16348.43	1.67	-3.163	0.025
Litio mg/kg	7.93	28.30	11.60	7.93	28.30	11.60	15.94	-	9.71	12.54	3.40	28.48	60.91	-3.163	0.025
Magnesio mg/kg	3251.00	20089.00	4074.00	3251.00	20089.00	4074.00	9138.00	-	8490.59	10965.13	-1827.13	20103.13	92.92	-3.163	0.025
Manganeso mg/kg	513.00	419.00	462.00	513.00	419.00	462.00	464.67	-	42.09	54.36	410.31	519.02	9.06	-3.163	0.025
Moibdeno mg/kg	4.37	1.63	4.07	4.37	1.63	4.07	3.36	-	1.34	1.74	1.62	5.09	40.05	-3.163	0.025
Níquel mg/kg	12.90	14.30	13.50	12.90	14.30	13.50	13.57	-	0.63	0.81	12.76	14.38	4.63	-3.163	0.025
Selenio mg/kg	1.76	1.72	2.02	1.76	1.72	2.02	1.83	-	0.15	0.19	1.65	2.02	7.95	-3.163	0.025
Sodio mg/kg	140.00	159.00	218.00	140.00	159.00	218.00	172.33	-	36.38	46.98	125.35	219.32	21.11	-3.163	0.025
Talio mg/kg	0.39	0.32	0.41	0.39	0.32	0.41	0.37	-	0.04	0.06	0.32	0.43	11.58	-3.163	0.025
Titanio mg/kg	172.00	213.00	175.00	172.00	213.00	175.00	186.67	-	20.44	26.40	160.27	213.07	10.95	-3.163	0.025
Torio mg/kg	3.08	3.20	2.96	3.08	3.20	2.96	3.08	-	0.11	0.14	2.94	3.22	3.52	-3.163	0.025
Uranio mg/kg	0.45	0.47	0.49	0.45	0.47	0.49	0.47	-	0.02	0.02	0.45	0.50	3.87	-3.163	0.025
Vanadio mg/kg	25.00	33.00	24.00	25.00	33.00	24.00	27.33	-	4.41	5.70	21.64	33.03	16.14	-3.163	0.025
Wolfranio mg/kg	0.59	0.15	0.13	0.59	0.15	0.13	0.29	-	0.23	0.30	-0.01	0.59	80.67	-3.163	0.025
Zinc mg/kg	121.00	47.30	142.00	121.00	47.30	142.00	103.43	-	44.48	57.45	45.99	160.88	43.01	-3.163	0.025

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19

Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de agua para riego

PRUEBA DE HIPOTESIS PARA UNA MEDIA MUESTRAL CONTRA UN PARAMETRO - PARA VARIABLES DE AGUA PARA RIEGO															
Variables	MUESTRA						Estadísticas Descriptivas								
	R-CHA-01E	R-CHA-04A	R-CHA-02E	R-CHA-05A	R-CHA-03E	R-CHA-06A	PROMEDIO	ECA, CAT 3-D1 AGUA DE RIEGO NO RESTRINGIDO	DESVIACION ESTANDAR	INTERVALO DE CONFIANZA (95%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	COEFICIENTE DE VARIACION EN (%)	PRUEBA T STUDENT	P- VALOR
Aluminio mg/L	7.810	7.390	10.600	7.620	10.200	8.080	8.62	5.00	1.41	1.82	6.80	10.43	16.31	6.303	0.00148
Arsénico mg/L	0.041	0.020	0.063	0.030	0.065	0.032	0.04	0.10	0.02	0.02	0.02	0.07	44.06	-7.730	0.00058
Bario mg/L	0.154	0.165	0.334	0.232	0.328	0.235	0.24	0.70	0.08	0.10	0.14	0.34	31.92	-14.582	0.00003
Berilio mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-301557912.52	p≤0.001
Boro mg/L	0.274	0.039	0.100	0.034	0.104	0.041	0.10	1.00	0.09	0.12	-0.02	0.22	92.71	-24.135	p≤0.001
Cadmio mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	32.19	-66.023	p≤0.001
Cobre mg/L	0.120	0.045	0.291	0.147	0.337	0.164	0.18	0.20	0.11	0.14	0.04	0.33	59.56	-0.358	0.73521
Cobalto mg/L	0.005	0.005	0.008	0.005	0.008	0.006	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	23.87	-72.943	p≤0.001
Cromo mg/L	0.004	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	15.21	-276.668	p≤0.001
Hierro mg/L	8.230	8.800	12.100	9.590	11.500	10.300	10.09	5.00	1.51	1.95	8.13	12.04	15.00	8.24	0.00043
Litio mg/L	0.044	0.017	0.035	0.018	0.035	0.019	0.03	2.50	0.01	0.01	0.01	0.04	40.91	-528.637	p≤0.001
Magnesio mg/L	9.000	6.600	7.900	6.800	8.000	7.200	7.58	-	0.90	1.16	6.43	8.74	11.81	-3.163	0.02500
Manganeso mg/L	0.420	0.428	0.808	0.506	0.979	0.543	0.61	0.20	0.23	0.29	0.32	0.91	37.12	4.449	0.00671
Mercurio mg/L	0.000085	0.000885	0.004891	0.000085	0.000785	0.000085	0.0011	0.0010	0.00	0.00	0.00	0.00	165.16	0.178	0.86604
Níquel mg/L	0.008	0.007	0.012	0.008	0.011	0.009	0.01	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	21.17	-240.853	p≤0.001
Plomo mg/L	0.050	0.059	0.052	0.058	0.055	0.041	0.05	0.05	0.01	0.01	0.04	0.06	12.54	0.871	0.42379
Selenio mg/L	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	38.73	-88.544	p≤0.001
Zinc mg/L	0.097	0.067	0.148	0.074	0.152	0.082	0.10	2.00	0.04	0.05	0.05	0.15	36.31	-123.819	p≤0.001
Turbiedad NTU	242.000	77.000	418.000	78.600	421.000	76.300	218.82	-	168.03	217.00	1.81	435.82	76.79	-3.163	0.02500
Color UCV	50.000	50.000	125.000	60.000	150.000	60.000	82.50	100.00	43.56	56.26	26.24	138.76	52.80	-0.984	0.37028
Conductividad Ms/cm	260.600	131.300	198.400	131.500	197.600	130.100	174.92	2500.00	53.30	68.83	106.08	243.75	30.47	-106.856	p≤0.001

Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	21.690	38.840	22.180	37.680	36.920	40.860	33.03	15.00	8.70	11.23	21.80	44.26	26.33	5.078	0.00384
Demanda Química de Oxígeno mg/L O ₂	41.520	22.310	44.710	19.120	73.450	28.690	38.30	40.00	20.01	25.85	12.45	64.15	52.26	-0.208	0.84339
Nitratos mg/L NO ₃	0.200	0.330	1.100	0.460	0.260	0.590	0.49	100	0.33	0.43	0.06	0.92	67.41	-737.888	p≤0.001
Nitritos mg/L NO ₂	0.025	0.025	0.025	0.025	0.057	0.184	0.06	100	0.06	0.08	-0.03	0.14	111.91	-3849.207	p≤0.001
Oxígeno Disuelto mg/L	6.400	8.300	6.400	8.200	6.400	7.400	7.18	≥4	0.91	1.18	6.00	8.36	12.71	-3.163	0.02500
pH	7.500	7.490	7.920	7.300	7.800	7.570	7.60	6.5-8.5	0.23	0.29	7.30	7.89	2.97	-3.163	0.02500
Temperatura °C	20.100	17.200	20.500	17.200	20.500	17.300	18.80	Δ3	1.72	2.22	16.58	21.02	9.16	-3.163	0.02500
Coliformes Termotolerantes NMP/100ml	4900.000	1700.000	4900.000	790.000	7000.000	1700.000	3498.33	2000.000	2449.25	3163.07	335.26	6661.40	70.01	1.498	0.19428
Escherichia coli NMP/100ml	4900.000	170.000	3500.000	790.000	2200.000	400.000	1993.33	1000.000	1901.20	2455.29	-461.96	4448.62	95.38	1.280	0.25678
Sólidos totales mgST/L	44.800	65.630	87.600	65.730	92.600	65.030	70.23	-	17.42	22.50	47.73	92.73	24.80	-3.163	0.02500
Antimonio mg/L	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	36.51	-3.163	0.02500
Calcio mg/L	52.000	67.000	42.000	64.000	43.000	70.000	56.33	-	12.34	15.94	40.40	72.27	21.90	-3.163	0.02500
Cerio mg/L	0.013	0.020	0.023	0.020	0.023	0.021	0.02	-	0.00	0.00	0.02	0.02	18.44	-3.163	0.02500
Estroncio mg/L	0.276	0.176	0.217	0.180	0.217	0.191	0.21	-	0.04	0.05	0.16	0.26	17.69	-3.163	0.02500
Fósforo mg/L	0.450	0.720	0.690	0.700	0.700	0.770	0.67	-	0.11	0.15	0.53	0.82	16.72	-3.163	0.02500
Molibdeno mg/L	0.006	0.001	0.012	0.003	0.011	0.003	0.01	-	0.00	0.01	0.00	0.012	76.01	-3.163	0.02500
Potasio mg/L	4.200	3.300	4.900	3.400	4.800	3.600	4.03	-	0.71	0.91	3.12	4.95	17.51	-3.163	0.02500
Silicio mg/L	20.000	16.000	23.000	16.000	23.000	16.000	19.00	-	3.46	4.47	14.53	23.47	18.23	-3.163	0.02500
Sodio mg/L	9.100	4.000	5.700	3.900	5.800	4.000	5.42	-	2.01	2.59	2.83	8.01	37.02	-3.163	0.02500
Titanio mg/L	0.134	0.111	0.130	0.107	0.121	0.108	0.12	-	0.01	0.02	0.10	0.13	9.82	-3.163	0.02500
Torio mg/L	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.0018	-	0.0010	0.0013	0.0006	0.0031	53.63	-3.163	0.02500
Vanadio mg/L	0.014	0.015	0.016	0.015	0.016	0.017	0.016	-	0.0010	0.0014	0.014	0.017	6.77	-3.163	0.02500

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20*Prueba de hipótesis para una media muestral contra un parámetro - para variables de tejido vegetal*

PRUEBA DE HIPOTESIS PARA UNA MEDIA MUESTRAL CONTRA UN PARAMETRO - PARA VARIABLES DE TEJIDO VEGETAL													
Variables	MUESTRA				PROMEDIO	Commission Regulation (EU).	DESVIACION ESTANDAR	Estadísticas Descriptivas					
	R- PALTO	R- NARANJO	T- PALTO	T- NARANJO				INTERVALO DE CONFIANZA (95%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	COEFICIENTE DE VARIACION EN (%)	PRUEBA T STUDENT	P- VALOR
Plata mg/kg	0.08	0.04	0.03	0.08	0.06	-	0.02	0.05	0.01	0.11	43.08	-4.177	0.0250
Aluminio mg/kg	3307.73	2057.20	2297.29	3240.77	2725.75	-	641.48	1339.58	1386.17	4065.33	23.53	-4.177	0.0250
Arsénico mg/kg	18.54	7.86	5.56	18.72	12.67	-	6.94	14.50	-1.84	27.17	54.83	-4.177	0.0250
Boro mg/kg	18.91	30.71	29.03	24.26	25.73	-	5.30	11.07	14.66	36.80	20.61	-4.177	0.0250
Bario mg/kg	109.43	117.96	50.80	109.63	96.96	-	31.03	64.79	32.17	161.75	32.00	-4.177	0.0250
Berilio mg/kg	0.17	0.09	0.11	0.18	0.14	-	0.04	0.09	0.05	0.23	32.01	-4.177	0.0250
Bismuto mg/kg	0.10	0.05	0.07	0.09	0.08	-	0.02	0.05	0.03	0.13	30.58	-4.177	0.0250
Calcio mg/kg	31049.31	36348.67	6350.65	31236.12	26246.19	-	13489.03	28168.71	-1922.52	54414.89	51.39	-4.177	0.0250
Cadmio mg/kg	0.51	0.18	0.52	0.50	0.43	0.03	0.17	0.35	0.08	0.78	39.35	4.726	0.0180
Cerio mg/kg	4.18	1.94	2.04	4.19	3.09	-	1.27	2.65	0.44	5.74	41.10	-4.177	0.0250
Cobalto mg/kg	1.69	0.82	0.72	1.69	1.23	-	0.53	1.11	0.12	2.34	43.22	-4.177	0.0250
Cromo mg/kg	10.55	6.86	3.93	10.19	7.88	-	3.11	6.50	1.38	14.38	39.49	-4.177	0.0250
Cesio mg/kg	4.03	2.02	2.14	4.01	3.05	-	1.12	2.33	0.72	5.39	36.65	-4.177	0.0250
Cobre mg/kg	24.54	13.85	11.03	24.71	18.53	-	7.13	14.89	3.64	33.42	38.48	-4.177	0.0250
Hierro mg/kg	4217.01	2133.89	1740.68	4199.88	3072.87	-	1321.06	2758.73	314.13	5831.60	42.99	-4.177	0.0250
Mercurio mg/kg	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	-	0.01	0.02	0.01	0.06	34.76	-4.177	0.0250
Potasio mg/kg	6625.07	8011.10	4967.00	6436.81	6510.00	-	1245.36	2600.64	3909.35	9110.64	19.13	-4.177	0.0250
Litio mg/kg	3.03	1.66	1.85	3.02	2.39	-	0.74	1.54	0.85	3.92	30.84	-4.177	0.0250
Magnesio mg/kg	2084.42	1167.23	1078.99	2090.98	1605.41	-	558.08	1165.41	439.99	2770.82	34.76	-4.177	0.0250
Manganeso mg/kg	167.39	113.04	63.88	162.82	126.78	-	48.63	101.55	25.24	228.33	38.35	-4.177	0.0250
Molibdeno mg/kg	1.37	1.47	1.18	1.33	1.34	-	0.12	0.25	1.09	1.58	8.86	-4.177	0.0250

Sodio mg/kg	175.06	163.33	201.16	180.81	180.09	-	15.82	33.03	147.06	213.12	8.78	-4.177	0.0250
Niquel mg/kg	5.17	2.81	2.74	5.14	3.96	-	1.37	2.86	1.10	6.83	34.59	-4.177	0.0250
Fosforo mg/kg	612.68	745.78	625.17	588.02	642.91	-	70.30	146.80	496.11	789.71	10.93	-4.177	0.0250
Plomo mg/kg	9.75	4.83	3.46	9.44	6.87	0.10	3.20	6.68	0.19	13.55	46.55	4.234	0.0241
Antimonio mg/kg	0.65	0.32	0.16	0.64	0.44	-	0.24	0.51	-0.06	0.95	54.87	-4.177	0.0250
Selenio mg/kg	0.30	0.13	0.20	0.35	0.24	-	0.10	0.21	0.03	0.45	41.47	-4.177	0.0250
Silicio mg/kg	5521.63	4163.62	4324.12	5573.23	4895.65	-	755.75	1578.21	3317.44	6473.86	15.44	-4.177	0.0250
Estaño mg/kg	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	-	0.01	0.02	0.09	0.13	8.84	-4.177	0.0250
Estroncio mg/kg	82.35	115.32	29.64	80.97	77.07	-	35.38	73.88	3.18	150.95	45.91	-4.177	0.0250
Titanio mg/kg	28.59	16.18	32.54	28.20	26.38	-	7.08	14.78	11.60	41.15	26.82	-4.177	0.0250
Talio mg/kg	0.17	0.07	0.09	0.17	0.13	-	0.05	0.11	0.02	0.24	40.34	-4.177	0.0250
Uranio mg/kg	0.14	0.05	0.17	0.13	0.12	-	0.05	0.10	0.02	0.22	38.95	-4.177	0.0250
Vanadio mg/kg	8.72	4.96	5.42	8.68	6.95	-	2.04	4.25	2.70	11.20	29.30	-4.177	0.0250
Zinc mg/kg	58.79	38.45	34.01	58.59	47.46	-	13.09	27.34	20.12	74.80	27.58	-4.177	0.0250

Nota. Elaboración propia.

Estas hipótesis están dentro de las pruebas estadísticas empleadas. La decisión estadística siempre se tomó sobre la base de la hipótesis de nulidad (H_0), aceptando o rechazando dicha hipótesis.

Prueba t de Student y P-valor: La prueba t de Student compara el promedio (de las muestras de estudio) de cada metal con su respectivo ECA, los p-valores menores a 0.05 (significancia estadística) indican que hay una diferencia estadísticamente significativa entre el promedio y el ECA. Los p-valores significativamente menores a 0.05, refuerza la evidencia de contaminación en los casos que el valor del promedio muestral supere al ECA respectivo; si $p \leq 0.001$ existe alta significancia estadística y los valores mayores a 0.05 no hay significancia estadística.

Para aquellos valores que no tienen una regulación se comparó con el límite superior de la media de los grupos (muestras), los niveles de concentración de los metales son homogéneos en las zonas muestreadas

4.6.3 *Análisis multivariable, Componentes principales y Biplot*

El análisis multivariado en InfoStat (versión estudiantil, Universidad Nacional de Córdoba, República de la Argentina, 2020), permite analizar datos multidimensionales con técnicas para describir, comparar, agrupar y clasificar observaciones. Se pueden analizar datos con una fila por observación o con una columna por variable. El análisis se puede aplicar a todo el conjunto de datos o a subgrupos definidos por una variable. El estudio empleó un amplio rango de técnicas estadísticas multivariadas para el análisis de datos, incluyendo métodos de agrupamiento, reducción de dimensionalidad, análisis discriminante y modelos de regresión. InfoStat provee herramientas para visualizar los resultados gráficamente, incluyendo biplots y árboles de recorrido mínimo.

El análisis de componentes principales (ACP) simplifica datos complejos con muchas variables relacionadas. Busca un conjunto más pequeño de nuevas variables

(componentes principales) que sean independientes entre sí, pero que mantengan la mayor parte de la información original. Esto permite visualizar mejor la variabilidad de los datos y entender cómo se relacionan las variables entre sí. De acuerdo a la Universidad Nacional de Córdoba (2020) los gráficos de dispersión con componentes principales muestran cómo se agrupan los datos, pero no muestran claramente la influencia de cada variable. Los biplots, en cambio, muestran tanto los datos como las variables en un solo gráfico, permitiendo ver cómo las variables influyen en la agrupación de los datos. La palabra "biplot" (dos gráficos) refleja esta característica: muestra datos y variables juntos (p. 10).

4.7 Consideraciones éticas

La investigación sobre la concentración de elementos inorgánicos (metales pesados) en cultivos de palto y naranjo en la quebrada Oroyapampa, Apurímac, implicó una serie de consideraciones éticas que se abordaron con responsabilidad para garantizar la integridad del estudio y la seguridad de los participantes. Participación Humana: La investigación contó con la participación voluntaria de agricultores locales, quienes otorgaron su consentimiento informado después de una explicación detallada de los objetivos del estudio, los procedimientos a seguir. Plantas: Reconociendo la importancia de la sostenibilidad, se utilizaron plantas de palto y naranjo en este estudio. Para mitigar el impacto ambiental, se implementó un programa de reforestación consistente en la entrega de tres plántulas de palto por cada árbol de palto utilizado en la investigación. Minimización de Riesgos: Los procedimientos de muestreo y análisis se realizaron con estricto apego a protocolos de seguridad, minimizando así cualquier posibilidad de daño o contaminación.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

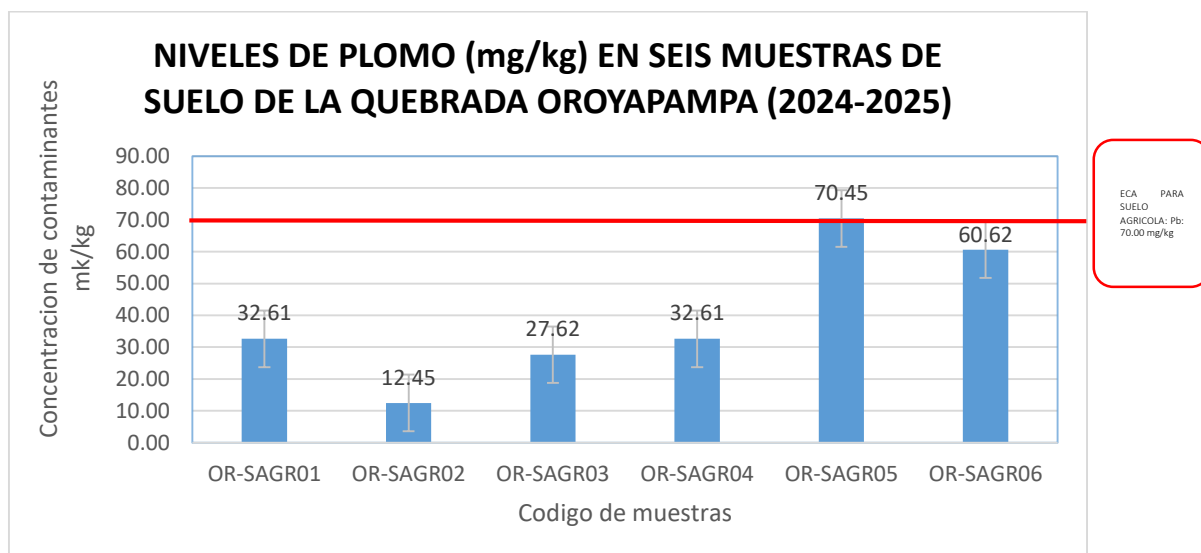
5.1.1 Sub sistema Suelos agrícolas

5.1.1.1 Parámetros más relevantes en el estudio en relación a los ECA de Suelo

2017. Continuación se muestran los parámetros que sobre pasaron los ECAs para suelo agrícola y que son relevantes para el estudio.

Figura 20

Niveles de Plomo (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)



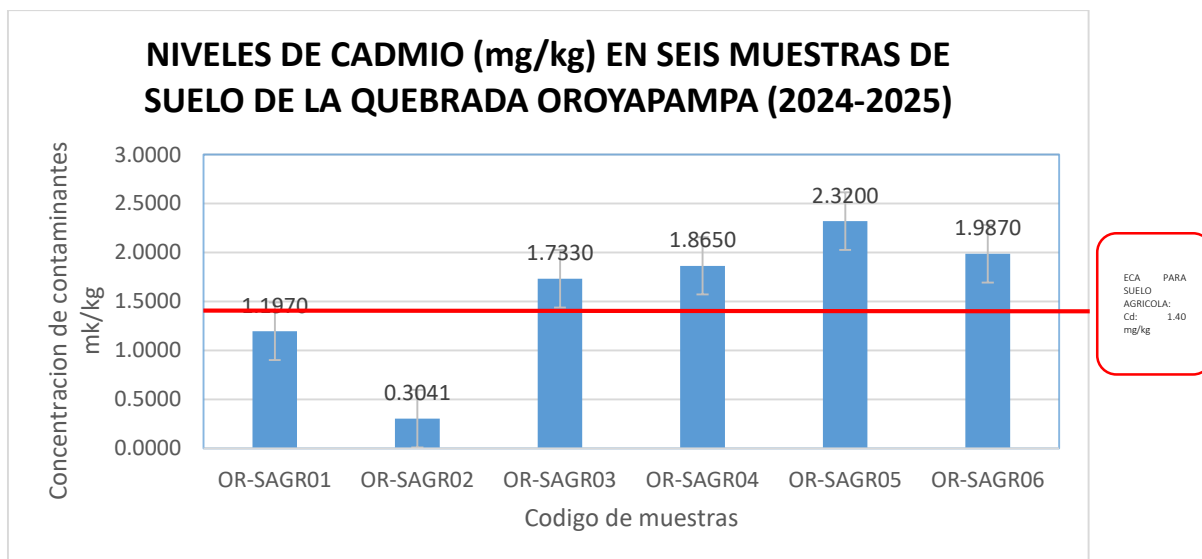
Nota. Elaboración propia.

El gráfico muestra las concentraciones de plomo (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa, analizadas entre 2024 y 2025. Se observa una variabilidad considerable en los niveles de plomo, que oscilan entre 12,45 y 70,45 mg/kg, con una concentración promedio de 39,39 mg/kg. El gráfico incluye una línea horizontal roja que representa el estándar de calidad ambiental (70 mg/kg) para suelos agrícolas. Si bien la mayoría de las muestras se encuentran por debajo de este límite, la muestra OR-SAGRO5 presenta una concentración ligeramente superior, lo que indica una posible contaminación

por plomo en esa zona específica. Se recomienda un análisis más detallado de esta muestra y sus alrededores.

Figura 21

Niveles de Cadmio (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)

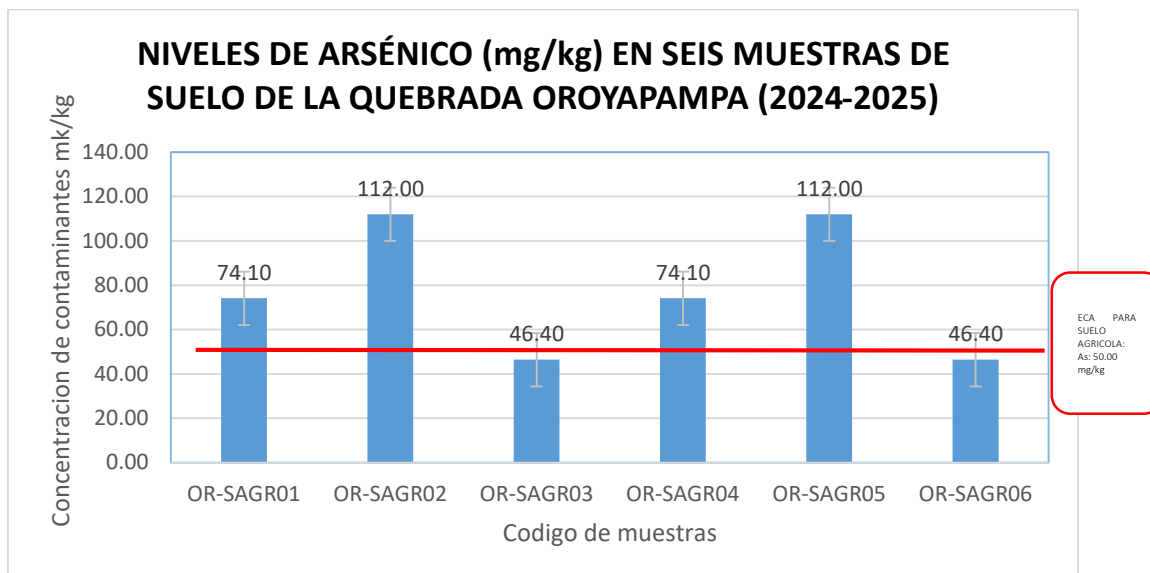


Nota. Elaboración propia.

El gráfico muestra los niveles de cadmio (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa, tomadas entre 2024 y 2025. Las concentraciones de cadmio presentan una variabilidad significativa, oscilando entre 0,30 y 2,32 mg/kg, con una concentración promedio de 1,56 mg/kg. La línea roja horizontal indica el estándar de calidad ambiental (ECA) para cadmio en suelo agrícola (1,40 mg/kg). Las muestras OR-SAGRO3, OR-SAGRO4, OR-SAGRO5 y OR-SAGRO6 superan este límite, sugiriendo una posible contaminación por cadmio en estas zonas. En contraste, las muestras OR-SAGRO1 y OR-SAGRO2 presentan concentraciones de cadmio inferiores al ECA.

Figura 22

Niveles de Arsénico (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025).



Nota. Elaboración propia.

El gráfico ilustra las concentraciones de arsénico (mg/kg) en seis muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa, analizadas entre 2024 y 2025. Se observa una variabilidad en los niveles de arsénico, con valores mínimos de aproximadamente 46 mg/kg en las muestras OR-SAGRO3 y OR-SAGRO6, valores intermedios de 74,1 mg/kg en las muestras OR-SAGRO1 y OR-SAGRO4, y valores máximos de 112 mg/kg en las muestras OR-SAGRO2 y OR-SAGRO5. con un promedio final de 77.5 mg/kg. La línea roja horizontal representa el estándar de calidad ambiental (ECA) para arsénico en suelo agrícola, establecido en 50 mg/kg. De acuerdo con este ECA, las muestras OR-SAGRO2 y OR-SAGRO5 presentan niveles de arsénico superiores al límite permitido, lo que sugiere una potencial contaminación por arsénico en esas zonas.

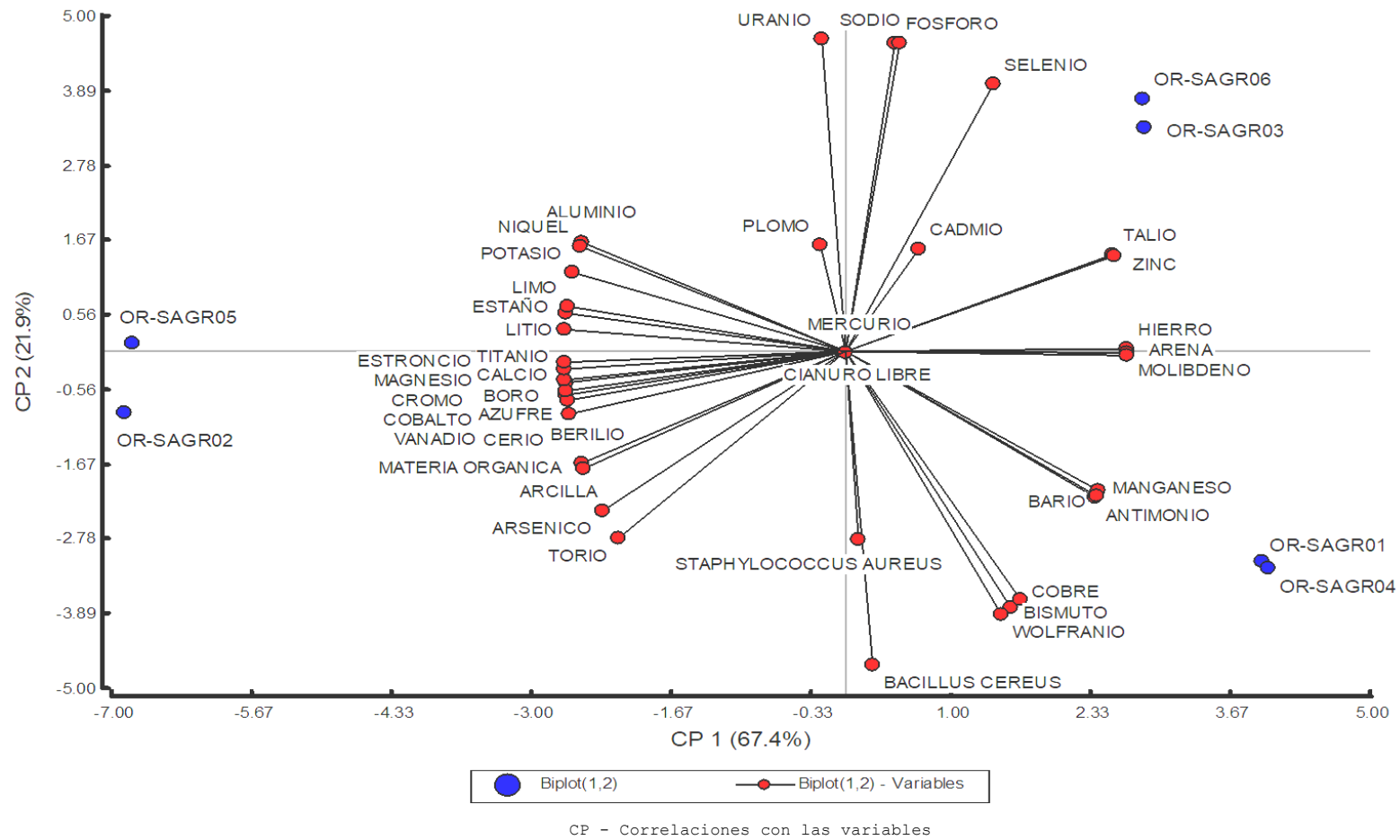
5.1.1.2 Análisis multivariable Sub sistema Suelo Agrícola. La matriz de correlación muestra las relaciones lineales entre 36 variables. Los coeficientes, que van de -1 a 1, representan la fuerza y dirección de estas relaciones. Valores cercanos a 1 indican correlación positiva fuerte, valores cercanos a -1 correlación negativa fuerte, y valores cercanos a 0 ausencia de correlación lineal.

El análisis de la matriz de correlación revela patrones interesantes en las relaciones entre las variables estudiadas. Se identifican fuertes covariaciones positivas entre grupos de elementos químicos (ej., Aluminio, Azufre, Calcio, etc.), sugiriendo una co-ocurrencia en las muestras de suelo analizadas. Esta agrupación podría indicar procesos geológicos o de formación del suelo similares que favorecen la presencia conjunta de estos elementos. Adicionalmente, se observa una correlación positiva entre la materia orgánica y varios elementos químicos. Esto apunta a una posible relación entre la composición orgánica del suelo y la concentración de estos elementos, lo que podría estar relacionado con la capacidad de retención o liberación de nutrientes por parte de la materia orgánica. Las variables de textura del suelo (arcilla, limo y arena) muestran las covariaciones esperadas: arcilla y limo presentan correlación positiva entre sí y correlación negativa con arena, reflejando las propiedades físicas y la estructura del suelo. Por otro lado, existen covariaciones negativas fuertes entre algunos elementos (ej., Antimonio y Aluminio), indicando una posible relación inversa en sus concentraciones. Esto podría deberse a procesos competitivos de absorción o a diferentes condiciones ambientales que favorecen la presencia de unos elementos sobre otros. Finalmente, las covariaciones entre las variables biológicas (*Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus*) y el resto de variables son más débiles. Para su referencia, la matriz se encuentra en el anexo 10.

Biplot de muestras de suelo de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)

Figura 23

Análisis multivariable Sub sistema Suelo Agrícolas



Nota. Elaboración propia.

Las muestras OR-SAGRO1 y OR-SAGRO4, están ubicadas en el cuadrante inferior derecho, muestran correlación positiva con parámetros como manganeso, antimonio, y bario, bismuto, cobre, wolframio y parámetros microbiológicos (*Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus*).

Mientras que las muestras OR-SAGRO2 y OR-SAGRO5, en el cuadrante inferior izquierdo, presenta correlación positiva con parámetros como aluminio, níquel, potasio, estaño, limo, litio, titanio, calcio, azufre, arsénico, materia orgánica, boro, berilio, estroncio, magnesio, cobalto, cromo, vanadio, cerio, arcilla, torio, indicando una posible mayor concentración de estos componentes en comparación con las otras muestras.

Por otro lado, las muestras OR-SAGRO3 y OR-SAGRO6, ubicadas en el cuadrante superior derecho, muestran correlación positiva con parámetros como zinc, talio, hierro, molibdeno y arena. También se observa una correlación positiva con cadmio, plomo, cianuro, mercurio, selenio, fósforo, uranio y sodio.

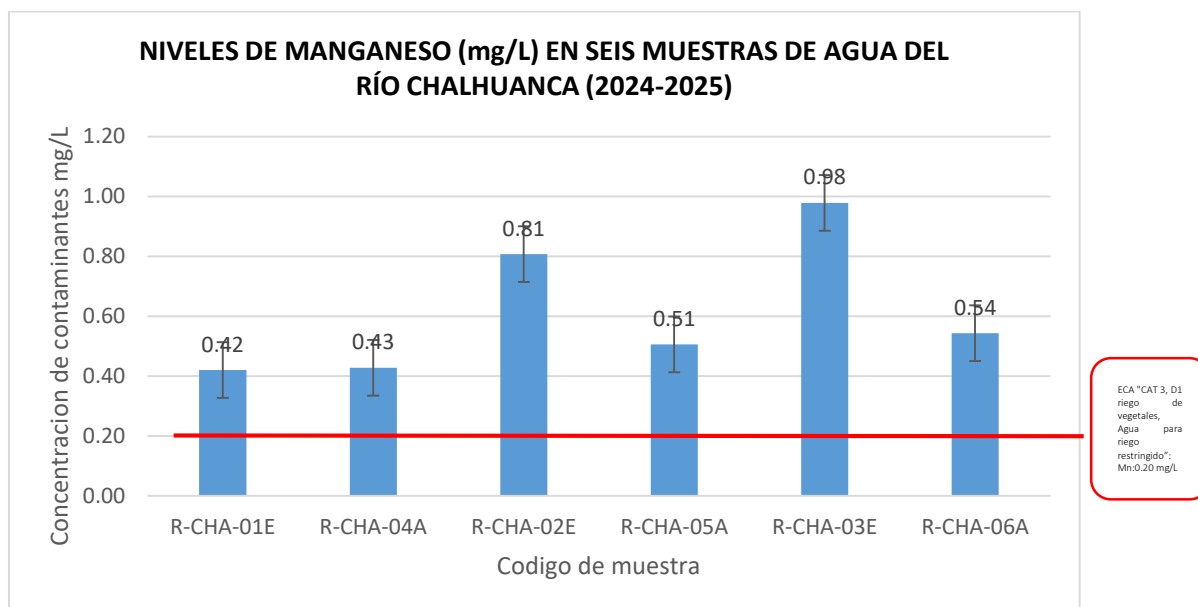
5.1.2 Sub sistema Agua de riego

5.1.2.1 Parámetros más relevantes en el estudio en relación a los ECA de agua

2017. Continuación se muestran los para metros que sobre pasaron los ECAs para suelo agua de riego y que son relevantes para el estudio.

Figura 24

Niveles de Manganeso (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).

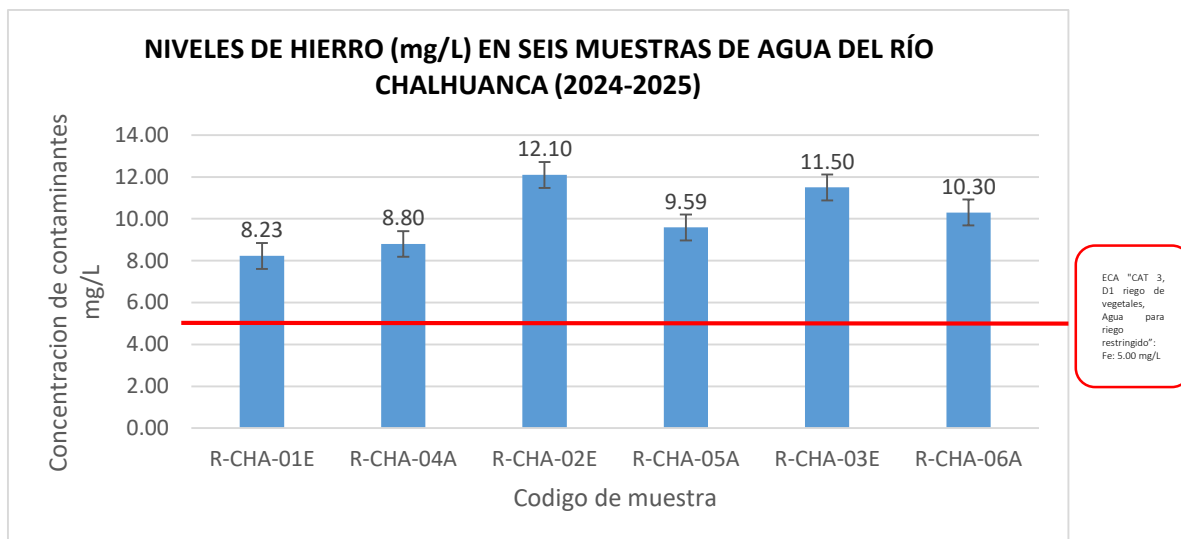


Nota. Elaboración propia.

El análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca, recolectadas entre 2024 y 2025, revela niveles de manganeso variables entre 0.42 mg/L y 0.97 mg/L, con un promedio de 0.61 mg/L. Las muestras se agrupan en tres rangos de concentración: las muestras R-CHA-02E y R-CHA-03E presentan las concentraciones más altas (0.80 mg/L y 0.97 mg/L); las muestras CHA-05E y CHA-06E muestran concentraciones intermedias (0.50 mg/L y 0.54 mg/L); y las muestras CHA-01E y CHA-04E presentan las concentraciones más bajas (0.42 mg/L y 0.42 mg/L). Comparando estos resultados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para manganeso (0.20 mg/L), se observa que la concentración promedio de manganeso en el río Chalhuanca supera significativamente este límite, indicando una posible contaminación.

Figura 25

Niveles de Hierro (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025)

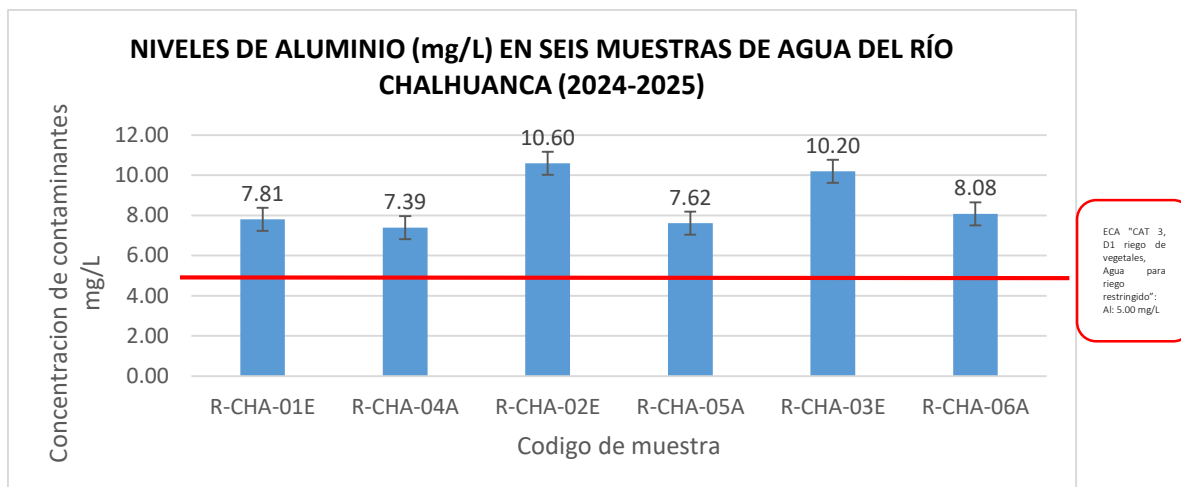


Nota. Elaboración propia.

El análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025) revela niveles de hierro variables, entre 8.23 y 12.10 mg/L, con una media de 10.08 mg/L. Se observa una notable variación en las muestras R-CHA-02E y R-CHA-03E presentan las concentraciones más elevadas de las seis muestras (12.10 y 11.50 mg/L, respectivamente); R-CHA-06A y R-CHA-05A muestran concentraciones intermedias de concentración (10.30 y 9.59 mg/L); y R-CHA-01E y R-CHA-04A presentan las concentraciones más bajas (8.23 y 8.80 mg/L). Comparando con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para hierro (5.00 mg/L), la concentración media excede significativamente el límite.

Figura 26

Niveles de Aluminio (mg/L) en seis muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025)



Nota. Elaboración propia.

El análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca, tomadas entre 2024 y 2025, revela niveles de aluminio que oscilan entre 7.39 y 10.60 mg/L, con una concentración promedio de 8.61 mg/L. Las muestras R-CHA-02E y R-CHA-03E presentan las concentraciones más elevadas (10.60 y 10.20 mg/L, respectivamente), seguidas de R-CHA-06A, R-CHA-05A y R-CHA-01A (8.08, 7.62 y 7.81 mg/L, respectivamente). La muestra R-CHA-04A muestra la concentración más baja (7.39 mg/L). Comparando estos resultados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aluminio en riego (5.00 mg/L), se observa que tanto la concentración promedio como varias muestras individuales superan este límite.

5.1.2.2 Análisis multivariable Sub sistema Agua de riego. Contaminación bacteriana: Existe una fuerte correlación positiva entre *Escherichia coli* y Coliformes termotolerantes (0.7), lo que es esperable dado que ambos indicadores reflejan la contaminación fecal. Además, se observa una correlación positiva con varios metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Selenio, Silicio, Zinc), lo que sugiere que la contaminación bacteriana podría estar relacionada con la presencia de estos metales en el agua.

Sólidos totales: Los sólidos totales muestran una correlación positiva con varios metales y con el color y la turbidez del agua, lo que indica que la mayor concentración de sólidos puede estar asociada a una mayor presencia de metales y a una peor calidad estética del agua.

DBO y DQO: La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) muestran una correlación negativa con muchos metales y una correlación positiva entre sí. Esto es consistente con la idea de que la materia orgánica (DBO) puede ser una fuente de nutrientes que favorecen el crecimiento de microorganismos y la liberación de metales. La DQO, que mide la cantidad total de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica, refleja la carga contaminante total.

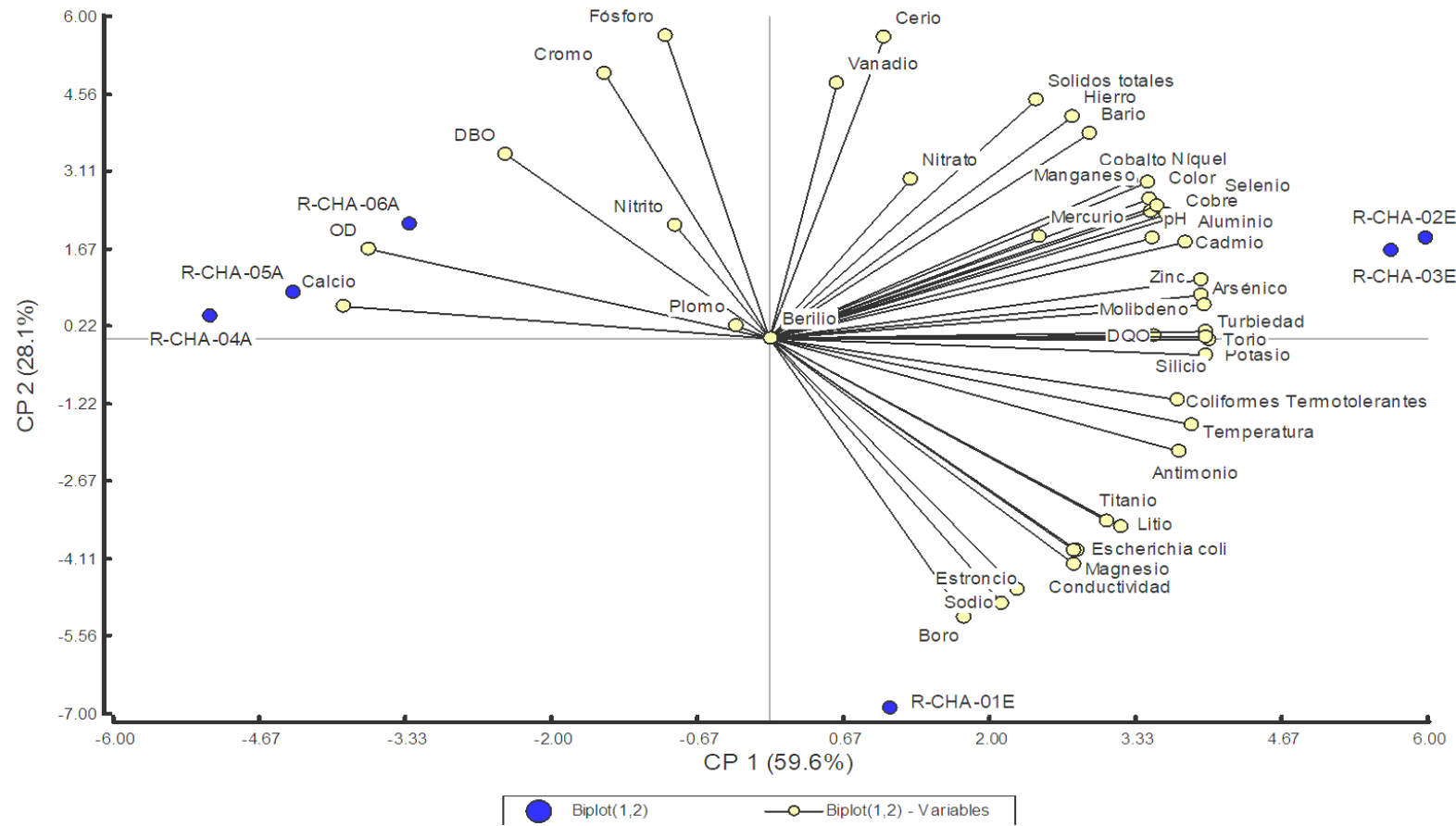
Temperatura, Conductividad, Turbidez: Existe una fuerte correlación positiva entre la temperatura, la conductividad y la turbidez. Esto es esperable, ya que la temperatura puede influir en la solubilidad de los iones y la turbidez está relacionada con la presencia de partículas en suspensión

Para su referencia, la matriz se encuentra en el anexo 9.

Biplot de muestras de agua del río Chalhuanca (2024-2025).

Figura 27

Análisis multivariable Sub sistema Agua de riego



Nota. Elaboración propia.

CP - Correlaciones con las variables

El análisis de seis muestras de agua del río Chalhuanca, tomadas durante épocas de estiaje y avenida (2024-2025), revela tres grupos con diferentes perfiles de contaminantes. Las muestras R-CHA-04A, R-CHA-05A y R-CHA-06A, ubicadas en la zona superior izquierda del gráfico, presentan concentraciones relativamente bajas de contaminantes. Berilio, calcio, oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), cromo, fósforo, nitrito, plomo, vanadio y cerio en comparación con las otras muestras.

En contraste, las muestras R-CHA-02E y R-CHA-03E, situadas en la parte superior derecha, indican una mayor concentración y proporción de diversos contaminantes, incluyendo nitratos, sólidos totales, hierro, bario, mercurio, manganeso, cobalto, níquel, cobre, pH, molibdeno, aluminio, cadmio, demanda química de oxígeno, potasio, silicio, torio, arsénico, selenio, turbiedad, color y zinc.

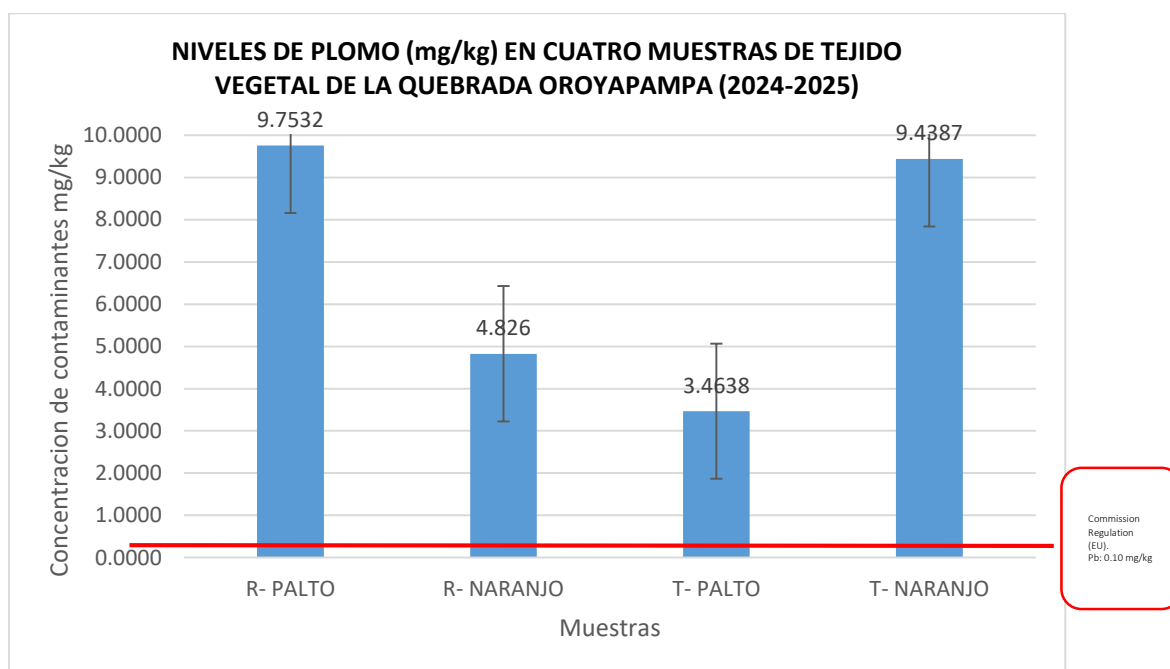
Finalmente, la muestra R-CHA-01E, localizada en la parte media inferior del gráfico, presenta concentraciones elevadas de boro, sodio, estroncio, antimonio, magnesio, conductividad, Escherichia coli, Temperatura, coliformes termotolerantes, litio y titanio en comparación con las demás muestras.

5.1.3 Sub sistema vegetal

Parámetros relevantes de acuerdo a la Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 (Text with EEA relevance)

Figura 28

Niveles de Plomo (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)

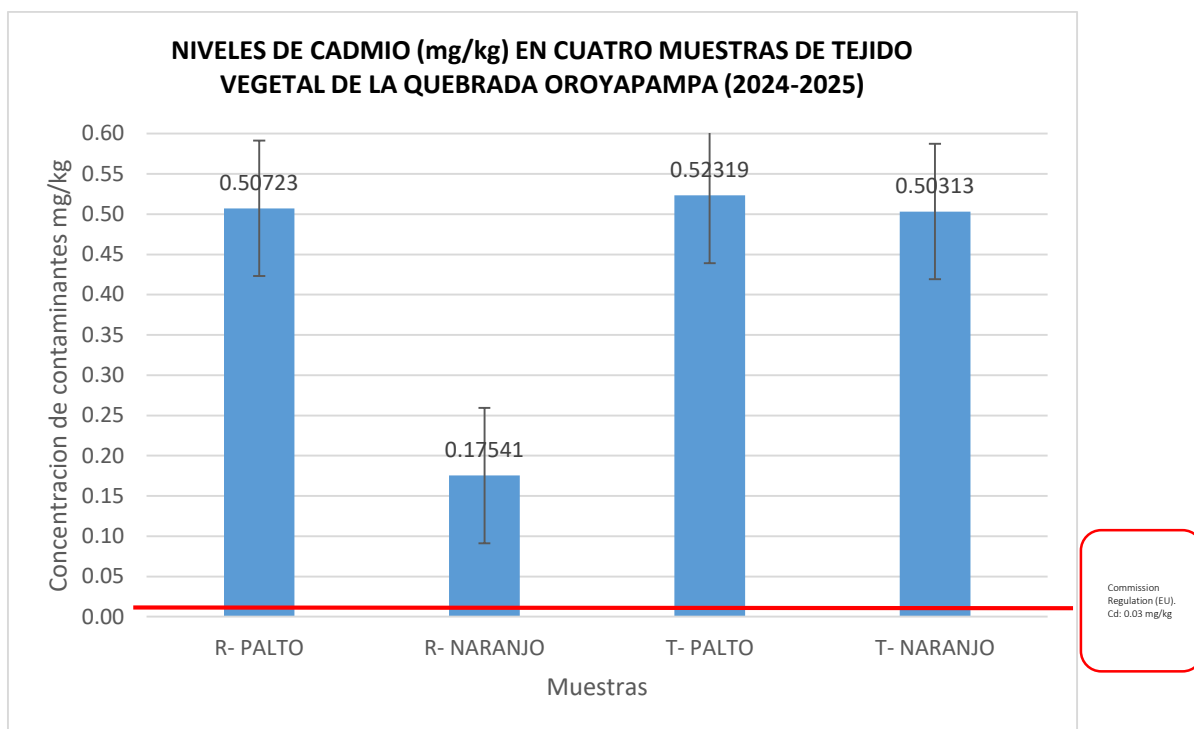


Nota. Elaboración propia.

El histograma ilustra las concentraciones de plomo (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal. Se observa una considerable variación entre las muestras. La concentración mínima de plomo se registra en T-PALTO con 3.46 mg/kg, mientras que la máxima se encuentra en R-PALTO con 9.75 mg/kg. Las muestras de R-PALTO y T-NARANJO muestran las concentraciones más altas de plomo, mientras que las muestras de T-PALTO y R-NARANJO presentan niveles considerablemente menores, aunque aún por encima del límite establecido. Todas las muestras exceden significativamente el límite de la Unión Europea para plomo de 0.10 mg/kg, representado por la línea roja.

Figura 29

Niveles de Cadmio (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa (2024-2025)



Nota. Elaboración propia.

Los niveles de cadmio (mg/kg) en cuatro muestras de tejido vegetal de la quebrada Oroyapampa, entre 2024 y 2025. Se observa una variación significativa en las concentraciones de cadmio entre las muestras. La concentración mínima se encuentra en la muestra de R-NARANJO con 0.17 mg/kg, mientras que la máxima se registra en la muestra de T-PALTO con 0.52 mg/kg.

Las muestras de R-PALTO y T-NARANJO, tienen concentraciones de (0.507 y 0.503 mg/kg respectivamente) Todas las muestras exceden significativamente el límite de la Unión Europea para cadmio de 0.03 mg/kg, representado por la línea roja.

5.1.2.1. Análisis multivariable Sub sistema vegetal

La matriz de correlación muestra fuertes relaciones entre varios elementos. Se observan altas covariaciones positivas (cercanas a 1) entre Plata, Aluminio, Arsénico, Berilio, Bismuto, Cerio, Cobalto, Cobre, Hierro, Litio, Magnesio, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Silicio, Talio, Uranio, Vanadio y Zinc. Esto sugiere una co-ocurrencia o asociación geoquímica entre estos elementos, posiblemente indicando que se encuentran en los mismos tipos de depósitos minerales o que sus concentraciones están influenciadas por procesos geológicos similares. Por otro lado, el Boro muestra covariaciones negativas significativas con la mayoría de estos elementos, indicando una relación inversa en su distribución.

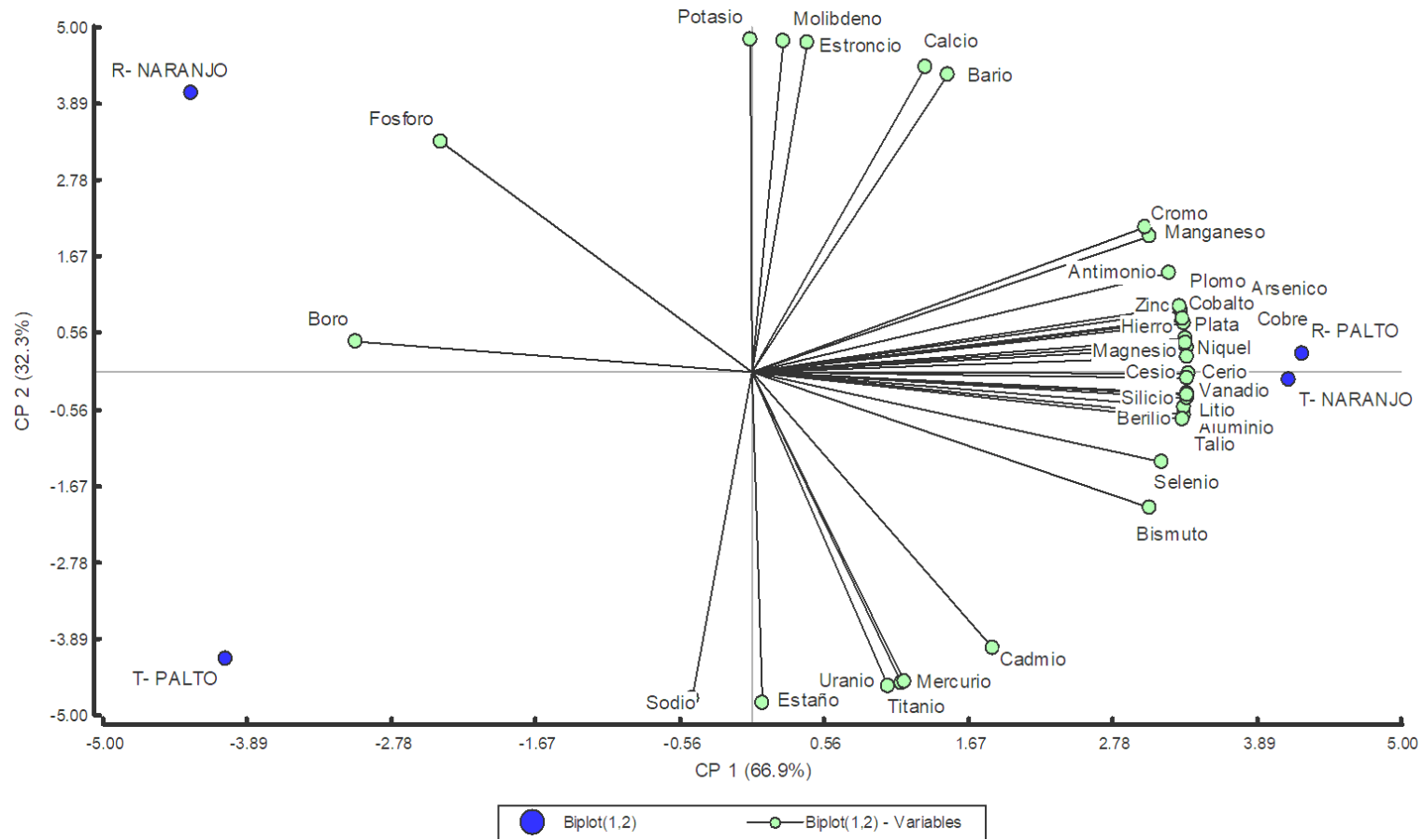
El Potasio y el Molibdeno presentan covariaciones variables, con algunas asociaciones positivas y otras negativas, sugiriendo una relación más compleja con el resto de los elementos. El Cadmio y el Mercurio muestran covariaciones más débiles con la mayoría de los elementos, y las covariaciones entre el Estaño y el Estroncio son también relativamente bajas.

Para su referencia, la matriz se encuentra en el anexo 11.

Biplot de muestras de tejido vegetal quebrada Oroyapampa (2024-2025)

Figura 30

Análisis multivariable Sub sistema vegetal



Nota. Elaboración propia.

CP - Correlaciones con las variables

El análisis de tejido vegetal muestra que la muestra R-NARANJO; se sitúa en el cuadrante superior izquierdo, indicando una composición química particular. Su distancia a los vectores sugiere concentraciones relativamente altas de Fósforo y Boro, en comparación con las otras muestras. Así mismo se agrupan los elementos bario, calcio, molibdeno, estroncio y potasio con una correlación positiva.

T-PALTO; Esta muestra se ubica en el cuadrante inferior izquierdo, pero diferente a R-NARANJO. Su proximidad al origen sugiere concentraciones relativamente bajas de la mayoría de los parámetros mostrados en el biplot. Las muestras de R-PALTO y T-NARANJO se ubican en la parte derecha del gráfico indicando que tiene una fuerte correlación con bismuto, selenio, talio, aluminio, berilio, silicio, vanadio, cerio, litio, cesio, níquel, magnesio, plata, cobre, cobalto, cromo, plomo, antimonio, zinc, manganeso, hierro y arsénico.

Existe una correlación positiva entre los elementos inorgánicos de sodio, estaño, uranio, mercurio, titanio y cadmio.

5.1.4 Análisis global de los tres sub sistemas

La matriz de correlación muestra las relaciones lineales entre diferentes elementos (metales y metaloides). Un valor de 1 indica una correlación positiva perfecta (aumenta uno, aumenta el otro), -1 una correlación negativa perfecta (aumenta uno, disminuye el otro), y 0 indica ausencia de correlación lineal.

Altas covariaciones positivas: Existen fuertes covariaciones positivas entre varios elementos, sugiriendo que tienden a aparecer juntos. la fuerte correlación entre Berilio y Cobalto (0.992), Berilio y Cerio (0.966), Arsénico y Estaño (0.941), Hierro y Manganeso (0.992), Selenio y Estaño (0.979), etc., indican una asociación significativa.

Altas covariaciones negativas: Se observan covariaciones negativas significativas entre algunos elementos y otros grupos. la correlación negativa entre Plata y Arsénico (-0.219) sugiere que donde hay alta concentración de uno, la del otro tiende a ser baja.

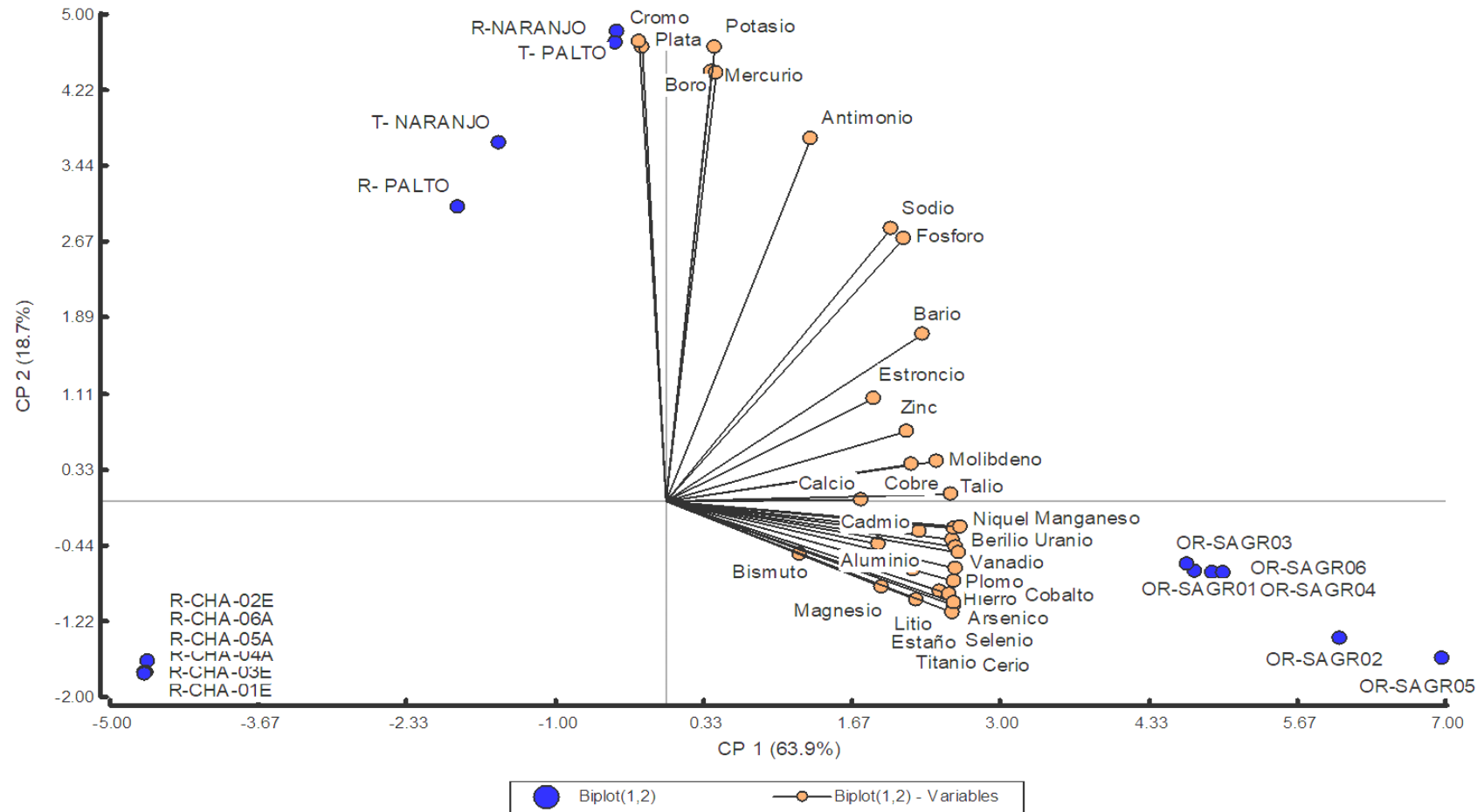
Covariaciones débiles: Muchas covariaciones son cercanas a cero, indicando una relación lineal débil o inexistente.

Para más referenciar ver el anexo 12.

Biplot del análisis global de los tres sub sistemas (2024-2025)

Figura 31

Análisis global de los tres sub sistemas



Nota. Elaboración propia.

CP - Correlaciones con las variables

En el análisis global de los tres sub sistemas se observa que el Grupo de agua (R-CHA-02E, R-CHA-04A, R-CHA-05A, R-CHA-06A, R-CHA-03E, R-CHA-01E): se encuentran lejos de los vectores de parámetros como Sodio, Fósforo, Antimonio, y Plata, sugiriendo bajas concentraciones de estos elementos en estas muestras.

El Grupo suelo (OR-SAGRO1, OR-SAGRO2, OR-SAGRO3, OR-SAGRO4, OR-SAGRO5, OR-SAGRO6): Este grupo se concentra en el cuadrante superior derecho. Su proximidad a los vectores de Níquel, Manganeso, Cadmio, Vanadio, Aluminio, Cerio, Cobalto, Plomo, Uranio y Mercurio sugiere que estas muestras presentan concentraciones relativamente altas de estos elementos.

El Grupo de tejido vegetal (R-PALTO, T-PALTO, T-NARANJO, R-NARANJO): Este grupo se distribuye en el cuadrante superior izquierdo. Las muestras R-PALTO y T-NARANJO están más cerca del origen, mientras que R-NARANJO y T-PALTO se ubican más alejadas. Se encuentran con mayores concentraciones de plata, cromo, potasio, boro, mercurio, antimonio en relación a otras muestras.

5.2 Discusión

- El análisis de los subsistemas ambientales reveló concentraciones variables de metales pesados, excediendo en algunos casos los límites permisibles establecidos por los ECAs. Se detectaron niveles elevados de arsénico 77.5 mg/kg, cadmio 1,56 mg/kg y plomo 39,39 mg/kg en el suelo agrícola, así como concentraciones de aluminio 8.61 mg/L, hierro 10.08 mg/L y manganeso 0.61 mg/L. Particularmente, se observó una superación significativa de plomo 6.87 mg/kg y cadmio 0.43 mg/kg para la regulación (EU) 2023/915. Estos resultados indican una potencial contaminación del subsistema ambiental analizado. Las diferencias en la concentración de metales pesados entre los tres subsistemas podrían estar relacionadas con la biodisponibilidad de los metales en el suelo, la eficiencia de absorción de las plantas y la movilidad de los metales en el agua. Lara (2015) se enfocó en el grado de absorción y movilidad del cadmio (Cd) y plomo (Pb) en suelos y en plantas cultivadas en suelos irrigados con aguas residuales, mostrando variabilidad en la concentración de Cd 0.0424 mg/kg y Pb 0.1972 mg/kg en promedio de todas las especies vegetales analizadas. Leal (2023) Evaluó las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos con irrigación continua de aguas residuales de la acuicultura incremento la concentración de fósforo 28.22 mg/kg, potasio 414.07 mg/kg, calcio 899.73 mg/kg, amonio 13.56 mg/kg y nitratos 14.80 mg/kg. Estos hallazgos contrastan con los niveles de cadmio 0.07 mg/kg y plomo 0.40 mg/kg reportados por Lara (2015) en suelo. La bioacumulación de metales en los tejidos vegetales de palto (*Persea americana*) y naranjo (*Citrus sinensis*) es consistente con los resultados de Lara (2015), quien también encontró variabilidad en la concentración de cadmio 0.0424 mg/kg y plomo 0.1972 mg/kg en diferentes especies vegetales.

En este contexto, es importante considerar los hallazgos de Leal (2023), quien evaluó las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos con irrigación continua de aguas residuales y encontró que la irrigación con aguas residuales de la acuicultura incrementó la concentración de fósforo (28.22 mg/kg), potasio (414.07 mg/kg), calcio (899.73 mg/kg), amonio (13.56 mg/kg) y nitratos (14.80 mg/kg). Si bien el presente estudio no se enfoca en estos nutrientes, es posible que la irrigación con aguas contaminadas esté aportando tanto nutrientes como metales pesados, lo que podría tener efectos sinérgicos o antagónicos en la bioacumulación.

Nuestro estudio, con un enfoque más amplio en la correlación entre agua, suelo y planta en palto (*Persea americana*) y naranjo (*Citrus sinensis*), complementa los hallazgos de Lara (2015) y Leal (2023) Esta convergencia en las conclusiones refuerza la comprensión de que la bioacumulación no es un fenómeno aislado, sino un proceso complejo influenciado por la interacción entre la disponibilidad del metal en los cuerpos de agua, medio edáfico y la capacidad de las plantas para absorberlo.

- El suelo de la quebrada Oroyapampa presenta una compleja interacción entre sus propiedades físico-químicas, microbiológicas e inorgánicas. Se caracteriza por un contenido de materia orgánica del 2.50%, una textura franco-arenosa (33.33% limo, 50.66% arena, 16% arcilla), y niveles de fósforo (643.33 mg/kg) y potasio (1749.33 mg/kg) que influyen en la biodisponibilidad de los elementos inorgánicos (ver Anexo 6 para valores específicos). La presencia de microbiológica de *Bacillus cereus* (100 ufc/g) y *Staphylococcus aureus* (10 ufc/g). nuestro estudio muestra niveles de plomo (39,39 mg/kg), cadmio (1,56 mg/kg) y arsénico (77.5 mg/kg) por encima de los ECAs en algunas muestras indica una contaminación significativa del suelo en ciertas zonas de la quebrada Oroyapampa. La correlación positiva entre la materia orgánica y

algunos metales pesados sugiere que la materia orgánica podría estar actuando como un reservorio de estos contaminantes. Para Soto, et al. (2020) El alto nivel de cadmio está asociado a la presencia de botaderos municipales y actividades de minería artesanal ubicados a orillas de los ríos que converge al punto de aforo en el área de estudio

La baja correlación entre las variables microbiológicas y los metales pesados indica que la contaminación no está directamente relacionada con la actividad microbiana del suelo. Estos resultados indican una contaminación significativa, consistente con estudios previos en zonas mineras peruanas como los estudios de Méndez, et al. (2023) y Soto, et al. (2020) . A diferencia de Luricocha Quispe (2023) , donde el plomo se encuentra bajo los ECA, pero superior a niveles de referencia, Oroyapampa exhibe una contaminación más severa, particularmente por arsénico. La baja materia orgánica (2.50%) del suelo franco-arenoso, en contraste con suelos con mayor materia orgánica como en el estudio de Lara (2015), podría estar influyendo en la biodisponibilidad de los metales, aunque la correlación positiva entre materia orgánica y algunos metales sugiere un efecto de reservorio. La textura arenosa, comparada con suelos arcillosos como en el estudio de Leal (2023), podría aumentar la movilidad de los contaminantes. La fitorremediación, como se estudia en las investigaciones de Soto, Jiménez y Barragán (2021) y Vera (2023), puede ser una opción a considerar para la remediación del suelo en Oroyapampa.

- El agua utilizada para riego en la quebrada Oroyapampa, presenta una compleja interacción entre sus características físico-químicas, biológicas y microbiológicas, e inorgánicas. Físico-químicamente, se observa una turbidez (270 NTU), Color (82.5 UVC), Conductividad (174.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Demanda Bioquímica de Oxígeno (33.02 mg/L), Demanda Química de Oxígeno (38.30 mg/L), Nitratos (0.49 mg/L), Nitritos

(0.05 mg/L), Oxígeno Disuelto (7.18 mg/L), pH (7.59) y Temperatura (18.80 °C). Biológica y microbiológicamente, se detectaron niveles elevados de coliformes termotolerantes (3498.33 NMP/100ml) y *Escherichia coli* (1993.33 NMP/100ml), indicando contaminación fecal. Inorgánicamente, se detectaron concentraciones elevadas de varios elementos inorgánicos (ver Anexo 5 para valores específicos), superando en varios casos los estándares de calidad ambiental para agua de riego. La alta turbidez y los sólidos totales sugieren una carga sedimentaria significativa, que podría estar relacionada con la presencia de metales. La contaminación fecal, por otro lado, podría estar asociada a la presencia de algunos metales, dado que se observan covariaciones entre ambos tipos de contaminantes.

La alta turbidez y sólidos totales apuntan a una significativa carga sedimentaria, que puede contribuir a la presencia de metales, similar a lo observado en el río Carrizal Aveiga, et al. (2022). La comparación con los ECAs para agua de riego muestra que varios parámetros, incluyendo manganeso, hierro y aluminio, superan los límites permitidos, lo cual coincide con estudios internacionales que muestran la relación entre la actividad minera y la contaminación de ríos encontrada en las investigaciones de Leyte (2019) y Leal (2023). El análisis multivariado confirma la correlación entre la contaminación bacteriana y la presencia de metales, destacando la necesidad de implementar medidas de mitigación para proteger la salud pública y la seguridad alimentaria. A diferencia del estudio de Quispe (2023) donde se analiza el suelo, este estudio se centra en el agua de riego, mostrando una contaminación multifactorial que afecta la calidad del agua para riego.

- El análisis de tejido vegetal (tallos y raíces) de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranja), revela la presencia de múltiples contaminantes inorgánicos. (Los resultados detallados en el Anexo 7), muestran concentraciones significativas de

diversos metales y metaloides en ambos cultivos. Para obtener los valores específicos de cada elemento. Es importante destacar que Plomo (39,39 mg/kg) y Cadmio (1,56 mg/kg) superan los límites máximos permitidos por la regulación (EU) 2023/915. La contaminación por metales pesados en el suelo y el agua de riego de la quebrada Oroyapampa es la causa principal de las elevadas concentraciones de elementos inorgánicos en los tejidos vegetales de palto y naranjo.

El análisis de tejido vegetal de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranjo) en Oroyapampa revela la presencia de múltiples contaminantes inorgánicos, con concentraciones significativas de plomo (6.01 mg/kg) y cadmio (0.40 mg/kg) que superan ampliamente los límites máximos permitidos por la regulación (EU) 2023/915 (0.10 mg/kg para Plomo y 0.03 mg/kg para Cadmio), estos resultados son consistentes con estudios previos que muestran bioacumulación de metales pesados en plantas cultivadas en suelos contaminados como en los trabajos de Alban y Calle (2019), Soto, et al. (2020) y Tulcán (2020). En los estudios de Soto, et al. (2020) similar a los estudios de acumulación de metales en cultivos de yuca y el plátano que presentaron mayores concentraciones de As, Pb y Cd. La yuca, en particular, acumuló altos niveles de plomo y arsénico en raíces y tallos. La alta concentración de plomo y cadmio en los tejidos vegetales, especialmente en las raíces, indica una eficiente absorción de estos metales desde el suelo contaminado, corroborando la hipótesis planteada y la influencia de la contaminación del suelo y agua de riego como fuentes principales de contaminación. A diferencia de estudios que muestran menor bioacumulación en ciertas especies vegetales como en los encontrados por (Lara, 2015), en Oroyapampa se observa una bioacumulación significativa en ambas especies, posiblemente debido a la alta biodisponibilidad de los metales en el suelo y la capacidad de absorción de estas especies. La presencia de otros metales

y metaloides en concentraciones variables (Anexo 7) tiene implicaciones para la seguridad alimentaria, tal como se describe en estudios sobre riesgos para la salud humana por consumo de productos agrícolas en suelos contaminados como en los estudios de (Soto et al, 2020).

VI. Conclusiones

- En el suelo, se detectaron en varias muestras niveles elevados de arsénico 77.5 mg/kg, cadmio 1,56 mg/kg y plomo 39,39 mg/kg en algunas muestras que excedieron los ECA. Se ha identificado concentraciones elevadas de metales pesados como el aluminio 8.61 mg/L, hierro 10.08 mg/L y manganeso 0.61 mg/L en el agua para riego, superando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Las muestras de tejido vegetal mostraron concentraciones de plomo 6.87 mg/kg y cadmio 0.43 mg/kg que superaron los límites máximos permitidos por la regulación (EU) 2023/915, indicando una covariación elevada en las plantas. El análisis multivariado confirma la conexión de la contaminación en las tres matrices ambientales persistiendo la presencia de plomo y cadmio.
- La contaminación inorgánica en el suelo por metales pesados es significativa, con concentraciones de de arsénico 77.5 mg/kg, cadmio 1,56 mg/kg y plomo 39,39 mg/kg que superan los niveles establecidos por los ECAs en varias muestras. En contraste, los niveles de bario, mercurio y cianuro se encuentran por debajo de dichos límites. El suelo agrícola presenta una materia orgánica relativamente baja (2.50%), con una textura franco-arenosa y niveles de fósforo y potasio. También se detectó la presencia de *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus* en el suelo. El análisis ha identificado tres grupos de asociaciones entre elementos inorgánicos, el primero incluye manganeso, antimonio, y bario, bismuto, cobre, wolframio y parámetros microbiológicos (*bacillus cereus* y *staphylococcus aureus*). El segundo, presenta correlación positiva con parámetros como aluminio, níquel, potasio, estaño, limo, litio, titanio, calcio, azufre, arsénico, materia orgánica, boro, berilio, estroncio, magnesio, cobalto, cromo, vanadio, cerio, arcilla y torio y el tercer grupo parámetros como zinc, talio, hierro, molibdeno y arena. También se observa una correlación

positiva con cadmio, plomo, cianuro, mercurio, selenio, fósforo, uranio y sodio. La correlación positiva entre la materia orgánica y ciertos metales sugiere que esta podría actuar como un reservorio de contaminantes.

- Las concentraciones de aluminio 8.61 mg/L, hierro 10.08 mg/L y manganeso 0.61 mg/L superaron los ECAs para agua de riego, confirmando una contaminación inorgánica relevante, caso contrario las concentraciones de Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Litio, Magnesio, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc que no lograron superar los ECAs. Los parámetros físico químicos del agua del río Chalhuanca con relación a los ECAs muestra una elevada turbidez, color, conductividad, DBO y DQO, contrariamente a los niveles de Nitratos, Nitritos, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura. Se detectaron niveles significativos de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, evidenciando contaminación fecal. El análisis ha identificado grupos de asociaciones entre elementos inorgánicos el primero de berilio, calcio, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cromo, fósforo, nitrito, plomo, vanadio y cerio. El segundo grupo incluye nitratos, sólidos totales, hierro, bario, mercurio, manganeso, cobalto, níquel, cobre, pH, molibdeno, aluminio, cadmio, demanda química de oxígeno, potasio, silicio, torio, arsénico, selenio, turbiedad, color y zinc. Finalmente se agrupan boro, sodio, estroncio, antimonio, magnesio, conductividad, *Escherichia coli*, Temperatura, coliformes termotolerantes, litio y titanio.
- Las concentraciones de plomo 6.87 mg/kg y cadmio 0.43 mg/kg en los tejidos vegetales de *Persea americana* (palto) y *Citrus sinensis* (naranja), superaron ampliamente los límites máximos permitidos por la regulación (EU) 2023/915, la

alta concentración en los tejidos vegetales, especialmente en las raíces, indica una eficiente absorción desde el suelo contaminado. Se identifico grupos de asociaciones entre elementos inorgánicos el primero de Fósforo y Boro, el segundo de bario, calcio, molibdeno, estroncio y potasio. El tercer grupo de bismuto, selenio, talio, aluminio, berilio, silicio, vanadio, cerio, litio, cesio, níquel, magnesio, plata, cobre, cobalto, cromo, plomo, antimonio, zinc, manganeso, hierro y arsénico. Y el cuarto grupo donde existe una correlación positiva entre los elementos inorgánicos de sodio, estaño, uranio, mercurio, titanio y cadmio.

VII.Recomendaciones

- Ampliar el estudio del tejido vegetal a los frutos, para evaluar la bioacumulación en los productos agrícolas.
- Realizar un estudio para identificar fuentes de contaminación por metales pesados, analizando actividades mineras, residuos industriales/domésticos, otras fuentes potenciales y la geología local.
- Realizar planes de mitigación de la contaminación del río Chalhuanca mediante el tratamiento de aguas residuales, la gestión de residuos sólidos y la regulación minera. Remediar la contaminación del suelo agrícola con metales pesados usando fitorremediación, biorremediación y otras alternativas. Evaluar sistemas de riego alternativos (pozos, riego por goteo) para reducir la dependencia del río Chalhuanca.
- Se recomienda la colaboración interinstitucional para la implementación de recomendaciones y la gestión sostenible de recursos naturales en la quebrada Oroyapampa, involucrando autoridades locales, regionales y nacionales, ONGs y la comunidad científica.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Alban Gallardo, L. D., C. V. J. J. (2019). *Metales pesados en mangifera indica l. cultivada a orillas del rio amarillo y su repercusión socioambiental*, [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Machala].
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15579>
- Alfonso Bartoli, J. A. (2008). *Manual técnico de cultivos de aguacates (Persea americana)*.
<https://www.avocadosource.com/books/AlfonsoJose2008.pdf>.
- Argota, G. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(05), 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63624365020.pdf>.
- Aveiga Ortiz, Ana María, Banchón Bajaaná, Carlos Luis, Mendoza Cedeño, Laura Gema, Calderón Pincay, José Manuel, & Delgado Moreira, María Isabel. (2022). Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(3), 13-23.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S168003382022000300013&lng=es&tlng=es.
- Bologna Fernández, F. D. (2006). *Caracterización de variedades de naranjas (citrus sinensis (L.) Osb) en la región litoral norte del país*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de la República Uruguay].
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/32879/1/BolognaFrancisco.pdf>
- Correa Cuba, Olivera De Lescano, O., Fuentes Bernedo, F., Rodas Guizado, E., Reynaga Medina, A., Olivares Pastor, O., & Porras Días, N.. (2020). Determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos X en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac-Perú, para periodos de estiaje y lluvia. *Acta Nova*, 9(4),

504-523. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000100003&lng=es&tlng=es.

Correa Cuba, Odilon, Fuentes Bernedo, Frida Esmeralda, & Coral Surco, Rosa Gabriela. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26-38. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>.

Doadrio Villarejo, A. (2016). *Elementos químicos*. <https://fileserver.core.ac.uk/pdf/pdf/230317207.pdf>

Elango, D. (2022). Intervenciones agronómicas, de mejoramiento y biotecnológicas para mitigar los problemas de toxicidad de los metales pesados en la agricultura. *Agric. Res. Alimentaria*, 10 (22), 10-74. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100374>.

Eróstegui Revilla, C. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *revista científica ciencia médica*, 12(1), 45-46. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s181774332009000100013&lng=es&tlng=es.

Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Flores-Ruiz, Eric, Miranda-Novales, María Guadalupe, & Villasís-Keever, Miguel Ángel. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergia México*, 64(3), 364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>

García Céspedes, Damarys, Lima-Cazorla, Lázaro A, Ruiz-Gutierrez, Lourdes, Santana-Romero, Jorge L, & Calderón-Peñalver, Pablo A. (2016). Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. *Revista Cubana de*

Química, 28(1), 378-393. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212016000100004&lng=es&tlng=es.

Gerardo Fischer, F. L. F.-G. (2023). Heavy metal contamination of vegetables in urban and peri-urban areas. An overview. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(2), e16099. Epub February 20, 2024. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.16099>

Gonzales Gabriel, Yonel Amadeo. (2018). *Estudio de declaración de impacto ambiental generados por el proyecto de saneamiento básico rural de las localidades de san Luis gonzaga y Quillapampa del distrito de jivia, provincia de lauricocha, departamento de Huanuco – 2018*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2787/Tesis_Declaraci%
c3%b3n_Impacto_Ambiental.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2787/Tesis_Declaraci%c3%b3n_Impacto_Ambiental.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Guzmán Morales, Ambar Rosa, Paz, Orestes Cruz-La, & Valdés-Carmenate, Ramiro. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), Recuperado en 23 de octubre de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542019000100004&lng=es&tlng=es.

Hernández Caricio, C. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de Bacillus como bioherramienta para la recuperación de suelos. *AyTBUAP*. 7(27):1-68 <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-727/los-metales-pesados-en-la-historia-de-la-humanidad>

Lara Viveros, Francisco Marcelo, Ventura-Maza, Alejandro, Ehsan, Muhammad, Rodríguez-Ortega, Alejandro, Vargas-Monter, Jorge, & Landero-Valenzuela, Nadia. (2015). Contenido de Cd Y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista internacional de*

contaminación ambiental, 31(2), 127-132. Recuperado en 23 de octubre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01884999201500020002&lng=es&tlng=es.

Leal Mendoza, Aldo Iram, García Gallegos, Elizabeth, Vázquez Cuecuecha, Oscar G., & Hernández-Acosta, Elizabeth. (2023). Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 5-28. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v34i1.50028>

Leyte Vidal, Juan J. Piña, González-Fernández, Lázaro Adrián, Gutiérrez-Artiles, Onibag, Márquez-Llauger, Lázaro, & Del Cristo, Tania Alfonso. (2019). Caracterización de tres bioindicadores de contaminación por metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 31(2), 293-308. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222454212019000200293&lng=es&tlng=es.

Lemus Gamalier. (2010). *El cultivo de palto*. <https://biblioteca.inia.cl/>

Mata Solís Luis Diego. (2020). *Métodos y técnicas de investigación cuantitativa*. https://pics.unison.mx/wpcontent/uploads/2013/10/1_metodos_y_tecnicas_cuantitativa_y_cualitativa.pdf

MeléndeZ flores; keyro Alberto (2018). *Evaluación del estado de salud y actividad bactericida, y aglutinante de la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) como bioindicador de la contaminación humana en la cuenca del río Chalhuanca, Apurímac*. [Tesis de Maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/3702/Evaluacion_MelendezFlores_Keyro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MINAM. (2014). *Guía para muestreo de suelos*

- MINAM. (2021). *Informe nacional sobre el estado del ambiente 2014-2019*. Ministerio de agricultura. (2003). Boletín Técnico El Suelo. https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2024/03/INEA-2014-2019_red_vf.pdf
- Méndez Ancca Sheda, R. M. C. A. L. F. A. G. (n.d.). *Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba*. 2023. *Producción + Limpia*, 18(2), 100-112. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a6>.
- Méniz Oshiro, Esther (2022). Efectos ecotoxicológicos de metales pesados sobre daphnia magna y paracheirodon innesi en un río de la amazonia peruana. *Acta biológica colombiana*. 28(3), 492-505. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n3.100746>
- MINSA. (2015). Resolución ministerial No 588-2015/MINSA. SINIA. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/rm_588-2015-minsa.pdf
- Miranda Lasprilla, D. (2020). *Naranja*. <https://repositorio.unal.edu.co/items/58979486-d689-4506-9e9a-ebbc05e27aac>
- OEFA. (2018). *INFORME No 35. S -2018-OEFA/DEAM-STE.C*. OEFA. <https://www.minam.gob.pe/transparencia/wpcontent/uploads/sites/48/2020/11/OEFA-Informe-de-Transferencia-de-Gestion.pdf>
- Ojeda Cano. (2021). *Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú*. [Tesis de Maestría, Universidad Privada San Carlos]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8181187>
- Pabon Santiago. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Una revisión. Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pérez Campana, B. (2022). *Evaluación de propiedades físico-químicas, plomo- asimilable y valor ambiental en el suelo agrícola ante exposición al botadero quitasol, Abancay -*

Apurímac. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Altiplano].
https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20363/Perez_Campana_Braulio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quezada Uriel Rigoberto, Quispe Rodríguez, Quispe Juan, Reátegui, Rubén Casas, Urpe, Idania Lidia Huamani, & Benavides, René Antonio Hinojosa. (2023). Concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana*, Luricocha, Huanta. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 376-386.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.222>.

Reyes Yulieth C. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. 12(2),66-77.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447/4518

Rebolledo Roa, A. (2019). *Clasificación taxonómica del aguacate*.
<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/5f9c25fd-c710-4869-9981-4db0a95c78a3/content>

Rosas Rodríguez Hermógenes. (2005). Contaminación de sedimentos del río Anioia por metales pesados. *Investigación y Desarrollo*. 5(1), 103-116.
<https://www1.upb.edu/revista-investigaciondesarrollo/index.php/id/article/view/118>

Soto Benavente Margarita; Rodríguez Achata Liset; Olivera Martha. (2020). 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://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>

Soto Carrión Carolina, Jiménez Mendoza Wilber, Barragán Condori Melquiades (2021). Capacidad fitorremediadora de *Amaranthus hybridus*- especie vegetal andina- en suelos contaminados por metales pesados en el botadero de basura de Quitasol-

Imponeda de Abancay. *Memorias de La Undécima Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética* (CICIC 2021), 89-94.
<https://www.iiis.org/CDs2021/CD2021Spring/papers/CB409KH.pdf>

Tulcán Rivera María Isabel. (2020). *Evaluación de metales pesados en nísperos (Eriobotrya japonica) cultivados en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25016/1/MSQ599.pdf>

Universidad Nacional de Córdoba, R. de la A. (2020). *InfoStat*.
https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/manual_infostat_español.pdf

Vera Damian Raquelina. (2023). *Capacidad fitorremediadora de hydrocotyle ranunculoides l. f. en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua - Aymaraes - Apurímac, 2022*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnología de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/646>

Walinga, van der lee. (1995). *Plant analysis manual*.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-0203-2>