

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Análisis de metales pesados en las hojas de la planta *Beta vulgaris var cicla*  
(Acelga) para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública de la  
población de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco-  
2024**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

**Bach. Karen Adaia CALIXTO CUBA**

**Bach. Lillian Natalia JIMENEZ FERNANDEZ**

**Asesor:**

**Mg. Lucio ROJAS VITOR**

**Cerro de Pasco - Perú – 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Análisis de metales pesados en las hojas de la planta *Beta vulgaris var cicla*  
(Acelga) para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública de la  
población de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco-  
2024**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Rosario Marcela VASQUEZ GARCIA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Josue Hermilio DIAZ LAZO**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**Facultad de Ingeniería**

**Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 035-2026-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bach. Karen Adaia, CALIXTO CUBA**

**Bach. Lillian Natalia, JIMENEZ FERNANDEZ**

Escuela de Formación Profesional:

**Ingeniería Ambiental**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

Título del trabajo:

Análisis de metales pesados en las hojas de la planta Beta vulgaris var cicla (Acelga) para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública de la población de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco-2024

**Asesor**

**Mg. Lucio, ROJAS VITOR**

Índice de Similitud

6 %

Calificativo:

**APROBADO**

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity.

Cerro de Pasco, 23 de junio del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO  
ISIDRO Ruben Edgar FAU  
20194605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 23.06.2026 12:00:07 -05:00

## **DEDICATORIA**

A mi valiente y muy querida madre, Anita Cuba Matos, mi fuente inagotable de amor y fortaleza. Su motivación e incondicionalidad son mi fuerza para superar los desafíos y alcanzar mis metas. Gracias por ser mi refugio cuando todo se complicaba y por enseñarme, con el ejemplo, a no rendirme jamás. Esta tesis es el reflejo de sus valores, su inestimable sacrificio y su esfuerzo constante en mi travesía educativa.

A mi tía Esther Cuba Matos, en gratitud por su generosidad constante, sus consejos alentadores y el respaldo inquebrantable que valida cada una de mis decisiones.

A mis hermanos, abuelos, tíos, primos y amigos, gracias por contribuir a mi éxito profesional y personal.

**Karen**

A mis queridos padres, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser mi mayor fuente de inspiración. Gracias por enseñarme con el ejemplo el valor del trabajo, la humildad y la perseverancia.

A mis hermanos, por su compañía, apoyo y alegría a lo largo de este camino. Cada uno, a su manera, ha sido un pilar fundamental en esta etapa de mi vida.

**Lillian**

## **AGRADECIMIENTO**

Elevamos nuestra más profunda gratitud a Dios, la luz que iluminó nuestro entendimiento y nos permitió culminar este proyecto profesional con integridad, ética y convicción.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por abrirnos sus puertas y brindarnos las herramientas académicas necesarias para nuestra formación profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por mantener un espacio de exigencia y compromiso con la excelencia educativa y el cuidado del entorno.

A nuestros docentes y asesores, por su valiosa contribución en nuestra formación académica, profesional y humana. A lo largo de nuestra trayectoria universitaria, cada uno de ellos ha compartido generosamente sus conocimientos, su paciencia y su valioso tiempo en el desarrollo y perfeccionamiento de esta investigación. Su dedicación, vocación de servicio y permanente orientación han sido fundamentales para para afrontar los desafíos profesionales con responsabilidad, ética y compromiso ambiental. Agradecemos el apoyo constante, la motivación y la confianza depositada en nosotros durante todo el proceso de aprendizaje. Sus valiosas orientaciones, perspectivas y trayectoria han cimentado nuestro desarrollo ético y profesional, inspirándonos a mantener una actitud crítica, reflexiva y éticamente responsable con la sustentabilidad y la preservación ecológica.

A quienes convergieron en este ciclo trascendental de nuestra trayectoria profesional y personal, les expresamos nuestro más profundo reconocimiento, respeto y gratitud, por haber contribuido de manera significativa a nuestro crecimiento académico y por dejar una huella imborrable en nuestro camino profesional.

## RESUMEN

Se evaluó la presencia de metales pesados, específicamente cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As), en hojas de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) cultivadas en la zona rural de Huariaca, con la finalidad de verificar su calidad e inocuidad para el consumo humano. La determinación de estos elementos se llevó a cabo mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, comparando posteriormente los resultados obtenidos con los límites máximos permitidos establecidos por organismos internacionales de referencia, tales como el Codex Alimentarius y la Unión Europea.

Los análisis revelaron concentraciones de 0.049 mg/kg de cadmio, 0.025 mg/kg de plomo, 0.75 mg/kg de cobre y 0.034 mg/kg de arsénico. Dichos valores se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles vigentes, lo que indica que la acelga producida en esta localidad cumple con los estándares de seguridad alimentaria y puede ser consumida sin representar un riesgo toxicológico inmediato para la salud de la población.

Adicionalmente, se constató que el suelo agrícola de Huariaca presenta niveles moderados de metales pesados, pero sin evidencias de contaminación severa. La comparación con estudios nacionales e internacionales resalta que, a diferencia de otras zonas como el sector Primavera (Santa), donde se reportaron altos niveles de plomo y cadmio, los cultivos en Huariaca mantienen condiciones más seguras.

Finalmente, se concluye que el cultivo de acelga en Huariaca, bajo las condiciones actuales, es una actividad segura desde el punto de vista sanitario, aunque se recomienda mantener un monitoreo constante del suelo y de los insumos agrícolas para prevenir acumulaciones futuras.

**Palabras clave:** Acelga, metales pesados, plomo, cadmio y contaminación.

## ABSTRACT

Heavy metal concentrations, specifically cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), and arsenic (As), were evaluated in Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*) leaves cultivated in the rural area of Huariaca, with the aim of assessing their safety for human consumption. The analyses were carried out using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), and the results were compared with the maximum permissible limits established by international regulatory bodies, including the Codex Alimentarius and the European Union.

The findings revealed concentrations of 0.049 mg/kg for cadmium, 0.025 mg/kg for lead, 0.75 mg/kg for copper, and 0.034 mg/kg for arsenic. These values were below the established permissible limits, indicating that the Swiss chard produced in this locality complies with food safety standards and is suitable for human consumption, posing no immediate toxicological risk to public health.

In addition, it was found that Huariaca agricultural soil has moderate levels of heavy metals, but no evidence of severe contamination. Comparison with national and international studies shows that, unlike other areas such as the Primavera sector (Santa), where high levels of lead and cadmium were reported, crops in Huariaca maintain safer conditions.

Finally, it is concluded that chard cultivation in Huariaca, under current conditions, is a safe activity from a sanitary point of view, although it is recommended to maintain constant monitoring of the soil and agricultural inputs to prevent future accumulations.

**Keywords:** Chard, heavy metals, lead, cadmium and contamination.

## INTRODUCCIÓN

La acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) es una hortaliza de hoja que se cultiva ampliamente en distintas partes del mundo debido a sus destacadas propiedades nutricionales y su diversidad de usos en la alimentación. En el Perú, este cultivo se desarrolla tanto en áreas rurales como urbanas, constituyendo una alternativa productiva importante para los pequeños agricultores, además de formar parte de la alimentación cotidiana de la población por su aporte de vitaminas, minerales y fibra

En el distrito de Huariaca, situado en la provincia y región Pasco, la actividad agrícola constituye una de las principales fuentes de sustento para las comunidades rurales y desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria local. No obstante, la calidad e inocuidad de los productos agrícolas pueden verse comprometidas por diversos factores ambientales, entre ellos el uso continuo de fertilizantes químicos, la aplicación de abonos orgánicos de procedencia urbana, la proximidad a actividades mineras y al tránsito vehicular, así como las características fisicoquímicas del suelo y del agua de riego. En este contexto, la presencia de metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) constituye una preocupación ambiental y sanitaria relevante, debido a su capacidad de acumularse en los tejidos vegetales comestibles. La incorporación de estos elementos a la cadena alimentaria puede representar riesgos para la salud humana, especialmente cuando las concentraciones superan los límites máximos establecidos por organismos nacionales e internacionales de seguridad alimentaria.

Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la concentración de metales pesados en las hojas de la planta *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) cultivadas en la zona rural de Huariaca, contrastando los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por organismos internacionales como el Codex Alimentarius, la Unión Europea y



MERCOSUR. Asimismo, se discute la posible implicancia de estos hallazgos en relación con la salud pública y la sostenibilidad de la agricultura local.

La presente investigación intitulada “Análisis de metales pesados en las hojas de la planta *Beta vulgaris* var. cicla (acelga) para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco – 2024”, comprende cuatro (04) capítulos fundamentales: Capítulo I, Problema de Investigación; Capítulo II, Marco Teórico; Capítulo III, Metodología y Técnicas de Investigación; y Capítulo IV, Resultados y Discusión.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación evidenciaron que las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) detectadas en las hojas de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos establecidos por organismos internacionales de referencia, como el Codex Alimentarius y la Unión Europea. Estos hallazgos indican que la acelga cultivada en el distrito de Huariaca cumple con los criterios de inocuidad alimentaria y no representa un riesgo significativo para la salud de los consumidores desde el punto de vista toxicológico. En consecuencia, este cultivo constituye una alternativa agrícola segura y viable para la población rural de la región. No obstante, se considera fundamental mantener programas de monitoreo ambiental y control periódico de metales pesados en suelos, aguas de riego y productos agrícolas, con el propósito de garantizar la calidad e inocuidad de los alimentos producidos localmente y prevenir posibles riesgos asociados a cambios en las condiciones ambientales.

Este estudio busca contribuir al conocimiento sobre la calidad sanitaria de los alimentos producidos en contextos rurales, promoviendo prácticas agrícolas responsables y sistemas de monitoreo ambiental que garanticen el consumo seguro de productos hortícolas.

## ÍNDICE

### Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Identificación y determinación del problema ..... | 1  |
| 1.2. Delimitación de la investigación .....            | 3  |
| 1.2.1. Delimitación espacial .....                     | 3  |
| 1.2.2. Delimitación temporal .....                     | 4  |
| 1.2.3. Delimitación temática.....                      | 4  |
| 1.2.4. Delimitación poblacional.....                   | 5  |
| 1.2.5. Delimitación metodológica.....                  | 5  |
| 1.3. Formulación del problema.....                     | 6  |
| 1.3.1. Problema general .....                          | 6  |
| 1.3.2. Problemas específicos.....                      | 6  |
| 1.4. Formulación de objetivos .....                    | 6  |
| 1.4.1. Objetivo general .....                          | 6  |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                      | 6  |
| 1.5. Justificación de la investigación.....            | 7  |
| 1.6. Limitaciones de la investigación .....            | 10 |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Antecedentes de estudio .....                                                      | 11 |
| 2.1.1. A nivel internacional .....                                                      | 11 |
| 2.1.2. A nivel nacional.....                                                            | 14 |
| 2.1.3. A nivel local.....                                                               | 16 |
| 2.2. Bases teóricas – científicas.....                                                  | 17 |
| 2.2.1. Contaminación del suelo .....                                                    | 17 |
| 2.2.2. Características de la Acelga.....                                                | 25 |
| 2.2.3. Marco normativo .....                                                            | 30 |
| 2.3. Definición de términos básicos .....                                               | 31 |
| 2.4. Formulación de hipótesis.....                                                      | 35 |
| 2.4.1. Hipótesis general .....                                                          | 35 |
| 2.4.2. Hipótesis específica .....                                                       | 35 |
| 2.5. Identificación de variables.....                                                   | 35 |
| 2.5.1. Variable Independiente.....                                                      | 35 |
| 2.5.2. Variable Dependiente .....                                                       | 35 |
| 2.5.3. Variables Intervinientes (posibles factores que pueden influir en el estudio) .. | 35 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....                             | 36 |

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.1. Tipo de investigación .....   | 37 |
| 3.2. Nivel de investigación .....  | 38 |
| 3.3. Métodos de investigación..... | 39 |
| 3.4. Diseño de investigación.....  | 40 |
| 3.5. Población y muestra .....     | 41 |
| 3.5.1. Población .....             | 41 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.2. Muestra .....                                                                 | 42 |
| 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....                           | 43 |
| 3.6.1. Trabajos de campo .....                                                       | 43 |
| 3.6.2. Trabajos de laboratorio .....                                                 | 45 |
| 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..... | 45 |
| 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....                              | 46 |
| 3.9. Tratamiento estadístico.....                                                    | 48 |
| 3.10. Orientación ética filosófica y epistémica .....                                | 48 |

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo .....                       | 50 |
| 4.1.1. Localización y descripción del área de estudio .....       | 50 |
| 4.1.2. Selección de la parcela de plantación de la acelga .....   | 51 |
| 4.1.3. Muestreo de las hojas de acelga y el suelo .....           | 52 |
| 4.1.4. Evaluación de los niveles de contaminación del suelo.....  | 56 |
| 4.1.5. Límites máximos permisibles de control para la acelga..... | 57 |
| 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....   | 59 |
| 4.3. Prueba de Hipótesis .....                                    | 66 |
| 4.4. Discusión de resultados .....                                | 69 |

### CONCLUSIONES

### RECOMENDACIONES

### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

### Página.

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Matriz de operacionalización de variables e indicadores del estudio en la zona urbana del distrito de Huariaca, 2024 ..... | 36 |
| <b>Tabla 2.</b> Localización y demarcación del sector de estudio.....                                                                      | 51 |
| <b>Tabla 3</b> Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. ....                                                                      | 57 |
| <b>Tabla 4.</b> Norma general para contaminantes (Codex Alimentarius).....                                                                 | 58 |
| <b>Tabla 5.</b> Concentraciones máximas admisibles de contaminantes metálicos en hortalizas (MERCOSUR).....                                | 58 |
| <b>Tabla 6.</b> Concentraciones máximas admisibles de contaminantes metálicos en productos alimenticios (Unión Europea) .....              | 59 |
| <b>Tabla 7.</b> Concentración de elementos inorgánicos.....                                                                                | 59 |
| <b>Tabla 8.</b> Concentración de contaminantes metálicos en muestras de suelo de Huariaca.....                                             | 62 |
| <b>Tabla 9.</b> Concentración de contaminantes metálicos en hojas de acelga.....                                                           | 64 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                        | Página. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Figura 1.</b> Mapa satelital de Huariaca donde muestra la zona de estudio .....                                                     | 4       |
| <b>Figura 2.</b> Implantación del cultivo por siembra de Beta vulgaris var. cicla (acelga) .....                                       | 27      |
| <b>Figura 3.</b> Morfología de la acelga .....                                                                                         | 28      |
| <b>Figura 4.</b> Lugar de la toma de muestra .....                                                                                     | 43      |
| <b>Figura 5.</b> Unidad experimental N° 1 de la Beta vulgaris var. cicla (acelga) .....                                                | 52      |
| <b>Figura 6.</b> Monitoreo del desarrollo morfológico de la Beta vulgaris var. cicla (acelga) .....                                    | 53      |
| <b>Figura 7.</b> Extracción de muestras foliares de Beta vulgaris var. cicla (acelga) .....                                            | 54      |
| <b>Figura 8.</b> Extracción de muestra de suelo .....                                                                                  | 55      |
| <b>Figura 9.</b> Muestras recolectadas (hojas y suelo) que fueron remitidas a la unidad de análisis para su evaluación respectiva..... | 56      |
| <b>Figura 10.</b> Rango de concentración de metales pesados en las muestras de suelo analizadas.....                                   | 60      |
| <b>Figura 11.</b> Acumulación de metales pesados en tejidos foliares de la acelga .....                                                | 64      |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La contaminación ambiental se ha convertido en uno de los problemas más graves y trascendentales, poniendo en riesgo los principios de sostenibilidad y desarrollo (UNEP, 2021). Los principales medios donde se concentran los contaminantes son el agua, el suelo y el aire, entre los cuales destacan los metales pesados en diversas formas y cantidades.

En el Perú, el río Huallaga constituye uno de los principales cuerpos de agua expuestos a procesos de contaminación derivados de descargas domésticas, industriales y actividades extractivas desarrolladas en su cuenca. A pesar de ello, sus aguas continúan siendo utilizadas por numerosas comunidades como suministro hídrico en cultivos hortícolas destinados a la ingesta humana. La cuenca del río Huallaga y sus afluentes presenta una alta susceptibilidad a la concentración de elementos traza, en particular, metales pesados derivada del traslado constante de efluentes, procedentes de las operaciones mineras en la provincia de Pasco, así como también efluentes urbanos e industriales que son incorporados al sistema hídrico a lo largo de su recorrido. Este

fenómeno se ve favorecido por los procesos de erosión y escorrentía superficial generados durante las temporadas de precipitación (MINAM, 2022).

La evidencia científica en la cuenca ha documentado la dispersión de metales pesados y metaloides (incluyendo As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn y Zn), de igual manera diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales representan un grave riesgo latente para la integridad ecológica y la salud pública (Castro et al., 2021). Estas sustancias han sido identificadas no solo en el agua y los sedimentos, sino también en diferentes especies de hortalizas de consumo humano, tales como lechuga, repollo, apio y brócoli, evidenciando la transferencia de contaminantes hacia la cadena alimentaria y la necesidad de fortalecer los programas de vigilancia y control de la calidad de los productos agrícolas cultivados en áreas influenciadas por cuerpos de agua contaminados.

Este estudio de investigación se enfoca en la localidad de Huariaca, provincia y región Pasco, a 2868 m s. n. m. de altitud, con el objetivo de generar conciencia y proponer mejoras en los procesos productivos, promoviendo el consumo de alimentos saludables y seguros. Para ello, se busca identificar las hortalizas que contienen trazas de metales pesados en sus tejidos, como la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*). Esta hortaliza, ampliamente comercializada en mercados, centros de abasto y supermercados, destaca el desarrollo de marcos estratégicos orientados a la soberanía nutricional y la protección integral de la salud pública.

El entorno urbano de la ciudad de Huariaca, específicamente la agricultura, enfrenta diversas fuentes de contaminación. Entre los principales problemas destacan la falta de rotación de cultivos y la ausencia de períodos de descanso del suelo, lo que deteriora su calidad. Además, los cultivos son irrigados con aguas domésticas, residuales e industriales sin tratamiento previo. La baja fertilidad del suelo también ha



impulsado el uso de insumos agroquímicos tóxicos para acelerar el crecimiento de los cultivos (Salazar et al., 2019). Sin un monitoreo adecuado y debido a limitaciones económicas y culturales, los productores agrícolas desconocen en gran medida las implicaciones sanitarias que conlleva la ingesta de dichos productos, ya sea para su comercialización o para el autoconsumo.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La presente investigación se desarrolló en el sector rural del distrito de Huariaca, ubicado en la provincia y región Pasco, Perú. El estudio se enfocó en los cultivos de hortalizas irrigados con aguas provenientes del río Huallaga, importante recurso hídrico que atraviesa la zona y que potencialmente puede recibir aportes de contaminantes de origen minero, industrial y doméstico. Asimismo, se recolectaron y analizaron muestras de suelo y de cultivos agrícolas procedentes de parcelas seleccionadas dentro del área de estudio, con énfasis en la planta *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga), debido a su amplio consumo y comercialización en la localidad. La investigación estuvo orientada a determinar la posible acumulación de metales pesados en este cultivo y evaluar su implicancia para la calidad e inocuidad alimentaria

**Figura 1** Mapa satelital de Huariaca donde muestra la zona de estudio



**Nota.** El mapa muestra la delimitación espacial y las zonas de estudio, considerados puntos de muestreo. Adaptado de Imagen Landsat / Copernicus, por Google Earth Pro, 2024.

### 1.2.2. Delimitación temporal

La investigación, fundamentada en fuentes citadas y originales, se desarrolló durante seis meses, desde el 01 de enero hasta el 30 de junio de 2024. Durante este período se identificaron las parcelas agrícolas cercanas al río Huallaga y se seleccionaron los puntos de muestreo del área de estudio. Asimismo, se realizaron la recolección de muestras, los análisis de laboratorio, el procesamiento estadístico de los datos y la interpretación de resultados. Este tiempo permitió evaluar la contaminación por metales pesados durante un ciclo productivo de la acelga, considerando las etapas de siembra y cosecha en el distrito de Huariaca.

### 1.2.3. Delimitación temática

El análisis de metales pesados, se enfoca en elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en cultivos agrícolas destinados al consumo

humano. Para ello, se determinaron sus concentraciones en los tejidos vegetales (hojas) de hortalizas y el suelo. Asimismo, se analizó el riesgo potencial para la salud humana, asociado a la exposición a estos contaminantes a través de la cadena alimentaria, considerando los niveles de toxicidad establecidos por la OMS y la FAO. Los resultados permitieron analizar las implicancias de la contaminación por metales pesados sobre la seguridad alimentaria y la salud pública.

#### **1.2.4. Delimitación poblacional**

La población objeto de estudio estuvo constituida por los pobladores del distrito de Huariaca dedicados a actividades agrícolas, particularmente al cultivo de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) en terrenos ubicados dentro del área de influencia de la cuenca del río Huallaga. Asimismo, se consideró a aquellos productores que participan en la comercialización y distribución de esta hortaliza en los mercados locales, debido a su vinculación directa con la producción y el abastecimiento de alimentos destinados al consumo humano. La selección de esta población responde a la necesidad de evaluar la posible exposición de los cultivos a fuentes de contaminación ambiental y determinar las implicancias que ello podría tener sobre la inocuidad alimentaria y la salud pública de la población consumidora.

#### **1.2.5. Delimitación metodológica**

El enfoque de la investigación es cuantitativo, con un diseño descriptivo y correlacional. Se emplearon técnicas de espectrometría de absorción atómica (EAA) para la determinación de concentraciones de metales pesados en muestras de acelga (hojas) y suelo. Además, se aplicaron métodos estadísticos para evaluar la correlación entre los niveles de contaminación y las prácticas agrícolas locales, lo que permitió generar información objetiva sobre la calidad ambiental y la inocuidad de los cultivos evaluados.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera la concentración de metales pesados en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) incide en los niveles de inocuidad alimentaria y el riesgo potencial para la salud pública de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco - 2024?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados como cadmio, plomo, cobre y arsénico presentes en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla*, cultivado en el área delimitada del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco?
- b. ¿En qué medida los niveles de metales pesados detectados en la acelga superan los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por las normativas internacionales de inocuidad alimentaria?
- c. ¿Cuál es el nivel de riesgo a la salud pública derivado del consumo de *Beta vulgaris var. cicla* contaminada en la población urbana del distrito de Huariaca?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la concentración de metales pesados en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) sobre la inocuidad alimentaria y el riesgo potencial para la salud pública de la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco - 2024.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Cuantificar los niveles de concentración de metales pesados específicos (cadmio, plomo, cobre y arsénico) presentes en tejido foliar de las muestras

de *Beta vulgaris* var. *cicla* cultivadas y comercializadas en la zona urbana de Huariaca, mediante la espectrofotometría de absorción atómica (AAS).

- b. Contrastar las concentraciones de metales pesados detectados en la acelga con los límites máximos permisibles (LMP) dictados por el Codex Alimentarius y la Unión Europea.
- c. Evaluar el riesgo potencial a la salud pública de la población urbana de la población urbana del distrito de Huariaca derivado del consumo de acelga contaminada.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **A. Justificación Teórica**

Este estudio se fundamenta en principios relacionados con la contaminación ambiental, la bioacumulación de metales pesados en cultivos agrícolas y sus efectos en la salud pública. Diversos estudios han demostrado que elementos como el cadmio, plomo, cobre y arsénico pueden acumularse en sus tejidos comestibles de las plantas, desde el suelo o mediante el riego, lo que representaría riesgos para la salud humana (Riveros Villa, 2014). En este contexto, la investigación contribuye al conocimiento científico, ya que se evaluó el nivel de contaminación de la planta *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) cultivadas en el distrito de Huariaca, un alimento ampliamente consumido, y los resultados permitieron determinar el nivel de contaminación del cultivo y su posible impacto en la seguridad alimentaria. Asimismo, la investigación aporta información relevante para la producción de alimentos inocuos y de calidad, la gestión ambiental y la protección de la salud pública.

## **B. Justificación Metodológica**

Se utilizaron técnicas de espectrometría de absorción atómica (EAA) para la detección de metales pesados en muestras de hojas de acelga y suelo, debido a su alta precisión y confiabilidad. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), contando con el respaldo institucional para la investigación. Asimismo, los resultados fueron procesados mediante herramientas estadísticas para evaluar la relación entre los niveles de contaminación y los factores ambientales y agrícolas en la zona de estudio. La aplicación de métodos analíticos y estadísticos garantiza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, permitiendo evaluar los riesgos asociados a la contaminación y su posible impacto en la inocuidad alimentaria y salud pública, lo que proporciona evidencia empírica sobre la problemática planteada.

## **C. Justificación Ambiental**

El estudio es relevante desde una perspectiva ambiental porque permite identificar el grado de contaminación en cultivos agrícolas y las fuentes responsables de la presencia de metales pesados en la zona urbana del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco. Las actividades mineras, la descarga de aguas residuales sin tratamiento y el uso inadecuado de fertilizantes y agroquímicos representan amenazas para la sostenibilidad de los ecosistemas locales. Evaluar estos factores contribuye a la generación de estrategias de mitigación para reducir el impacto ambiental, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria.

#### **D. Justificación Social y de Salud Pública**

El consumo de alimentos contaminados representa un riesgo significativo para la salud pública, debido a que la exposición prolongada a elementos traza como cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As) pueden ocasionar alteraciones renales, neurológicas, cardiovasculares y otros efectos tóxicos en el organismo (OMS, 2021). En este sentido, la presente investigación busca generar información científica que contribuya a fortalecer la seguridad alimentaria en el distrito de Huariaca. Asimismo, pretende sensibilizar a la población y a las autoridades locales, sobre la importancia del monitoreo y control de calidad de productos agrícolas antes de su comercialización, promoviendo acciones orientadas a reducir los riesgos asociados a la contaminación por metales pesados y proteger la salud de los consumidores.

#### **E. Justificación Económica**

Según el INEI (2018), la economía del distrito de Huariaca se sustenta principalmente en la agricultura, el comercio local y los servicios de transporte. En este contexto, la producción de hortalizas constituye una fuente de ingreso para los agricultores locales. Sin embargo, la contaminación de los productos agrícolas puede afectar la calidad de los productos reducir su valor comercial y desconfianza en los consumidores. La evaluación de estos contaminantes permite identificar riesgos potenciales y establecer medidas para mejorar la inocuidad de los cultivos. Asimismo, los resultados permiten proponer soluciones para mejorar la calidad de los cultivos y garantizar su aceptación en el mercado, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

Este proyecto tiene un impacto integral, ya que no solo aporta conocimiento científico, sino que también contribuye a la protección de la salud pública, a una

adecuada gestión ambiental y el desarrollo sostenible del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

La investigación presenta algunas limitaciones como:

### **A. Poca información sobre la especie a investigar**

Se realizó una revisión exhaustiva de artículos científicos, libros e informes técnicos relacionados con la planta *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga). No obstante, la ausencia de estudios y encuestas nutricionales específicas limita la evaluación del riesgo real para la salud pública. Por ello, la investigación se enfocó exclusivamente en determinar la concentración de metales pesados en las hojas de acelga, sin analizar directamente sus efectos sobre la salud humana.

### **B. Costo de instalación y ejecución del proyecto en condición de egresado universitario**

Se buscaron alternativas económicas para llevar a cabo la investigación. Por ejemplo, se consideró un método de muestreo más económico y accesible para procesar muestras mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), y el uso de materiales reutilizados.

### **C. Tamaño y representatividad de la muestra**

El reducido número de dos (02) parcelas potencialmente identificados puede ser insuficiente para generalizar el riesgo a la salud pública de toda la población del distrito de Huariaca, provincia y región Pasco.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. A nivel internacional**

Vega Castro & Salamanca (2016), en un estudio realizado en Colombia, evaluaron la concentración de plomo (Pb) en acelga común (*Beta vulgaris* L.) cultivada bajo sistemas de agricultura urbana en la ciudad de Bogotá. Para ello, establecieron una huerta ubicada a menos de 500 metros de dos importantes vías vehiculares y analizaron previamente el suelo y el agua de riego como posibles fuentes de contaminación. Durante la cosecha, se seleccionó aleatoriamente el 10 % de las plantas cultivadas y se determinaron los niveles de plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Los resultados evidenciaron que las concentraciones de plomo en las hojas de acelga superaban entre dos y tres veces los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius. Los autores concluyeron que el consumo frecuente de estas hortalizas representa un riesgo para la salud humana, especialmente por los efectos neurotóxicos asociados a la acumulación prolongada de plomo en el organismo.

Según Yañez, Alfaro, & Bovi Mitre (2018). La acumulación de arsénico (As) en hortalizas supone un riesgo de contaminación para el ser humano a través de la cadena alimentaria. Dos cultivos de acelga (var. cicla y var. d'ampuis) se cultivaron durante 60 días en invernadero sobre suelo Aridisol, y se regaron con agua de Pastos Chicos, Jujuy (Argentina). Se determinó la biomasa seca total (BST) y el As total en suelos, raíces y hojas. Este último se cuantificó por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros, y se determinaron los factores de bioconcentración y translocación. Esta variedad incrementó su biomasa en presencia de As. En las dos variedades de acelga evaluadas, la mayor acumulación de As en raíz y hojas se encontró cuando se cultivaron en suelos contaminados y se regaron con agua destilada. La presencia del tóxico en las hojas superó los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino, es decir, 0,30 mg/kg.

Los valores totales del cociente de peligro objetivo (THQ) para el As fueron superiores a 1, lo que sugiere que los consumidores correrían riesgos significativos al consumir estas variedades de acelga. Además, se determinó que el riesgo carcinogénico (RC) planteado por este tipo de exposición al As superaba el nivel de riesgo aceptable de  $1 \times 10^{-6}$ . Basándonos en estas pruebas, podemos concluir que consumir acelgas cultivadas en el lugar evaluado conlleva riesgos considerables para la salud de los residentes locales.

Por su parte, en Colombia, estudios académicos han identificado la presencia de metales y metaloides como Hg, As, Cd y Pb en concentraciones variables en hortalizas como lechuga escarola, repollo, brócoli y apio, cultivadas en municipios como Soacha y Mosquera. Estas hortalizas son regadas con agua del río Bogotá, la cual presenta un alto contenido de sales, contaminantes orgánicos y metales pesados (García et al.,

2019). Como resultado, productos contaminados llegan a las principales plazas de mercado en Bogotá.

(Perez Mora, 2021). En Colombia, se evaluaron suelos agrícolas ubicados en diversos municipios del departamento de Cundinamarca y en la localidad de Bosa, influenciados por las aguas del río Bogotá. Mediante espectrofotometría de absorción atómica se determinaron las concentraciones de cromo, cadmio, plomo y níquel, calculándose posteriormente el índice de geoacumulación para estimar el nivel de contaminación. Los resultados evidenciaron que los suelos presentaban grados de contaminación entre moderados y extremos, destacando las elevadas concentraciones de cromo en todas las áreas evaluadas y de plomo y cadmio en Sibaté. Ante esta situación, los autores recomendaron analizar la presencia de estos metales en cultivos agrícolas para evaluar su posible transferencia a la cadena alimentaria.

(Stazi, y otros, 2022). El arsénico (As) puede representar un riesgo para la calidad del rendimiento de los cultivos y la salud humana, ya que puede acumularse en los órganos comestibles de las plantas con el potencial de provocar efectos tóxicos agudos o crónicos en diversos segmentos de la población. La gestión de la fertilidad del suelo a través del compost ha demostrado ser una práctica valiosa para aumentar y mantener la materia orgánica del suelo, con beneficios nutricionales para los cultivos.

(Robles Urgilez, 2024). Según el Programa Internacional de Seguridad de Sustancias Químicas de la OMS identificó diez (10) sustancias preocupantes, incluyendo Cd, Pb, Hg y plaguicidas altamente peligrosos (PAP) que pueden contaminar el suelo y, pasar a los alimentos y cuerpos de agua, el cual representa un riesgo para la salud pública. Con un crecimiento poblacional a nivel mundial se requerirá un aumento significativo en la producción de alimentos, al reducir el rendimiento agrícola y hacer que los cultivos producidos sean inseguros para el

consumo debido a niveles tóxicos de contaminantes la seguridad alimentaria se encuentra amenazada. Además, una exposición crónica a estas sustancias puede causar desde problemas gastrointestinales hasta enfermedades graves como cáncer, en el que mujeres embarazadas, niños y personas desnutridas son especialmente vulnerables, lo que representa un riesgo significativo para la salud y el medio ambiente.

### **2.1.2. A nivel nacional**

(Bedoya Perales, Escobedo Pacheco, Maus,, Neimaier,, & Pumi, 2023) En los últimos años, ha aumentado el interés por la acumulación de metales pesados y metaloides (HMM) en zonas donde coexisten la agricultura y la minería. Como una contribución a este cuerpo de conocimiento, se reportó el primer conjunto de datos sobre concentraciones de HMM en cultivos alimenticios y suelos agrícolas en Moquegua, que es una región típicamente minera y contiene uno de los yacimientos de cobre más grandes del Perú. Para los cultivos alimentarios, se midieron 31 elementos mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente y espectrometría de absorción atómica. En el caso de los suelos, se midieron 23 elementos mediante espectrometría de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo. Así pues, el conjunto de datos incluye un total de 13.828 observaciones procedentes de 341 lugares de muestreo, creando un escenario en el cual se exige un monitoreo constante, ya que metales como el cadmio, plomo y arsénico pueden superar con frecuencia los estándares de calidad ambiental en el suelo, especialmente en la sierra central. Este conjunto de datos facilita una amplia gama de estudios agrícolas y de seguridad alimentaria, además de servir como referencia para el seguimiento de los cambios en la contaminación a lo largo del tiempo o para comparar los niveles de HMM con los de otras tierras agrícolas influidas por actividades mineras.

(Priale Reátegui, 2023) La práctica de la agricultura urbana ha ganado popularidad a nivel mundial debido a sus diversos beneficios. Sin embargo, se reconoce que la presencia de contaminantes urbanos, como el material particulado y los metales pesados, puede afectar la seguridad alimentaria al acumularse en partes comestibles de las plantas, como las hojas o los frutos. Este estudio tiene como objetivo medir la cantidad de plomo y cadmio en productos de la agricultura urbana en el distrito de Miraflores.

Se compararon las concentraciones de Pb y Cd en las hojas de las plantas *Lactuca sativa* y *Beta vulgaris* var. *cicla* cultivadas en Miraflores con los límites recomendados por organismos internacionales. Además, se calculó el indicador de Ingesta Diaria Estimada (EDI). Se encontraron concentraciones de cadmio en las hojas de lechuga y acelga que superaron los límites establecidos por la OMS y la UE, alcanzando valores máximos de 5.88 ppm y 3.61 ppm, respectivamente.

Esto sugiere un posible riesgo asociado con el consumo de productos contaminados con metales provenientes de huertos urbanos. Manteniéndose estos valores, se estima que se podría ingerir diariamente solo 13.4 gramos de lechuga y 15 gramos de acelga. Este riesgo merece una mayor atención por parte de las autoridades locales y destaca la necesidad de realizar estudios adicionales para aclarar y cuantificar la falta de conocimiento sobre este tema.

(Cáceres Atencia & Ramos Caballero, 2023) El estudio llevado a cabo en el sector Primavera, Valle del Santa, tenía como objetivo determinar las cantidades de cadmio, plomo, mercurio y arsénico en betarraga, acelga y camote. Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo-descriptivo, considerando las variables Cd (mg/kg), Pb (mg/kg), Hg (mg/kg) y As (mg/kg).

Para recopilar datos, se tomaron muestras de campos agrícolas cultivados convencionalmente por campesinos en el sector Primavera durante la etapa comercial. Se utilizó la metodología de muestreo aleatorio (zigzag), y las muestras fueron analizadas por el laboratorio SLab de la empresa “Sistema de servicios y análisis químicos S.A.C”.

Los resultados obtenidos sugieren que los niveles de plomo y cadmio superan los límites máximos permitidos según las normativas de la Unión Europea, Codex Alimentarius y MERCOSUR. Esto indica que los vegetales encontrados en el sector Primavera no son seguros para el consumo humano. Las concentraciones de plomo en las raíces de acelga fueron de 2.39 a 4.33 mg/kg, camote de 17.93 a 77.1 mg/kg y betarraga de 36.33 a 39.62 mg/kg. Similar situación se observó con el plomo en las hojas, donde se encontraron concentraciones en acelga de 1.08 a 9.38 mg/kg, camote de 0.99 a 43.43 mg/kg y betarraga de 0.38 a 31.45 mg/kg.

Adicionalmente, los resultados indican concentraciones de cadmio en las hojas de acelga de 0.43 a 0.93 mg/kg y en las hojas de betarraga de 0.7 a 0.45 mg/kg. Estos hallazgos plantean preocupaciones sobre la seguridad de estos productos para el consumo humano en la zona estudiada.

### **2.1.3. A nivel local**

(Paitan Gilian, 2024). En el distrito de Yanacancha, provincia y región Pasco se evaluó los niveles de metales pesados en la col serrana (*Brassica spp*) como indicador de la contaminación del suelo, y método para mitigar el impacto ambiental, ya que las soluciones convencionales suelen ser costosas y pueden causar daños a las propiedades del suelo, agua y vida que depende de ellos. Teniendo como resultados que los niveles de metales pesados en el tallo, raíz y hojas varían significativamente. Mientras que el plomo estaba dentro de los límites permitidos tanto en la raíz, tallo y hojas, el cadmio

supera con el límite en su tallo y hojas y cumple con el límite en su raíz, el cobre y zinc superaban los límites en todas las partes analizadas. Estos hallazgos plantearon preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y la gestión de la calidad del suelo en áreas afectadas por la contaminación de metales pesados, enfatizando la necesidad de abordar esta problemática de manera efectiva y sostenible.

No se encuentra más información relevante, sin embargo, el resultado del proyecto de investigación será útil como antecedente para futuras investigaciones.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Contaminación del suelo**

La contaminación del suelo se refiere a la presencia de sustancias químicas en niveles perjudiciales que alteran su equilibrio natural y afectan negativamente a los organismos que dependen de él. A menudo, esta contaminación no es perceptible a simple vista, lo que la convierte en una amenaza silenciosa para los ecosistemas y la salud humana (FAO, 2019).

Las fuentes de contaminación del suelo provienen mayormente de actividades humanas, tales como la industria, la minería, la disposición inadecuada de residuos urbanos, el uso intensivo de agroquímicos y la deposición atmosférica de contaminantes generados por el transporte y la producción energética. Además, han surgido nuevas preocupaciones relacionadas con la presencia de productos farmacéuticos, disruptores endocrinos y contaminantes biológicos en los suelos (Rodríguez-Eugenio, McLaughlin & Pennock, 2018).

El impacto de la contaminación del suelo es significativo, pues afecta la productividad agrícola, compromete la seguridad alimentaria y representa un riesgo para la salud pública. Los contaminantes pueden ser absorbidos por los cultivos, ingresar a la cadena alimentaria y causar efectos adversos en el bienestar humano.

Asimismo, la contaminación del suelo puede extenderse a las aguas superficiales y subterráneas, agravando los riesgos ambientales (FAO, 2019).

Estudios científicos han demostrado que la exposición a metales pesados como arsénico, plomo y cadmio, así como a compuestos orgánicos peligrosos, puede generar graves problemas de salud, desde alteraciones neurológicas hasta enfermedades crónicas (Alloway, 2013). Por ello, la remediación del suelo se ha convertido en una prioridad, impulsando la aplicación de tecnologías avanzadas y métodos de biorremediación para mitigar los efectos de la contaminación (Ghosh & Singh, 2005).

El Mapa Mundial de Suelos de la FAO subraya la necesidad de establecer regulaciones estrictas para limitar la acumulación de contaminantes y promover prácticas de manejo sostenible. Se enfatiza la urgencia de adoptar estrategias que aseguren la producción de alimentos libres de contaminantes y la protección de los recursos naturales para las futuras generaciones (FAO, 2019).

#### **A. Metales pesados**

Los metales pesados son elementos químicos caracterizados por una densidad superior a 6 g/cm<sup>3</sup> o por poseer un número atómico mayor a 20. Su notoriedad radica en su toxicidad y en los efectos perjudiciales que pueden generar en los ecosistemas (Alloway, 2013). En contraposición, los metales o elementos traza son aquellos que, aunque presentes en el ambiente en concentraciones que varían entre 0,01 y 100 mg/kg, pueden ser esenciales para los organismos o actuar como contaminantes dependiendo de su concentración y exposición (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La contaminación del suelo no siempre es exclusiva de metales pesados; también puede derivarse de altas concentraciones de elementos principales como sodio (Na), hierro (Fe) y aluminio (Al), así como de oligoelementos que, aunque



se encuentran en cantidades mínimas en la corteza terrestre, los suelos y las plantas, pueden alcanzar niveles tóxicos bajo ciertas condiciones (Adriano, 2001).

El impacto ambiental y sanitario de estos elementos radica en que, si bien algunos oligoelementos son fundamentales para el desarrollo de plantas, animales y seres humanos, su acumulación excesiva puede provocar efectos adversos. La toxicidad de ciertos elementos, como el selenio (Se), el flúor (F) y el molibdeno (Mo), depende estrechamente de su concentración, ya que un desequilibrio en su presencia puede oscilar entre la deficiencia y la toxicidad (Kabata-Pendias, 2010). En este sentido, la regulación y el monitoreo de estos compuestos resultan esenciales para mitigar riesgos ambientales y garantizar la seguridad en los ecosistemas y la salud pública (FAO, 2019).

#### ***B. Contaminación con metales pesados***

La problemática de la contaminación se erige como uno de los mayores desafíos en la actualidad global. El menoscabo de la calidad del agua, el suelo y el aire impacta de manera insostenible en las prácticas agrícolas. Se calcula que, la contaminación del agua supera los 2.000 millones de metros cúbicos diarios, planteando una amenaza inminente que podría comprometer el logro del objetivo 6 de la Agenda 2030.

La producción natural tiene repercusiones directas en la seguridad alimentaria y la salud pública. Múltiples estudios han evidenciado la presencia de metales pesados como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en vegetales. Este tipo de contaminación tiene su origen principalmente en el riego con agua que contiene metales pesados.

Adicionalmente, se han constatado niveles variables de metales pesados en diversos productos como pescado, carne, frutas, granos y leche, como consecuencia

de la bioacumulación en las fuentes de agua. Estas concentraciones fluctúan entre 1 µg/kg y 1000 µg/kg, según investigaciones como la llevada a cabo por Yulieth C. Reyes y colegas en (2016). Este escenario subraya la urgencia de abordar la contaminación para salvaguardar la seguridad alimentaria y la salud pública.

**a. Plomo.** Durante la época romana, la aristocracia experimentó intoxicaciones por plomo debido al uso de recipientes de cobre con revestimientos internos de este metal para conservar alimentos. El plomo posee una alta capacidad de bioacumulación, lo que facilita su presencia en la cadena alimentaria, tanto en plantas como en animales (Carhuaricra, 2020).

En la actualidad, la preocupación por la exposición al plomo se centra en su presencia en los alimentos (Rubio et al., 2004).

Según Ortiz et al. (2009), el plomo es un contaminante ambiental de gran relevancia debido a sus efectos nocivos tanto para la salud humana como para los ecosistemas.

Este metal y sus compuestos están ampliamente distribuidos en el medio ambiente, afectando el agua, el aire, el suelo y los organismos vivos. En suelos no cultivados, las concentraciones de plomo varían entre 8 y 20 mg/kg, mientras que en terrenos agrícolas cercanos a fuentes industriales pueden superar los 360 mg/kg. Además, se estima que el 76% de las emisiones de plomo a la atmósfera han sido consecuencia del uso de este metal como aditivo antidetonante en combustibles, aunque su comercialización ha sido prohibida en muchos países (Carhuaricra, 2020).

La dieta es otra fuente importante de exposición, ya que, aunque los niveles actuales de plomo en los alimentos no generan alarmas inmediatas, se recomienda seguir reduciendo su contenido a largo plazo. Entre las principales

fuentes de ingesta se incluyen utensilios de cerámica con vidriado de plomo, envases de hojalata con soldaduras de este metal y alimentos enlatados en envases con soldaduras de baja aleación (Ortiz et al., 2009).

Para proteger la salud pública, es fundamental controlar estas fuentes de contaminación y reforzar las normativas sobre la exposición laboral y la ingesta de plomo. Se han establecido límites de exposición y pautas para la ingesta semanal tolerable de este metal con el fin de mitigar sus efectos adversos en la población (Rubio et al., 2004).

- b. Cadmio.** Es un metal sumamente tóxico, incluso en concentraciones reducidas, y puede generar efectos adversos tanto a corto como a largo plazo en la salud de seres humanos, animales y plantas. Se estima que anualmente se vierten en el ambiente cerca de 30,000 toneladas de este elemento debido a diversas actividades industriales y humanas, lo que ha resultado en la detección de niveles superiores a los permitidos en agua, suelos y vegetación en distintas regiones del mundo, incluido nuestro país.

Dado que el cadmio no se degrada de manera natural y permanece en el ambiente una vez liberado, su movilidad, capacidad de acumulación biológica y toxicidad en bajas dosis lo convierten en uno de los metales pesados más preocupantes. Un caso emblemático de su impacto ocurrió en Japón durante la década de 1960, con la tragedia de Itai-Itai, donde más de un centenar de personas fallecieron debido a una severa contaminación con cadmio en el arroz y sus organismos.

Este metal también es altamente perjudicial para las plantas, ya que interfiere con su crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración y la producción de clorofila. Además, induce clorosis, estrés oxidativo, desequilibrios en la

absorción de nutrientes y afecta el funcionamiento de enzimas fundamentales en los procesos metabólicos. Dependiendo de factores como la cantidad de cadmio presente, la duración de la exposición y la capacidad adaptativa de la planta, los daños pueden llegar a ser letales.

Las plantas han desarrollado mecanismos para enfrentar el estrés generado por este metal, ya sea limitando su absorción y transporte o tolerando ciertas concentraciones mediante procesos de detoxificación y quelación. Para mitigar sus efectos en cultivos agrícolas, se han propuesto diversas estrategias como el ajuste nutricional, la inoculación con bacterias beneficiosas, la implementación de injertos en patrones resistentes y la aplicación de enmiendas en el suelo.

El cadmio es, sin duda, uno de los metales más tóxicos para los organismos vivos debido a su elevada persistencia y capacidad de bioacumulación. Su presencia en el ambiente puede originarse por fuentes naturales, como la actividad volcánica e incendios forestales, así como por actividades antrópicas relacionadas con la agricultura intensiva, la metalurgia, el transporte y la quema de combustibles fósiles. La acumulación de este metal en suelos, aguas y aire constituye un importante riesgo ambiental y sanitario, debido a sus efectos nocivos sobre los ecosistemas y la salud humana.

- c. **Cobre.** El cobre es uno de los metales de transición ampliamente utilizado en actividades industriales, mineras y agrícolas. Puede incorporarse al ambiente por procesos naturales y actividades humanas, encontrándose en el suelo, agua y aire. Su movilidad y disponibilidad en los ecosistemas agrícolas dependen principalmente de las características fisicoquímicas del suelo, como la acidez y el contenido de materia orgánica.

El cobre (Cu) es un elemento traza esencial para el organismo humano; sin embargo, su consumo en concentraciones elevadas puede provocar efectos adversos como dolor de cabeza, molestias estomacales, mareos, vómitos y diarrea. Asimismo, la exposición excesiva puede generar alteraciones en la salud y afectar el equilibrio de diversos procesos biológicos. (Cobre (Cu) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente, s.f.).

Su presencia en la acelga es vital tanto para el desarrollo saludable de la planta como para la nutrición humana, ya que resulta esencial para formar glóbulos rojos junto con el hierro y la vitamina C y prevenir la anemia en niños y mujeres embarazadas. Además, facilita la absorción del hierro en el organismo, mejora la coagulación sanguínea, la cicatrización y es necesario para mantener saludables los vasos sanguíneos, tejidos conectivos y el sistema nervioso. (Lama, 2011)

- d. Arsénico.** El arsénico es un metaloide ampliamente distribuido en la corteza terrestre, que puede encontrarse en diversas formas químicas, incluyendo compuestos inorgánicos y orgánicos (ATSDR, 2007). En el medio ambiente, suele combinarse con oxígeno, cloro o azufre para formar arsénico inorgánico, mientras que su combinación con carbono e hidrógeno da lugar al arsénico orgánico (Smith et al., 2002). Debido a su presencia natural en el suelo y en ciertos minerales, el arsénico puede entrar en la cadena alimentaria a través de cultivos como la acelga, que es una de las hortalizas propensas a absorber este elemento del suelo y del agua de riego (Meharg & Hartley-Whitaker, 2002).

Las plantas pueden acumular arsénico en diferentes partes, y en el caso de la acelga, su concentración tiende a ser mayor en las hojas en comparación con las raíces (Zhao et al., 2010). Esto se debe a la capacidad del arsénico de ser

absorbido por las raíces y transportado hacia las partes aéreas de la planta, especialmente cuando el suelo está contaminado por fuentes naturales o por actividades humanas, como la minería y el uso de pesticidas en el pasado (Williams et al., 2007).

En términos de seguridad alimentaria, la ingesta de acelga cultivada en suelos con altos niveles de arsénico podría representar un riesgo para la salud humana. Sin embargo, la forma en la que el arsénico se encuentra en la planta es un factor clave para determinar su toxicidad. El arsénico inorgánico, que es la forma más peligrosa, puede acumularse en niveles preocupantes si la acelga se cultiva en suelos contaminados o en áreas donde el agua de riego contiene concentraciones elevadas de este elemento (FAO/WHO, 2011).

Dado que el arsénico no tiene olor ni sabor distintivo, su presencia en los alimentos no es fácilmente detectable sin análisis especializados (ATSDR, 2007). Además, las prácticas agrícolas pueden influir en la cantidad de arsénico que se transfiere a los cultivos. Por ejemplo, el tipo de suelo, la disponibilidad de fósforo y la presencia de otros elementos pueden afectar la absorción de arsénico por parte de la acelga y otras hortalizas de hoja verde (Zhu et al., 2008).

En conclusión, aunque la acelga es una fuente importante de nutrientes en la dieta, su consumo debe ser monitoreado en regiones donde el suelo o el agua de riego pueden estar contaminados con arsénico. Estrategias como el lavado adecuado, el uso de suelos menos contaminados y la selección de fuentes de agua seguras pueden ayudar a reducir la exposición al arsénico a través de la alimentación (FAO/WHO, 2011).

### **2.2.2. Características de la Acelga**

La acelga es una planta perenne de la familia de las quenopodiáceas, perteneciente a la especie *Beta vulgaris* var *cicla*. Es una hortaliza de hojas voluminosas de color verde y tallos blancos o de colores similares, comúnmente cultivada en huertos caseros debido a su facilidad de crecimiento y su alto valor nutricional. (Biblioteca de la Universidad Juan Misael Saracho, 2015).

#### **A. Origen**

El filósofo griego Aristóteles documentó por primera vez el cultivo de esta hortaliza en la Antigua Grecia en el año 350 a. C. La acelga no es una planta nativa de América. Se registró por primera vez en la región mediterránea (especialmente en Sicilia) y en las Islas Canarias (Sur de Europa). Se considera que llegó al Perú durante la época de la colonización española; y se cultiva actualmente en diversas regiones del país. (R. Fordham, 2003)

#### **B. Cultivo**

Es una planta popular en los huertos caseros, ya que unas pocas plantas pueden proporcionar suficientes hojas y tallos para abastecer a una familia durante varios meses.

#### **C. Beneficios y uso**

La acelga destaca por su altísimo valor nutricional y bajo aporte de calorías. Son muy ricas en vitaminas A, C, K, folatos (B9), niacina (B3) y minerales como yodo, hierro, magnesio, cobre, calcio y potasio.

Su uso culinario es similar al de la espinaca u otras hortalizas; se recomienda consumirlas 2 a 3 veces por semana como parte de una dieta equilibrada, integrando sus hojas en ensaladas, guisos, budines, panqueques y pasteles. (Asociación Civil , 2023).

#### **D. Variedades**

El número de variedades cultivadas es muy escaso; su clasificación se establece en función del tamaño de sus hojas y grosor de los peciolos, llamados pencas, y la recuperación acelerada en el corte de las hojas.

**a. Acelgas blancas:** Caracterizadas por tener tallos blancos.

- Fordhook Giant (con hojas grandes de textura arrugada y color verde oscuro).
- Verde y Penca Blanca (hojas onduladas de color verde claro).
- Bresanne (hojas grandes de color verde intenso, levemente arrugadas y de bordes lisos).

**b. Acelgas verdes:** Tienen tallos de color verdoso.

- Lucullus (hojas grandes abullonadas de color verde claro amarillento).
- Dark green (aunque no es una variedad bien definida, hace referencia directa al color verde oscuro de las hojas y las pencas son color verde crema, casi amarillento, largas y finas).

De las variedades mencionadas, las más comunes son Lucullus, Forhook Giant y Dark Green, ya que reúne todas las características de la especie “cicla” y la siembra puede realizarse directamente en campo. (UNA La Molina, 2019) Por otro lado, a nivel comercial, solo dos cultivares se explotan; éstos son la Fordhook Giant y la Dark Green. (Valadez, 1993).



**Figura 2** *Implantación del cultivo por siembra de Beta vulgaris var. cicla (acelga)*

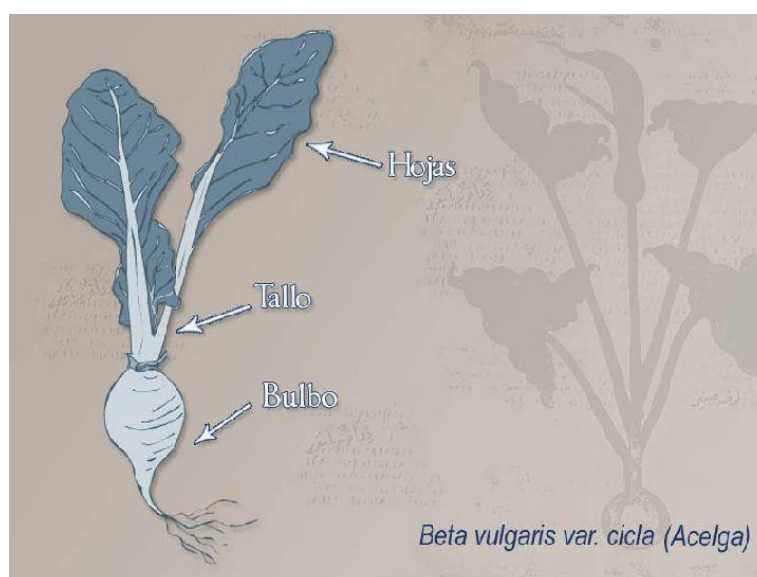


*Nota.* Registro fotográfico tomado en el campo. Fotografía de los autores.

#### ***E. Caracteres morfológicos de la acelga***

La acelga es un vegetal bianual, caracterizado por sus voluminosas hojas y una raíz ramificada. Se clasifica técnicamente como una planta con elevado potencial de bioacumular metales pesados en sus hojas, en comparación con los cultivos de fruto y raíz. Por ello, el principal riesgo radica en consumir hojas cultivadas en suelos contaminados o regadas con aguas residuales e industriales, lo que representa efectos directos de seguridad alimentaria y salud pública.

**Figura 3. Morfología de la acelga**



*Nota.* La figura muestra los caracteres morfológicos de la *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga). Tomado de *Región de Murcia Digital – Acelgas*. Fundación Íntegra, 2021.

Sus hojas son notoriamente grandes, con un pecíolo (la parte que une la hoja al tallo) y una nervadura en la parte central muy desarrollada. Los limbos de las hojas son redondeados y grandes, a veces cubriendo ligeramente los pecíolos hasta la base. El color de las hojas puede variar considerablemente, desde tonos amarillos hasta verdes oscuros, dependiendo de la selección realizada para adaptarse a las preferencias del mercado local.

El momento óptimo para la recolección de la acelga varía según la parte que se desea consumir. Si se desea consumir las hojas enteras, se recomienda dejar que la planta alcance un tamaño medio o pequeño. Por otro lado, si se desea aprovechar principalmente el pecíolo o la "pella", se permite que la planta desarrolle completamente las hojas.

Durante el segundo año de cultivo, la acelga emite un tallo ascendente altamente ramificado con flores. La infrutescencia resultante es un glomérulo, ya

que 2 o 3 flores quedan englobadas en un solo fruto. (Biblioteca de la Universidad Juan Misael Saracho, 2015)

#### ***F. Caracteres fisiológicos de la acelga***

La acelga prefiere climas templados y húmedos, adaptándose especialmente bien a los fríos del clima continental español y a las condiciones de las zonas templadas del Perú. Sin embargo, cuando sus hojas están completamente desarrolladas, sufren un estrés térmico por heladas.

Para su desarrollo óptimo, la acelga requiere suelos de consistencia media, frescos, profundos y con un elevado contenido de materia orgánica. Por lo tanto, es común que necesite aportes de estiércol bien descompuesto para mejorar la fertilidad del suelo. Es crucial tener en cuenta que la acelga tiene una tolerancia baja a la acidez del suelo y una tolerancia media-alta a la salinidad. (Laserna, 2013)

#### ***G. Ciclo biológico o agronómico de la acelga***

En cuanto al ciclo biológico o agronómico de la acelga, la siembra se puede realizar durante todo el año, excepto en los meses con menor registro térmico, como noviembre, diciembre, enero y febrero. En zonas templadas, incluso se puede sembrar en noviembre y febrero, siempre y cuando las temperaturas no sean demasiado bajas. Este escalonamiento en la siembra permite obtener producción durante todo el año, especialmente si se van cosechando las hojas a medida que crecen.

Aunque es posible sembrar la acelga en cualquier momento del año, la época más común es durante los meses de verano. Esto se debe a que durante esta época se logra un crecimiento máximo de la planta y una menor tendencia a la floración prematura. (Laserna, 2013)

### **2.2.3. Marco normativo**

Los niveles de referencia normativos de contaminantes inorgánicos presentes en los alimentos, están sujetos a marcos legales específicos a nivel internacional y regional.

#### **A. *Codex Alimentarius***

El Codex Alimentarius es una recopilación de textos y normas relacionados con los alimentos, aceptados internacionalmente. Fue creado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), a fin de garantizar prácticas justas en el comercio alimentario y proteger la salud de los consumidores. Por otro lado, facilita la armonización de criterios entre países, promoviendo el comercio seguro y transparente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

#### **B. *MERCOSUR***

El Mercado Común del Sur (MERCOSUR), es un reglamento técnico de integración regional, establecido inicialmente por Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay, al cual otros países como Perú se sumaron en calidad de estados asociados (MERCOSUR, 2005). Este reglamento establece los límites máximos permitidos de elementos metálicos y no metálicos en alimentos, aplicado en los países miembros y asociados. (MERCOSUR, 2011)

#### **C. *Unión Europea***

La Unión Europea (UE), es una organización política y económica que impulsa la democracia, la protección de los derechos humanos y el desarrollo sostenible (UE, s.f.). También lidera a nivel mundial los esfuerzos por mitigar el cambio climático mediante políticas ambiciosas de reducción de emisiones (Fundación

Aquae, 2020). Los límites máximos permisibles de contaminantes inorgánicos del reglamento de la Unión Europea fijan estándares estrictos para garantizar la inocuidad alimentaria y proteger la salud pública. (Reglamento (UE) 2023/915, de la Comisión de 25 de abril de 2023, relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1881/2006, 2023)

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **A. Metales pesados**

Una definición más práctica los clasifica como metales pesados si presentan efectos tóxicos y una alta persistencia, lo que los convierte en contaminantes ambientales que tienden a bioacumularse en los organismos y en la cadena trófica (García et al., 2002).

### **B. Nivel**

Se refiere a la cantidad o concentración de un compuesto químico que alcanza el umbral de toxicidad o contaminación significativa (MINAM, 2016).

### **C. Concentración**

Corresponde a la proporción de una sustancia disuelta o contenida dentro de una cantidad específica de otra sustancia. (MINAM, 2016)

### **D. Concentración total**

Es la cantidad total de un elemento químico regulado, expresada en unidades del Sistema Internacional de Medidas, que se encuentra en una masa determinada de suelo. Este valor se obtiene mediante digestión ácida (agua regia) o alcalina. (MINAM, 2016)

## **E. Calidad del suelo**

Capacidad natural del suelo en desempeñar diversas funciones agrícolas, económicas, ecológicas, culturales, arqueológicas y recreativas. Su calidad depende de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, las que determinan su potencial para sustentar tanto ecosistemas naturales como aquellos modificados por la actividad humana. (MINAM, 2016)

## **F. Contaminación**

Morales (2020) señala que la contaminación puede ser de origen natural o antrópico, aunque generalmente se asocia a las actividades humanas. Entre los tipos de contaminación, la del aire y el agua destacan por su mayor capacidad de dispersión, mientras que en el suelo los contaminantes tienden a acumularse y permanecer por más tiempo. (Torres-Gonzales et al., 2021)

## **G. Niveles de contaminación en el suelo**

Según Martell (2014), cuando la concentración del contaminante es elevada, el desarrollo de las especies vegetales se ve restringido.

## **H. Beta vulgaris var. cicla**

Nombre científico que se le atribuye a la acelga, una hortaliza bienal de la familia Quenopodiáceas, una especie que constantemente genera nuevos brotes, lo cual absorbe de forma continua los metales pesados sin mostrar desintoxicación de la planta. También es resistente a las condiciones ambientales y las plagas, por lo que puede ser utilizada en procesos de fitorremediación. (Cogayo & Bonilla, 2016)

## **I. Suelo contaminado**

Se refiere al componente suelo, cuyas propiedades químicas fueron alteradas de forma negativa por la presencia de sustancias contaminantes derivadas de la

actividad humana, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2016).

#### **J. Remediación**

Se trata del conjunto de acciones implementadas en un área contaminada a fin de mitigar o eliminar la carga contaminante de sustancias perjudiciales, garantizando así la preservación integral de la salud pública y el equilibrio ecológico (MINAM, 2016).

#### **K. Fitorremediación**

Es considerada una estrategia biotecnológica viable, que aprovecha la capacidad metabólica de especies vegetales y su sinergia vegetal-microbiana para inmovilizar y remover elementos tóxicos del suelo y agua (Kelley et al., 2000, citado por Muñoz-Castellanos et al., 2010).

#### **L. Zona urbana**

Es la región que rodea una ciudad, caracterizada por la interacción de suelos agrícolas periurbanos, viviendas y actividades humanas. (INEAF, s.f.)

#### **M. Bioacumulación**

Es considerado un proceso fisiológico mediante el cual la biomasa vegetal moviliza, absorbe y bioacumula metales pesados, principalmente desde la rizosfera (o el agua de riesgo) hacia los tejidos aéreos como las hojas, acumulándose de forma progresiva a lo largo del ciclo vegetativo. (BIOACUMULACIÓN, 2023)

#### **N. Muestra compuesta**

Es el conjunto de submuestras, convenientemente mezcladas y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio del compuesto analizado. El número de submuestras depende de la

variabilidad de la sustancia analizada en el área de estudio; esto permite un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras. (MINAM, 2014)

#### **O. Seguridad alimentaria**

La seguridad alimentaria se alcanza cuando las personas tienen, de manera ininterrumpida, un acceso físico, socioeconómico y cultural a una dieta suficiente, inocua y de alta calidad, que cubra sus necesidades fisiológicas y preferencias gastronómicas, permitiéndoles mantener un estado nutricional óptimo (BANCO MUNDIAL, 2023).

#### **P. Salud pública**

La salud pública comprende el conjunto de acciones, estrategias y políticas orientadas a la gestión sanitaria integral y la promoción del bienestar colectivo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), su propósito fundamental consiste en optimizar el bienestar sociosanitario y fomentar el desarrollo integral de la población.

#### **Q. Inocuidad alimentaria**

Representa la certificación oficial de que los alimentos agropecuarios primarios son seguros y no causan daño a la salud. (DIGESA, 2021)

#### **R. Límites máximos permisibles (LMP)**

Es la concentración máxima de un contaminante (como plaguicidas de uso agrícola, metales pesados o aguas residuales) permitida en un alimento o producto agrícola para asegurar que su consumo no represente una amenaza toxicológica latente (FAO, 2024). En el Perú, estos valores se rigen según los parámetros y normativas dictadas por entidades como el MINSA y organismos internacionales (OMS/FAO).



## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La concentración de metales pesados (como Cd, Pb, Cu y As) en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) supera los estándares permisibles, representando un riesgo significativo para la seguridad alimentaria y la salud pública de la zona urbana del distrito de Huariaca, perteneciente a la provincia y región Pasco- 2024.

### **2.4.2. Hipótesis específica**

- a. Existen concentraciones medibles y significativas de metales pesados tóxicos en el tejido foliar de *Beta vulgaris var. cicla* en el área delimitada.
- b. Las concentraciones de metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga), exceden los límites máximos establecidos para hortalizas de consumo humano.
- c. El consumo prolongado de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) con presencia de metales pesados (Cd, Pb, Cu y As) evidencia una amenaza toxicológica para la salud pública en la zona urbana del distrito de Huariaca.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

Concentración de metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en las hojas de *Beta vulgaris var. cicla*.

### **2.5.2. Variable Dependiente**

Impacto en la seguridad alimentaria y efectos en la salud pública.

### **2.5.3. Variables Intervinientes (posibles factores que pueden influir en el estudio)**

- Tipo de suelo y calidad del agua utilizada en el cultivo.

- Condiciones ambientales (clima, lluvia, contaminación del aire).
- Prácticas agrícolas utilizadas en la zona.
- Frecuencia y cantidad de consumo de acelga por la población.
- Normativas y regulaciones sobre metales pesados en alimentos en la región.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1** Matriz de operacionalización de variables e indicadores del estudio en la zona urbana del distrito de Huariaca, 2024

| Variable                        | Dimensión                                                              | Indicador                                                                                                    | Escala de medición                                                                                | Instrumento de recolección                                                                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Variable Independiente</b>   | Concentración de metales pesados como cadmio, plomo, cobre y arsénico. | Niveles de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en hojas de Beta vulgaris var. Cicla (acelga) | mg/kg (miligramo por kilogramo)                                                                   | Análisis mediante Espectrofotometría de absorción atómica (AAS) con llama de aire-acetileno |
|                                 | Impacto en la seguridad alimentaria                                    | Nivel de contaminación de la acelga según normativas de salud alimentaria                                    | Cumple / No cumple con los límites máximos permisibles en alimentos                               | Cuadros comparativos normativos (Codex Alimentarius y la Unión Europea)                     |
| <b>Variable Dependiente</b>     | Efectos en la salud pública                                            | Nivel de riesgos para la salud, derivados del consumo de acelga contaminada                                  | Casos reportados de enfermedades relacionadas (intoxicaciones, daños renales, neurológicos, etc.) | Antecedentes (nivel internacional, nacional y local) revisión de literatura científica      |
| <b>Variables Intervinientes</b> | Factores ambientales y agrícolas                                       | Tipo de suelo, calidad del agua, fuentes de contaminación                                                    | Descripción cualitativa y mediciones físico-químicas                                              | Análisis de suelo, entrevistas con agricultores                                             |
|                                 | Consumo de acelga en la población                                      | Frecuencia y cantidad de consumo en la dieta                                                                 | Ocasional / Frecuente / Diario                                                                    | Encuestas nutricionales                                                                     |

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Para fundamentar el tipo de investigación, se ha utilizado referencias metodológicas de autores reconocidos en investigación científica, como Hernández Sampieri et al. (2014) y otros expertos en metodología. Seguidamente, se detalla la información mediante el siguiente orden:

##### **A. Según el Enfoque**

Se considera cuantitativa, ya que, a través de pruebas de laboratorio se cuantificaron las concentraciones de metales pesados en las hojas de acelga. Con base en estos registros numéricos se valoró su incidencia en la seguridad alimentaria y la salud pública de la población urbana en el distrito de Huariaca. (Hernández Sampieri et al., 2014).

##### **B. Según el Alcance**

Descriptiva, porque durante el estudio, se logró mapear y cuantificar los niveles de bioacumulación de metales pesados, presentes en los tejidos foliares de la acelga y el suelo de la zona de estudio. (Tamayo y Tamayo, 2004).

Correlacional, porque la investigación analiza de qué manera los niveles de concentración de metales pesados influyen en la inocuidad de los alimentos y, por ende, en el bienestar de la salud pública. (Hernández Sampieri et al., 2014).

#### **C. Según la Temporalidad**

Es transversal, ya que el acopio de los datos de desarrolló únicamente durante el año 2024. Por lo tanto, el estudio muestra una perspectiva del momento y no contempla evaluaciones longitudinales ni seguimiento a largo plazo. (Hernández Sampieri et al., 2014).

#### **D. Según la Fuente de Datos**

Documental, porque se revisaron normativas nacionales e internacionales sobre metales pesados en alimentos (Arias, 2006).

No experimental, dado que los fenómenos fueron examinados tal como se manifiestan en su entorno natural. Por consiguiente, no se ejerció ningún tipo de control ni alteración sobre las variables, limitándonos a recolectar y analizar los datos en su dinámica real. (Hernández Sampieri et al., 2014).

### **3.2. Nivel de investigación**

Debido a que el objetivo principal es analizar la relación entre las variables, este estudio se ubica en los siguientes niveles:

#### **A. Nivel descriptivo**

Analiza los niveles de bioacumulación de elementos traza (cadmio, plomo, cobre y arsénico) presentes en las hojas de la planta *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) cultivada en áreas periurbanas del distrito de Huariaca.

Evalúa la calidad sanitaria de la acelga mediante la contrastación de su carga de contaminantes frente a los estándares de inocuidad establecidos por las entidades

sanitarias como el Codex Alimentarius y la Unión Europea en el ámbito internacional. (Hernández Sampieri et al., 2014).

## **B. Nivel Correlacional**

El estudio determinó la incidencia de la contaminación por metales pesados en la acelga sobre la soberanía alimentaria y los indicadores de salud pública dentro de la zona urbana del distrito de Huariaca. (Tamayo y Tamayo, 2004).

No establece causalidad directa, pero permite identificar si existe una asociación entre estas variables.

### **3.3. Métodos de investigación**

El estudio sustenta su desarrollo metodológico en los siguientes enfoques de investigación:

#### **A. Método Científico**

Se implementó un protocolo metódico para la recolección, cuantificación y evaluación de metales pesados en tejidos foliares de acelga, cultivada específicamente en áreas periurbanas del distrito de Huariaca.

#### **B. Método Cuantitativo**

Se aplicaron técnicas de medición en laboratorio para cuantificar la concentración de elementos metálicos, específicamente cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en los tejidos foliares de la acelga, para determinar su grado de incidencia.

Para la cuantificación de las muestras, se empleó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno, lo que permitió registrar las variables métricas requeridas. (Hernández Sampieri et al., 2014).

### **C. Método Descriptivo**

Mediante un análisis químico detallado, se cuantificó y evaluó el nivel de metales pesados presentes en las hojas de la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*). (Tamayo y Tamayo, 2004).

### **D. Método Correlacional**

El estudio determinó la incidencia de la contaminación por metales pesados en la acelga sobre la soberanía alimentaria y los indicadores de salud pública dentro de la zona urbana del distrito de Huariaca.

### **E. Método No Experimental – Transversal**

Al tratarse de un estudio no experimental, se omitió cualquier manipulación de variables. Como autores de la investigación, nos centramos en observar, recopilar y analizar el comportamiento de los datos tal como se presentaron en el ambiente de estudio. (Arias, 2006)

La investigación presenta un diseño de corte transversal, ya que el registro de los datos se llevó a cabo en un solo momento temporal correspondiente al ejercicio 2024.

## **3.4. Diseño de investigación**

El plan de investigación constituye el modelo operativo que direcciona la indagación, definiendo la secuencia técnica y el tratamiento que recibirán las variables en el proceso.

### **A. Según la Manipulación de Variables**

**No experimental**, el estudio consistió en recolectar datos sobre los fenómenos mientras ocurrieron en la realidad, para luego interpretarlos; tal como sugieren Hernández Sampieri et al. (2014) en su libro Metodología de la Investigación.

Porque en lugar de modificar intencionalmente las variables actuamos como un observador objetivo.

#### **B. Según la Temporalidad**

Transversal, ya que el acopio de los datos de desarrolló únicamente durante el año 2024, sin seguimiento a largo plazo. (Arias, 2006).

#### **C. Según el Nivel de Profundidad (Descriptivo-Correlacional)**

Descriptivo, porque se analizaron los niveles de bioacumulación de elementos traza (cadmio, plomo, cobre y arsénico) presentes en las hojas de la planta *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) y suelo, utilizando técnicas de laboratorio.

Correlacional, porque el deterioro ambiental ocasionado por la acumulación de metales pesados altera gravemente la inocuidad de lo que consumimos, lo que se traduce en un problema severo de salud pública (Tamayo y Tamayo, 2004).

#### **D. Según la Fuente de Datos**

Investigación de campo, la metodología aplicada en campo contempló el muestreo in situ de hojas de acelga y suelo directamente en la zona de estudio para su análisis en laboratorio.

Documental, ya que se consultaron normativas y estudios previos sobre la bioacumulación de tóxicos metálicos en alimentos de alta demanda, ya que representa un reto crítico para la salud pública, por lo que requiere un monitoreo constante.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

El presente estudio cuenta con una población constituida por:

- Todas las plantas *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) presentes en un polígono de aproximadamente 21.93 hectáreas, ubicado en la zona urbana del distrito de Huariaca (provincia y región Pasco). (véase Anexo D)
- Los habitantes que consumen acelga en la zona urbana del distrito de Huariaca, como parte de su dieta regular.

### 3.5.2. Muestra

Para la ejecución de un muestreo representativo, se siguió el marco metodológico establecido por el Ministerio del Ambiente, adaptando sus lineamientos técnicos de diseño y manejo de muestras al análisis específico del tejido foliar de la acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*).

- La muestra consta de hojas de acelga, consideradas en parcelas o zonas de estudio.  
*Muestreo aleatorio estratificado.* Se consideraron dos (02) parcelas en el distrito de Huariaca.  
*Muestra compuesta.* Se recolectaron cuatro (04) muestras: dos (02) muestras de hojas y dos (02) muestras de suelo. Cantidad suficiente para análisis de laboratorio (según estándares científicos).



**Figura 4.** *Lugar de la toma de muestra*



*Nota.* Registro fotográfico tomado en la unidad experimental N° 1 durante los primeros días de siembra de acelga. Fotografía de los autores.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas son procedimientos o aspectos fundamentales de la recopilación de información que permiten al investigador acercarse a los hechos y acceder a sus conocimientos, según Rojas Soriano (1996-1997). Por otro lado, los instrumentos son aquellas recursos o herramientas (físicas o digitales) que permiten obtener información y evidencia específica sobre un problema, a fin de extraer datos precisos y tomar decisiones informadas (UAEH, 2022).

El principal método de recolección de datos implementado en esta investigación fue la observación, a través de la modalidad analítica de campo y laboratorio.

#### **3.6.1. Trabajos de campo**

Para el levantamiento de información en el trabajo de campo, se utilizaron las siguientes herramientas y procedimientos:

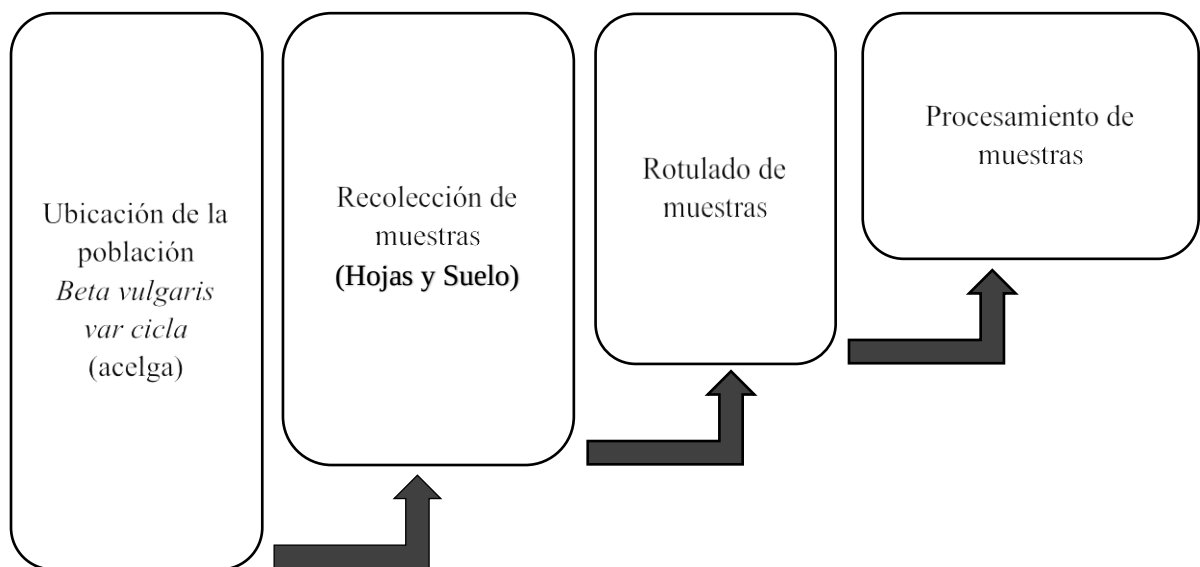
##### **Instrumentos:**

- Cuaderno de campo.

- GPS
- Cámara Fotográfica
- Cúter
- Sobres de papel Kraft para muestra de acelga
- Cinta adhesiva para rotulado
- Picota
- Lona plástica para toma de muestra de suelo

**Visita a campo.** La visita de campo para la identificación y recolección de las muestras a evaluar se explica a través del siguiente diagrama y se visualiza en el Anexo

B.



*Nota.* El presente diagrama ilustra, de manera resumida, la metodología de recolección de datos implementada durante la investigación, compuesta exclusivamente por registros y hallazgos originales.

En la fase de cosecha, se seleccionó aleatoriamente el 10% del total de las plantas sembradas para conformar la muestra representativa. Y se cuantificó mediante espectrofotometría de absorción atómica, conforme al protocolo oficial 968.08 de la AOAC.

### 3.6.2. Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio se realizaron en el “Laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos” del Instituto Central de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. (Ver informe en el Anexo A)

- **Selección del método de análisis de muestra.** Se analizó los niveles de elementos traza y metales contaminantes empleando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (AAS) con llama de aire-acetileno.
- **Preparación de la muestra.** Se hizo el uso de recipientes limpios, que a su vez fueron preservados adecuadamente según el tipo de metal a analizar.
- **Tratamiento previo y digestión de la muestra,** tanto de las hojas de acelga como de suelo, a fin de convertirlos en una solución apta para su análisis.
- **Preparación de soluciones estándar** de los contaminantes metálicos como el cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y metaloides como el arsénico (As), en concentraciones conocidas.
- **Análisis de la muestra,** a fin de cuantificar los niveles de metales pesados en el tejido foliar de la Beta vulgaris var. cicla (acelga), bajo un esquema de concentraciones estandarizadas. (véase Anexo C)

### 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

#### Procedimiento de Selección

- Se efectuó una revisión bibliográfica exhaustiva de antecedentes internacionales y nacionales. En cuanto a estudios previos a nivel local, se ha tomado de referencia una especie distinta (col serrana), ya que no se encuentra información relevante respecto a la especie en cuestión.

### **Procedimiento de validación**

- Se analizaron las muestras en el laboratorio empleando técnicas instrumentales y procedimientos estandarizados, de acuerdo con los métodos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) y la Norma ISO 11047:1998.
- Se analizaron las concentraciones de cadmio, plomo, cobre y arsénico, que posteriormente fueron contrastadas con los estándares normativos vigentes (como el Codex Alimentarius y la Unión Europea).

### **Procedimiento de confiabilidad**

- Se consideraron los protocolos de muestreo del Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Se verificó el cumplimiento de la metodología detallada en el informe de laboratorio y la calibración de equipos.
- Se dispone del respaldo institucional para certificar la confiabilidad de los análisis fisicoquímicos realizados por el Laboratorio de Aguas y Suelos - UNDAC.

## **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se evaluó la concentración de metales pesados presentes en el tejido foliar de la *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) y suelos asociados, a continuación, se detallan las siguientes técnicas:

### **Preparación de la muestra**

- El material vegetal fue sometido a un proceso de lavado utilizando agua destilada con el propósito de eliminar el polvo y las impurezas superficiales, luego la muestra se sometió a un proceso de secado a 60° C hasta la

estabilización de su masa. Posteriormente, se molieron y tamizaron la muestra para lograr un material homogéneo.

- Previo a los análisis químicos, las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente (secado al aire), disgregadas cuidadosamente y tamizadas a través de una malla con abertura de 2 mm para obtener la fracción de tierra fina.
- Por último, se realizó una digestión húmeda de 0.5 g de muestra vegetal y 1 g de suelo, utilizando una mezcla de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) en proporción 3:1. Las muestras fueron sometidas a digestión térmica sobre una placa calefactora hasta lograr la completa clarificación del extracto; posteriormente, se filtraron y el volumen se aforó a 25 mL utilizando agua desionizada.

### **Determinación instrumental**

La cuantificación de los elementos traza (Cd, Pb, Cu y As) fueron evaluadas mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica (AAS) con atomización en llama de aire-acetileno, siguiendo los protocolos analíticos normalizados.

- Cd y Pb: Método EPA 3050B/7000B

Para evaluar los niveles de cadmio y plomo, se realizó una digestión asistida por reactivos de alta pureza, utilizando ácido nítrico bidestilado ( $\text{HNO}_3$ ), ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); 30%.

- Cu: Método EPA 3050B/6010B

Para la preparación de las muestras, se aplica la metodología de digestión ácida asistida por ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), conforme al protocolo establecido por el método 3050B. Posteriormente, la cuantificación de los elementos de interés se lleva a cabo mediante espectrometría de emisión

atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), correspondiente al método 6010B.

- **As: Método EPA 3050B/7062**

El análisis de arsénico conllevó la transformación previa de la muestra sólida a una solución digerida a través del método 3050B, seguida de la espectrometría por generación de hidruros bajo las directrices del método 7062.

Las concentraciones finales obtenidas se procesaron para la evaluación de riesgos a la salud, contrastándolas con los estándares de referencia establecidos por organismos internacionales de salud.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

Los datos fueron evaluados de la forma descriptiva para encontrar los datos estadísticos, luego se realizaron las evaluaciones estadísticas que requiere la investigación.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La ejecución de este estudio se fundamentó en los principios de responsabilidad socioambiental y el cumplimiento de la legislación pertinente, garantizando la integridad de las prácticas investigativas. En concordancia con el Código de Ética, específicamente el Artículo 4, Capítulo 9, Inciso a, se enfatiza la importancia de salvaguardar el equilibrio ecológico, la biodiversidad, los recursos genéticos y los procesos naturales, minimizando cualquier posible impacto adverso derivado de la investigación.

Asimismo, en términos de originalidad, este proyecto ha sido desarrollado respetando la integridad de las fuentes consultadas. Todas las referencias bibliográficas utilizadas han sido debidamente citadas y registradas, garantizando la transparencia y veracidad de la información sin modificaciones en su contenido. Este enfoque garantiza

que el estudio se desarrolle bajo estándares científicos rigurosos y un estricto apego a la propiedad intelectual, lo cual fomenta la construcción de saberes cimentados en la ética y la probidad investigativa.

**Reconocimiento de fuentes:**

Las fuentes de los diferentes autores fueron citadas en la bibliografía sin alterar su contenido, según el formato APA 7ma edición.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Localización y descripción del área de estudio**

El presente estudio se desarrolló en el distrito de Huariaca, ubicado en la provincia y región de Pasco, a una altitud promedio de 2940 m.s.n.m. Las condiciones atmosféricas del lugar corresponden a un clima templado frío, el cual presenta una alta pluviosidad durante periodos estacionales definidos (noviembre a abril) y estación seca (mayo a septiembre). Los suelos suelen ser andisoles o entisoles, con excelente retención de humedad, pero con posibles limitaciones por acidez o presencia de metales pesados. Dado el uso del recurso hídrico proveniente de la cuenca del Alto Huallaga para la actividad agrícola, el cual se encuentra potencialmente comprometido por la intervención de la industria minera y el vertimiento de aguas residuales, resulta imperativo evaluar la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de la *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) para descartar riesgos ecotoxicológicos.



## Ubicación geográfica

Para efectos de este trabajo, la recolección de datos y la evaluación se centraron en dos polígonos agrícolas destinados a la siembra de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla), cuya localización geográfica se distribuye del modo descrito:

**Tabla 2** Localización y demarcación del sector de estudio

| UBICACIÓN GEOGRÁFICA |                 |                 |
|----------------------|-----------------|-----------------|
|                      | PARCELA N° 1    | PARCELA N° 2    |
| <b>Latitud</b>       |                 |                 |
| <b>(S)</b>           | 10° 26' 10.03'' | 10° 26' 14.97'' |
| <b>Longitud</b>      |                 |                 |
| <b>(W)</b>           | 73° 11' 22.22'' | 73° 11' 26.35'' |

**Nota.** Los datos de coordenadas geográficas fueron obtenidos a través de la herramienta Google Earth Pro, 2024.

### 4.1.2. Selección de la parcela de plantación de la acelga

Se definieron las parcelas de cultivo de las cuales se tomaron las muestras, siendo lo más homogéneo posible en términos de suelo, variedad, edad de la planta, manejo agrícola, entre otras consideraciones más. Además, se consideró el estado de madurez comercial apto para el consumo humano, eligiendo las plantas de acelga más representativas de cada parcela y evitando hojas marchitas y brotes tiernos para formar una muestra compuesta.

**Figura 5.** Unidad experimental N° 1 de la *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga)



*Nota.* Registro fotográfico tomado en el seguimiento fenológico in situ de la acelga. Fotografía de los autores.

#### **4.1.3. Muestreo de las hojas de acelga y el suelo**

##### **A. Recolección de tejido foliar de la acelga**

En la fase de cosecha, se recolectó una muestra probabilística (10% del lote) y se cuantificó mediante espectrofotometría de absorción atómica, conforme al protocolo oficial 968.08 de la AOAC.

La recolección de tejido foliar (hojas) de la acelga se realizó durante la mañana, bajo condiciones ambientales secas y previniendo la incidencia directa de radiación solar, con el fin de eludir posibles alteraciones de la muestra o contaminantes externos.

En cada parcela seleccionada aleatoriamente dentro del sector de estudio, se recolectaron cuatro muestras por unidad de análisis: dos submuestras de acelga (considerando principalmente las hojas) y dos submuestras de suelo, con un peso igual o superior a 250 g cada una. La

recolección se realizó siguiendo un patrón en zigzag, seleccionando las plantas completas (hoja y raíz) cada 30 pasos, de manera aleatoria.

**Figura 6.** *Monitoreo del desarrollo morfológico de la Beta vulgaris var. cicla (acelga)*



*Nota.* Registro fotográfico tomado en el análisis de la tasa de crecimiento del cultivo de acelga en la zona de estudio. Fotografía de los autores.

Las muestras recolectadas fueron colocadas en bolsas de papel Kraft (nuevas y limpias), asegurando las condiciones indispensables para obtener resultados fiables en el laboratorio.

**Figura 7.** Extracción de muestras foliares de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga)



*Nota.* Registro fotográfico tomado en la unidad experimental N° 2, donde la imagen muestra la recolección de hojas de acelga. Fotografía de los autores.

## **B. Muestra de suelo**

A partir de los terrenos seleccionados aleatoriamente en el área delimitada, se recolectaron muestras de suelo correspondientes a parcelas cultivadas de acelga. Para el estudio de investigación se consideró una muestra compuesta por parcela, extrayéndose suelo de cuatro puntos distribuidos en zigzag (dos por cada parcela), con una separación aproximada de 30 pasos entre cada punto.

Las extracciones de muestras de suelo en las parcelas de evaluación para suelo agrícola, fueron sometidos a una roturación profunda de 30 cm, en estricto cumplimiento de los lineamientos técnicos-ambientales de la Guía para el muestreo de suelos aprobado por el MINAM, procurando



evitar el efecto borde y asegurando que la superficie muestreada estuviera libre de restos de cosecha, piedras u otros elementos que pudieran alterar la exactitud muestral.

**Figura 8.** *Extracción de muestra de suelo*



Nota. Registro fotográfico tomado en la unidad experimental N° 2. Fotografía de los autores.

De cada punto se recolectaron 500 g de suelo. Las submuestras fueron colocadas sobre una lona plástica limpia y homogeneizadas cuidadosamente. Posteriormente, se extrajo una muestra final de aproximadamente 1 kg, la cual fue almacenada en una bolsa de papel limpia y rotulada, para su posterior envío al laboratorio correspondiente (Cáceres y Ramos, 2019).

**Figura 9.** *Muestras recolectadas (hojas y suelo) que fueron remitidas a la unidad de análisis para su evaluación respectiva*



*Nota.* Registro fotográfico tomado en la unidad experimental N° 1. Fotografía de los autores.

#### **4.1.4. Evaluación de los niveles de contaminación del suelo**

##### **A. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Suelo**

La evaluación de la calidad de suelo se fundamentó en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, aprobados mediante el D.S. N.° 011-2017-MINAM. Este marco regulatorio se empleó como parámetro de referencia para garantizar la preservación ambiental y el estricto apego a los límites máximos permisibles de contaminantes.

Entre los principales contaminantes metálicos, sujetos a normativas se encuentran elementos químicos como arsénico, cadmio, plomo y cobre, los cuales representan un riesgo de degradación tanto para las matrices edáficas como para las masas de agua. A continuación, se detallan los límites

máximos permisibles establecidos para la categoría de uso de suelo agrícola.

**Tabla 3** *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.*

| <b>Parámetro</b> | <b>Unidad de medida</b> | <b>Suelo<br/>Agrícola</b> |
|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Arsénico         | mg/kg                   | 50                        |
| Cadmio           | mg/kg                   | 1,4                       |
| Cobre            | mg/kg                   | No indica                 |
| Plomo            | mg/kg                   | 70                        |

*Nota.* Los valores indicados representan el peso seco del suelo. El uso agrícola se considera apto para el crecimiento de cultivos y la ganadería. Adaptado del Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

#### **4.1.5. Límites máximos permisibles de control para la acelga**

Para garantizar la seguridad alimentaria, se tomaron en consideración los estándares técnicos internacionales sobre las concentraciones máximas tolerables de sustancias tóxicas, a fin de salvaguardar la integridad de los consumidores frente a los riesgos derivados de la ingesta de acelga contaminada.

##### **A. Codex Alimentarius**

Para promover el comercio alimentario seguro e inocuo de hortalizas (acelga), y salvaguardar la salud pública, el Codex Alimentarius estipula los niveles máximos de metales pesados permitidos en productos de consumo humano (FAO, 2015).

**Tabla 4.** Norma general para contaminantes (Codex Alimentarius)

| Parámetro | Unidad de medida | Acelga |
|-----------|------------------|--------|
| Cadmio    | mg/kg            | 0.2    |
| Plomo     | mg/kg            | 0.3    |
| Arsénico  | mg/kg            | --     |
| Cobre     | mg/kg            | --     |

*Nota.* Adaptado de la Norma general Codex STAN (193-1995), el cual aplica a todos los alimentos y piensos para proteger la salud pública. Comisión del Codex Alimentarius, 2015.

## B. MERCOSUR

Para resguardar la salud pública, el MERCOSUR establece límites toxicológicos aceptables para diversos contaminantes presentes en alimentos (Mercado Común del Sur, 2011).

**Tabla 5.** Concentraciones máximas admisibles de contaminantes metálicos en hortalizas (MERCOSUR)

| Parámetro | Unidad de medida | Acelga |
|-----------|------------------|--------|
| Cadmio    | mg/kg            | 0.2    |
| Plomo     | mg/kg            | 0.3    |
| Arsénico  | mg/kg            | 0.3    |
| Cobre     | mg/kg            | --     |

*Nota.* Adaptado de la Resolución MERCOSUR/GMC/RES. N.º 12/11.

## C. Unión Europea

Para asegurar la inocuidad alimentaria y salvaguardar la salud pública, la Unión Europea (UE) pone a disposición el contenido máximo metales y metaloides en productos alimenticios.



**Tabla 6.** *Concentraciones máximas admisibles de contaminantes metálicos en productos alimenticios (Unión Europea)*

| Parámetro | Unidad de medida | Acelga |
|-----------|------------------|--------|
| Cadmio    | mg/kg            | 0.2    |
| Plomo     | mg/kg            | 0.3    |
| Arsénico  | mg/kg            | --     |
| Cobre     | mg/kg            | --     |

*Nota.* Adaptado del Reglamento (UE) N.º 1275/2013.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### A. Concentración de contaminantes metálicos en fertilizantes usados

En la **Tabla 7** se expone la dispersión en las concentraciones de metales pesados prioritarios (Cd, Pb, Cu y As) detectados en dos de los insumos agrícolas de mayor uso: los fertilizantes nitrogenados y el compost. A continuación, se analiza cada elemento metálico.

**Tabla 7.** *Concentración de elementos inorgánicos*

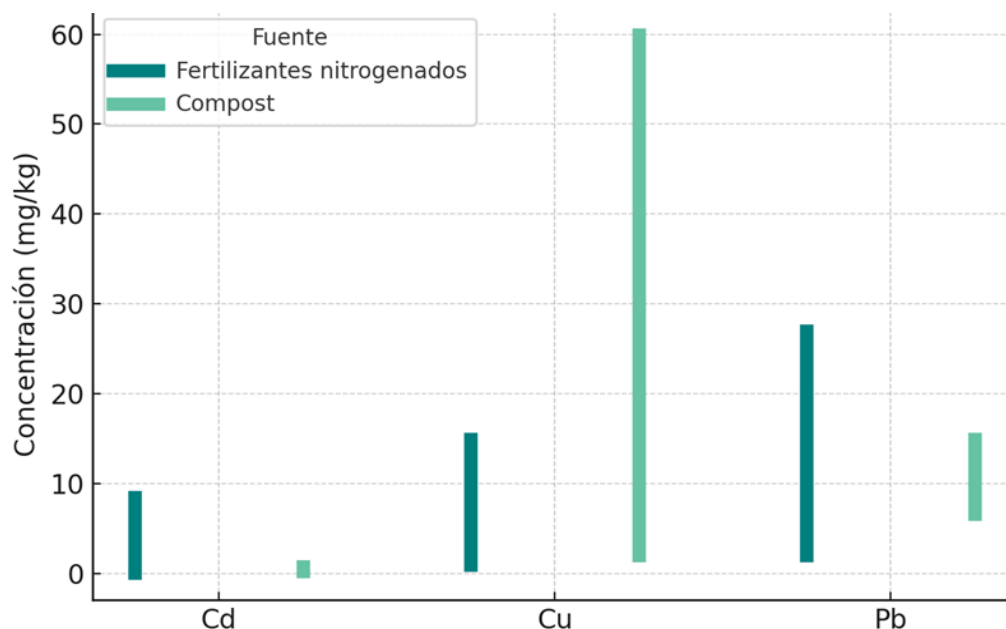
| Metal | Fertilizantes Nitrogenados<br>(mg/Kg) | Compost (mg/kg) |
|-------|---------------------------------------|-----------------|
| Cd    | 0,05 – 8,5                            | 0,3 – 0,8       |
| Cu    | 1 – 15                                | 2 – 60          |
| Pb    | 2 – 27                                | 6,6 – 15        |
| As    | --                                    | --              |

*Nota.* Adaptado de Informe de Laboratorio: Análisis de hojas de acelga (Beta vulgaris var. cicla) y suelo, por el Laboratorio de Aguas y Suelos–ICI–Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2024.

A partir del análisis expuesto, en la Figura 10 se evidencia una clara diferencia en el perfil de metales pesados entre el compost y los fertilizantes nitrogenados. Mientras que el compost (abono orgánico) destaca por una mayor acumulación de

cobre, los fertilizantes nitrogenados presentan picos de concentración más altos para el cadmio y plomo.

**Figura 10.** *Rango de concentración de metales pesados en las muestras de suelo analizadas*



*Nota.* Los valores representan las concentraciones mínimas y máximas registradas en miligramos por kilogramos (mg/kg). Adaptado de Informe de Laboratorio: Análisis químico de hojas de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) y suelo, por el Laboratorio de Aguas y Suelos–ICI–Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2024.

### Interpretación

- El cadmio (Cd), un elemento metálico altamente tóxico incluso a concentraciones mínimas, ha sido identificada en ambos insumos. Sin embargo, los fertilizantes nitrogenados presentan una mayor variabilidad y potencial de concentración alta, lo cual puede representar un mayor riesgo de acumulación en el suelo y en los cultivos. En comparación, el compost muestra niveles más estables y bajos, aunque no necesariamente despreciables.

- El plomo (Pb) es un metal no esencial y altamente tóxico. Ambos insumos presentan niveles significativos, aunque los fertilizantes nitrogenados tienen un rango más amplio y pueden alcanzar niveles superiores (hasta 27 mg/kg). El compost también contiene plomo, lo que puede estar relacionado con restos de materiales contaminados o residuos urbanos. La aplicación continua podría aumentar la carga de Pb en el suelo, afectando cultivos y potencialmente la salud humana.
- La ausencia de datos para arsénico (As) no es comúnmente reportada en estudios de este tipo. Sin embargo, el arsénico es altamente tóxico y su presencia en los fertilizantes es preocupante si está presente; su ausencia en la tabla no garantiza que esté ausente en el insumo.
- El cobre (Cu) resulta ser un oligoelemento indispensable para la homeostasis y el desarrollo de los cultivos; sin embargo, al superar ciertos umbrales, desencadena una marcada fitotoxicidad. Al respecto, se ha observado que el compost alcanza picos de concentración de este metal (de hasta 60 mg/kg) muy superiores a los registrados en los fertilizantes nitrogenados. Esta disparidad radica en su procedencia, estrechamente vinculada a la degradación de residuos orgánicos y a la acumulación de trazas de plaguicidas. Por consiguiente, la aplicación reiterada y desmedida de enmiendas orgánicas contaminadas conlleva un riesgo latente de sobreacumulación edáfica, superando los límites permisibles para la salud vegetal y el ecosistema.

## **B. Concentración de contaminantes metálicos en el suelo**

La evaluación de las muestras de suelo permitió identificar la presencia de metales pesados en el espacio delimitado. Los registros correspondientes a las

concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 8.** *Concentración de contaminantes metálicos en muestras de suelo de*

*Huariaca*

| <b>Variable o<br/>Parámetro</b> | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|---------------------------------|---------------|--------------|
| Cd (Cadmio)                     | mg/kg         | 0.078        |
| Pb (Plomo)                      | mg/kg         | 0.506        |
| Cu (Cobre)                      | mg/kg         | 2.503        |

*Nota.* Análisis ejecutado en el Laboratorio de Aguas y Suelos– ICI– Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC). Los valores corresponden a las medias aritméticas de muestras compuestas recolectadas en el espacio delimitado del distrito de Huariaca. Código de Muestra: LP-AG-020-2024.

### **Interpretación**

- **Cadmio (Cd): 0.078 mg/kg.** El cadmio es un agente contaminante severo que tiende a retenerse en el suelo y transferirse a los cultivos. Al no existir un valor de referencia global unificado, las concentraciones fueron contrastadas con normativas internacionales de inocuidad alimentaria (como las de la Unión Europea y Canadá) y nacionales, cuando fue aplicable, con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para uso agrícola, los cuales oscilan en un rango de 0.1 a 1.4 mg/kg. En este sentido, los niveles detectados se encuentran dentro de los parámetros permisibles, lo que descarta una contaminación activa y un riesgo inminente de bioacumulación o absorción por parte de los cultivos.
- **Plomo (Pb): 0.506 mg/kg.** El plomo representa un riesgo ecotoxicológico significativo. Según los ECA para suelo, el valor límite permisible en áreas agrícolas es de 70 mg/kg. Este resultado de 0.506 mg/kg se encuentra dentro

de los parámetros seguros para la actividad agrícola; sin embargo, concentraciones edáficas superiores a 0.1 – 0.3 mg/kg ya pueden considerarse preocupantes dependiendo del uso del suelo. Lo que denota una concentración residual en este elemento, atribuible a fuentes de emisión difusa como el parque automotor, desechos municipales y el uso de enmiendas o agroquímicos.

- **Cobre (Cu): 2.503 mg/kg.** El cobre constituye un micronutriente esencial para el desarrollo vegetal; no obstante, su acumulación en altas concentraciones puede desencadenar efectos fitotóxicos. En el contexto peruano, el MINAM adopta directrices internacionales, fijando el límite máximo permisible en 63 mg/kg de acuerdo con el uso del suelo. La concentración registrada (2.503 mg/kg) se sitúa dentro de los umbrales seguros para áreas agrícolas, cuyo estándar suele ser inferior a 100 mg/kg, descartando así un riesgo ambiental inminente. No obstante, resulta imperativo establecer un programa de monitoreo edáfico a largo plazo, particularmente si se aplican enmiendas orgánicas o insumos con alta carga de Cu (como abonos orgánicos de origen animal, vegetal o lodos).

### **C. Concentración de contaminantes metálicos en las hojas de acelga**

Los análisis de cuantificación de metales pesados en el follaje de Beta vulgaris var. cicla evidencian que las concentraciones de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Arsénico (As) se ajustan de manera favorable a los umbrales de inocuidad alimentaria prescritos por normativas internacionales, tales como el Codex Alimentarius y la Unión Europea (UE).

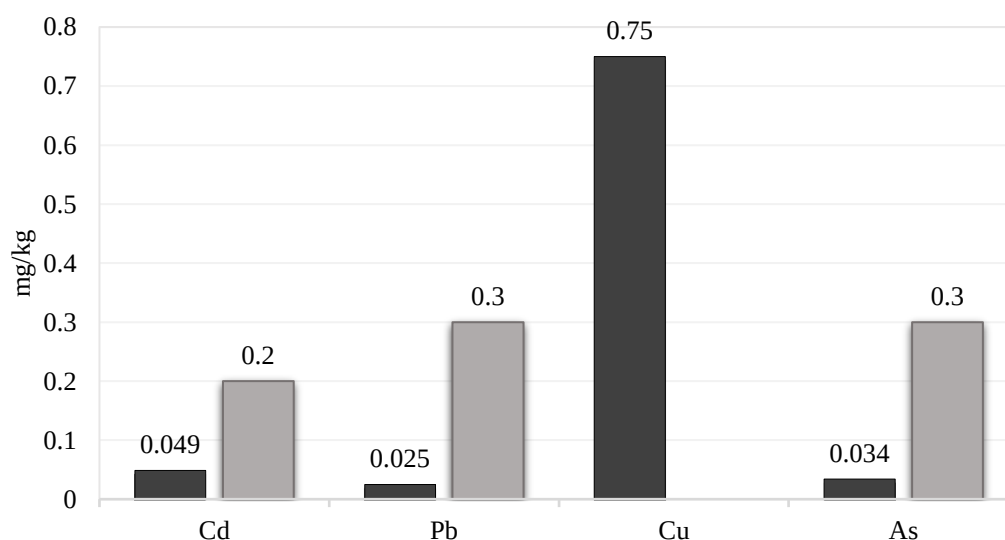
**Tabla 9.** Concentración de contaminantes metálicos en hojas de acelga

| Metal | Estimación máx. en<br>hojas de acelga (mg/kg) | Límite permitido<br>(Codex / UE) | Evaluación de<br>Inocuidad |
|-------|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Cd    | 0.049                                         | 0.2 mg/kg                        | Apto para consumo          |
| Pb    | 0.025                                         | 0.3 mg/kg                        | Apto para consumo          |
| Cu    | 0.75                                          | --                               | Apto para consumo          |
| As    | 0.034                                         | 0.3 mg/kg                        | Apto para consumo          |

*Nota.* Los valores límites permitidos están basados en las directrices sanitarias para hortalizas de hoja emitidas por la FAO/OMS. Adaptado de Informe de Laboratorio: Análisis de hojas de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) y suelo, por el Laboratorio de Aguas y Suelos–ICI–Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), 2024.

El siguiente gráfico de barras detalla las concentraciones promedio de metales pesados en el follaje de la acelga:

**Figura 11.** Acumulación de metales pesados en tejidos foliares de la acelga



*Nota.* En la gráfica se despliega la concentración de los metales (mg/kg en peso seco) presentes en el tejido foliar de la acelga sobre el eje vertical, mientras que en el eje horizontal se exhiben cada uno de los elementos metálicos evaluados a partir de las muestras analizadas, los cuales se comparan directamente con los estándares de seguridad establecidos. Los valores ilustrados se derivan directamente de las determinaciones analíticas ejecutadas en el laboratorio.

### **Interpretación**

- Cadmio (Cd): La investigación arrojó un registro de 0.049 mg/kg, una cifra sumamente inferior al umbral legal de 0.2 mg/kg. Esto demuestra una mínima retención de este elemento nocivo en el cultivo.
- Plomo (Pb): La presencia estimada de este metal fue de 0.025 mg/kg, lo cual se sitúa muy por debajo del tope permitido de 0.3 mg/kg. Esto evidencia una baja tasa de absorción y traslado desde el suelo hacia el tejido vegetal.
- Cobre (Cu): Aunque los estándares del Codex Alimentarius/UE no fijan un tope máximo para este elemento en vegetales de hoja, el registro obtenido de 0.75 mg/kg se ajusta a los parámetros normales tolerados en productos de consumo humano, descartando cualquier amenaza toxicológica.
- Arsénico (As): Aunque los estándares del Codex Alimentarius/UE no fijan un tope máximo para este elemento en vegetales de hoja, el resultado de 0.034 mg/kg es altamente favorable. Al representar apenas el 11.3% del límite máximo permitido de 0.3 mg/kg por MERCOSUR, indica que las hojas de acelga para consumo humano cumplen con los estándares internacionales de inocuidad y no representan un riesgo de toxicidad por metales pesados para la salud pública en Huariaca.

La evaluación de las parcelas de acelga dentro del espacio delimitado demuestra que las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) se hallan en umbrales sumamente reducidos. Estos registros se alinean de manera estricta con las normativas internacionales de inocuidad alimentaria. Por consiguiente, los resultados demuestran que fomentar la producción agrícola en zonas rurales es una alternativa eficaz para garantizar el

acceso a la alimentación. Esto se debe no solo a los beneficios nutricionales que ofrecen estos productos, sino también a sus altos estándares de salubridad y pureza, un aspecto comprobado en el estudio mediante el análisis de metales pesados.

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

##### A. Hipótesis general

**$H_0$ :** La concentración de metales pesados (como Cd, Pb, Cu y As) detectados en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) **no superan** los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por las normativas internacionales de inocuidad alimentaria.

$$\mathbf{H_0: C_{metal} \leq LMP}$$

**$H_1$ :** La concentración de metales pesados (como Cd, Pb, Cu y As) detectados en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) **superan** los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por las normativas internacionales de inocuidad alimentaria, representando un riesgo significativo para la seguridad alimentaria y la salud pública de la zona urbana del distrito de Huariaca.

$$\mathbf{H_1: C_{metal} > LMP}$$

##### B. Hipótesis específica A

Esta hipótesis se refiere a la existencia de concentraciones medibles y significativas de metales pesados tóxicos en las hojas de acelga en el polígono de estudio.

**$H_0$ :** La concentración promedio de metales pesados tóxicos (Cd, Pb, Cu y As) en el tejido foliar de *Beta vulgaris* var. *cicla* dentro del área delimitada es **igual o menor** a los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por las normativas de inocuidad ambiental.

$$\mathbf{H_0: M_{población} \leq LMP}$$



**H<sub>1</sub>:** La concentración promedio de metales pesados tóxicos en el tejido foliar de *Beta vulgaris* var. *cicla* dentro del área delimitada es significativamente **superior** a las normativas de referencia.

$$\mathbf{H_1: M_{población} > LMP}$$

### C. Hipótesis específica B

Esta hipótesis se refiere a la concentración de metales pesados en específico (Cd, Pb, Cu y As) detectados en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla*, el cual se contrasta con los estándares alimentarios internacionales.

**H<sub>0</sub>:** No existe diferencia significativa; las concentraciones promedio de Cd, Pb, Cu y As en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) se encuentran dentro **(iguales o inferiores)** de los estándares máximos permitidos (LMP) de calidad alimentaria.

$$\mathbf{H_0: C_{metal} \leq LMP}$$

**H<sub>1</sub>:** Existe una diferencia significativa; las concentraciones promedio de Cd, Pb, Cu y As en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla* (acelga) **superan** de forma efectiva los límites máximos establecidos para consumo humano.

$$\mathbf{H_1: C_{metal} > LMP}$$

### D. Hipótesis específica C

Esta hipótesis se refiere al efecto del consumo prolongado de acelga contaminada en la salud de la población, por lo que se plantea como una hipótesis causal y epidemiológica.

**H<sub>0</sub>:** El consumo prolongado de acelga con metales pesados **no evidencia** una amenaza significativa para la salud pública de los habitantes en la zona urbana del distrito de Huariaca. La incidencia de toxicidad es estadísticamente nula.

$$\mathbf{H_0: \mu_{salud} = \mu_{esperada}}$$

**H<sub>1</sub>:** El consumo prolongado de acelga contaminada con metales pesados (Cd, Pb, Cu y As) **si evidencia** una amenaza toxicológica significativa para la salud pública en la zona urbana del distrito de Huariaca. Las concentraciones de estos metales representan un riesgo real para la población consumidora.

$$\mathbf{H_1: \mu_{salud} \neq \mu_{esperada} \text{ ó } \mu_{salud} > \mu_{esperada} (control)}$$

Para contrastar esta hipótesis se analizarían muestras de acelga de la localidad y se medirían los niveles de toxicidad, comparándolos con normativas sanitarias.

#### **E. Contraste de Hipótesis**

De acuerdo con las evaluaciones fotoquímicas efectuadas en las hojas de la especie *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) cultivada en el polígono de estudio del distrito de Huariaca:

- Nivel de cadmio (Cd): oscilan entre 0.007 y 0.049 mg/kg.
- Nivel de plomo (Pb): oscilan entre 0.005 y 0.025 mg/kg.
- Nivel de cobre (Cu): oscilan entre 0.125 y 0.75 mg/kg.

Las concentraciones cuantificadas demuestran una desviación negativa sustancial respecto a los límites máximos permitidos por el Codex Alimentarius y la legislación de la Unión Europea.

#### **F. Resultados del Contraste de Hipótesis**

- Para la hipótesis general y la hipótesis específica A y B; al comparar la media de las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) con la normativa del Codex Alimentarius y la Unión Europea, no resulta significativo ( $p < 0.05$ ). La media muestral no supera el LMP normativo, por la tanto no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). De igual manera, las concentraciones promedio de cobre (Cu) y arsénico (As) en el área de estudio, vinculadas a yacimientos mineros en Pasco, exhiben valores reducidos que se encuentran por debajo de los

límites permisibles de inocuidad. Esta evidencia estadística respalda la no refutación de la hipótesis nula ( $H_0$ ).

El análisis de los bioelementos metálicos en las muestras de acelga del distrito de Huariaca confirma parámetros seguros, descartando riesgos asociados a la toxicidad por metales pesados.

- En cuanto a la hipótesis específica C, no es posible confirmar ni rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) sin contar con evidencia clínica o toxicológica en la población humana. Se sugiere realizar estudios epidemiológicos adicionales si se desea profundizar en el impacto del consumo de acelga.

#### **4.4. Discusión de resultados**

La discusión central de esta investigación analiza la concentración y retención de metales traza en las hojas de Beta vulgaris var. cicla (acelga) en la zona de Huariaca. Para contextualizar la magnitud de los resultados, estos se contrastan rigurosamente con estudios científicos previos, tanto en el ámbito nacional como internacional.

##### **A. Comparación de resultados locales con estándares internacionales**

A partir de la evaluación de laboratorio sobre las hojas de acelga recolectadas en el área de estudio del distrito de Huariaca, se determinó una baja carga de metales pesados en la matriz vegetal: Cd (0.049 mg/kg), Pb (0.025 mg/kg), Cu (0.75 mg/kg) y As (0.034 mg/kg). Dicho perfil de inocuidad respeta los límites máximos permitidos (LMP) regulados internacionalmente por el Codex Alimentarius y la Unión Europea. Esta realidad contrasta de manera favorable frente a investigaciones como la de Cáceres Atencia y Ramos Caballero (2023), quienes evidenciaron una grave alteración en el Valle del Santa (sector Primavera), donde los metales pesados en la misma especie vegetal rebasaron de manera crítica las concentraciones tolerables (hasta 9.38 mg/kg de Pb y 0.93 mg/kg de Cd).

## **B. Acumulación de metales y potencial fitorremediador de la acelga**

Diversos estudios han evidenciado la capacidad fitoextractora de la *Beta vulgaris var. cicla* (acelga). Al respecto, Cerrón Recines (2019) identifica que esta variedad actúa como agente hiperacumulador de cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb), lo que le confiere un alto potencial en estudios ambientales para la recuperación de sustratos degradados por contaminación metálica. En esta misma línea, Song et al. (2012) demostraron que la acelga logra extraer hasta 144.6 mg/ha de Cd en un único ciclo productivo, modulando su tasa de remoción en función de la densidad de cultivo y la estrategia de fertilización implementada.

## **C. Eficiencia de bioacumulación de metales pesados**

La evidencia científica en toxicología y fitorremediación demuestra que la acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) posee una capacidad superior a otras hortalizas (como lechuga, espinaca, repollo y perejil) para acumular metales pesados en su follaje. Esta particularidad fitoextractiva se fundamenta en su mayor área foliar y en la eficiencia de su red radicular para el transporte de elementos hacia las hojas. En contraste, la espinaca y el perejil limitan el transporte de estos elementos tóxicos y los retienen mayormente en la raíz como mecanismo de tolerancia, estrategia que conlleva un estrés fisiológico severo cuando los niveles de contaminantes son altos. Por su parte, el repollo actúa mediante un escudo biológico, ya que sus capas externas retienen la mayor parte de los metales depositados por el aire o el riego, lo que dificulta evaluar la contaminación total en el ambiente. Asimismo, la lechuga presenta una amplia exposición foliar y absorción radicular, lo que facilita la acumulación de contaminantes tanto del suelo como del aire, convirtiéndola en una especie altamente bioindicadora.

En consecuencia, tanto la acelga como la lechuga soportan mayores concentraciones de metales pesados; sin embargo, la acelga destaca por una tolerancia y retención radicular más controlada que evita daños físicos visibles. Además, la acelga presenta un perfil nutricional superior al de la lechuga, aportando mayores densidades de vitaminas y minerales esenciales.

#### **D. Arsénico y su implicancia toxicológica**

El estudio de Yáñez, Alfaro y Bovi Mitre (2018) muestra que la exposición al arsénico (As) a través del riego o el suelo puede reducir la biomasa de la acelga y aumentar su acumulación en tejidos comestibles. Los niveles de As superaron los límites del Código Alimentario Argentino (0.30 mg/kg), con cocientes de peligro (THQ) y riesgos carcinogénicos superiores a lo aceptable, lo cual representa una amenaza latente para la salud pública de los consumidores.

#### **E. Fertilización y fitodisponibilidad de metales**

Stazi et al. (2022) evaluaron el uso de compost en suelos naturalmente contaminados con As, observando variaciones en la bioacumulación según el tipo de fertilización empleada. De manera similar, Chen et al. (2012) demostraron que la inoculación con bacterias tolerantes al Cd aumentó la absorción del metal y el peso seco de las plantas, lo que podría representar una estrategia eficaz para mejorar la fitorremediación.

#### **F. Riesgos en contextos urbanos y mineros**

En concordancia con los riesgos asociados a la agricultura urbana, Vega Castro y Salamanca (2016) determinaron que la acumulación de plomo (Pb) en hojas de acelga sobrepasa hasta en tres veces los límites máximos permisibles (LMP). En su estudio, la caracterización del suelo y el agua de riego como fuentes de contaminación confirmó que el consumo continuo de estos cultivos representa una

amenaza para la salud pública, dada la toxicidad neurológica derivada de la exposición crónica.

En la misma línea, la literatura científica, respalda por las investigaciones de Priale Reátegui (2023) y Bedoya Perales et al. (2023) evidenciaron la presencia de metales pesados en cultivos emplazados en zonas de influencia minera y entornos urbanos. Específicamente, se ha documentado una bioacumulación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en acelgas cultivadas en el distrito de Miraflores, llegando a registrar hasta 3.61 ppm de Cd. En consecuencia, el consumo habitual de estos vegetales contaminados representa una vía de exposición crónica que compromete la salud pública.

Por otro lado, la investigación de Paitan Gilian (2024) en el distrito de Yanacancha (Pasco) advierte sobre la bioacumulación de cadmio en la *Brassica* spp. (col serrana), superando los estándares normativos. Esta situación pone en riesgo la inocuidad alimentaria y subraya la importancia de implementar prácticas sostenibles de gestión de suelos. En particular, resulta imperativo controlar las descargas industriales en las cuencas hídricas, ya que estas aguas son reutilizadas aguas abajo para el riego, lo que incrementa el riesgo de toxicidad en los cultivos.

#### **G. Evaluación del riesgo ecotoxicológico por acumulación de metales pesados en las hojas de *Beta vulgaris* var. *cicla* cultivada en la zona de estudio**

A partir del análisis de las muestras extraídas en el área delimitada del distrito de Huariaca (provincia y región Pasco), se infiere que la producción de *Beta vulgaris* var. *cicla* no representa una amenaza directa para la salud de los consumidores por acumulación de metales pesados. Sin embargo, diversos estudios de caso advierten sobre el comportamiento fitoacumulador de la especie (*Beta vulgaris* var. *cicla*), la cual es altamente sensible y reactiva frente a la

contaminación edáfica e hídrica, particularmente ante el riesgo de exposición derivados del uso de insumos agrícolas y las aguas del río Huallaga con cargas contaminantes que aplican como riego en zonas cercanas, presentando una elevada tasa de translocación de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As).

## CONCLUSIONES

La evidencia analítica demuestra que la concentración de metales traza como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) en las hojas de Beta vulgaris var. cicla (acelga) no representan una amenaza para la seguridad alimentaria ni la salud pública en la zona urbana del distrito de Huariaca. Al contrastar los resultados con los estándares internacionales del Codex Alimentarius y de la Unión Europea, los valores reportados se sitúan de manera concluyente por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para hortalizas de hoja. En consecuencia, se rechaza la hipótesis de riesgo toxicológico significativo, viabilizando su consumo directo sin restricciones derivadas de contaminación por metales pesados.

El muestreo sistemático y el análisis espectrofotométrico (AAS) del tejido foliar de Beta vulgaris var. cicla comercializada en la zona urbana de Huariaca presenta niveles de metales pesados (Cd, Pb, Cu, As) que se sitúan por debajo de los LMP internacionales, por lo tanto, no representa un riesgo toxicológico por bioacumulación de estos elementos metálicos para la salud de los consumidores, garantizando la inocuidad alimentaria en el área de estudio.

En función de los análisis fisicoquímicos, la ingesta de Beta vulgaris var. cicla cultivada en la zona urbana de Huariaca no representa una amenaza toxicológica. Aunque esta especie posee capacidad fitorremediadora, los estudios demuestran que los suelos locales registran niveles seguros de metales pesados, descartando así cualquier riesgo de exposición o bioacumulación perjudicial para la salud pública, en comparación con otras zonas del país que presentan riesgos por actividades urbanas, industriales o mineras.



## **RECOMENDACIONES**

1. Implementar y estructurar un programa continuo de análisis de metales pesados (cadmio, plomo, cobre, arsénico, entre otras más) que examine de forma simultánea los tejidos vegetales, las fuentes hídricas de regadío y los suelos agrícolas en el entorno urbano de Huariaca.
2. Formalizar acuerdos de cooperación técnica entre la UNDAC, autoridades ambientales, los organismos de salud pública y el gobierno local para unificar los protocolos de fiscalización fitosanitaria en los cultivos de mayor demanda comercial de la región. Lo cual permitirá establecer un panorama más completo de seguridad alimentaria en el distrito de Huariaca.
3. Fomentar la capacitación técnica de los agricultores locales en prácticas de agricultura limpia y uso responsable de fertilizantes y compost, con el objetivo de reducir el riesgo de acumulación de contaminantes en los cultivos.
4. Difundir los resultados con rigor académico y comunitario a fin de enriquecer la literatura científica regional y, en paralelo, comunicar la inocuidad del producto a la población para incentivar la economía agrícola local de forma segura.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Agroes. (s.f.). *Agroes*. Obtenido de <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/ancelga/372-ancelga-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Asociación Civil . (18 de abril de 2023). *El Poder del Consumidor* . Obtenido de <https://elpoderdelconsumidor.org/2023/04/el-poder-de-las-ancelgas/>
- Banco Mundial. (2023). *Qué es la seguridad alimentaria*. Banco Mundial. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/brief/food-security-update/what-is-food-security>
- Bedoya Perales, N., Escobedo Pacheco, E., M. D., N. A., & Pumi, G. (2023). Conjunto de datos sobre metales y metaloides en cultivos alimentarios y suelos muestreados en la región minera de Moquegua (Perú. *Scientific Data*.
- Biblioteca de la Universidad Juan Misael Saracho. (10 de diciembre de 2015). CAPITULO I: MARCO TEORICO. Bermejo, Bolivia. Obtenido de [https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac\\_css/](https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/)
- Biologyonline.com*. (2023). Obtenido de <https://www.biologyonline.com/dictionary/bioaccumulation>
- Cáceres Atencia, M. J., & Ramos Caballero, E. M. (2023). *Determinación de Cadmio, Plomo, Mercurio y Arsénico en Beta vulgaris, Ipomoea batatas y Beta vulgaris var. cicla, Santa*. Santa: Repsitorio institucional digital Universidad Nacional del Santa.
- Cerrón Recines, E. C. (2019). *Evaluación de la capacidad de asimilación y concentración de metales pesados utilizando Beta vulgaris var. cicla para un proceso de restauración de suelo contaminado en la E.E.A Mantaro – Junín*. Huancayo: Reositorio Institucional UNCP.

- Chen, S., Chao, L., Sun, L., & Sun, T. (2012). Efectos de las bacterias en la bioacumulación de cadmio en la planta hiperacumuladora de cadmio Beta Vulgaris Var. Cicla L. *International Journal of Phytoremediation*, 477-487 .
- Cogayo, E., & Bonilla, S. (22 de junio de 2016). ABSORCIÓN DE PLOMO DE SUELOS ALTAMENTE CONTAMINADOS EN ESPECIES VEGETATIVAS USADAS PARA CONSUMO ANIMAL Y HUMANO. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1), 39-51. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051461004/html/>
- DIGESA. (07 de junio de 2021). *digesa.minsa.gob.pe*. (M. J. Pastor, Ed.) Obtenido de [https://www.digesa.minsa.gob.pe/Alimentos\\_Inocuos/7-%20SENASA%20Y%20LA%20INOCUIDAD%20AGROALIMENTARIA.pdf](https://www.digesa.minsa.gob.pe/Alimentos_Inocuos/7-%20SENASA%20Y%20LA%20INOCUIDAD%20AGROALIMENTARIA.pdf)
- FAO. (2015). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/>
- FAO. (2019). *La contaminacion del suelo una realidad oculta*. Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura.
- FAO. (2024). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>
- Fundación Aquae. (01 de junio de 2020). *fundacionaquae.org*. Obtenido de [https://www.fundacionaquae.org/wiki/33-de-las-ciudades-de-la-ue-sin-planes-contrael-cambio-climatico/amp/?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=11897514205&gbraid=0AAAAABxiIaREtMO-jzZWl04XCSs0ubvQd&gclid=EAIaIQobChMI6sbXxK3\\_lAMVWWFIAB0EoAatEAYASAAEgKYRPD\\_BwE](https://www.fundacionaquae.org/wiki/33-de-las-ciudades-de-la-ue-sin-planes-contrael-cambio-climatico/amp/?gad_source=1&gad_campaignid=11897514205&gbraid=0AAAAABxiIaREtMO-jzZWl04XCSs0ubvQd&gclid=EAIaIQobChMI6sbXxK3_lAMVWWFIAB0EoAatEAYASAAEgKYRPD_BwE)
- Fundación Española de la Nutrición. (s.f.). *Acelga*. Obtenido de <https://www.fen.org.es/vida-saludable>

Hernández Baranda, Y., Rodríguez Hernández, P., Peña Icart, M., Meriño Hernández, Y., & Cartaya Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*.

INEAF. (s.f.). *ineaf.es*. Obtenido de <https://www.ineaf.es/glosario-juridico/zonas-urbanas>

INEI. (diciembre de 2018). RESULTADOS DEFINITIVOS. Obtenido de <https://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-la-poblacion-economicamente-activa-2017/>

Lama, S. C. (18 de Agosto de 2011). *Everyday Health*. Obtenido de <https://www.everydayhealth.com/food-ingredients/what-natural-foods-help-blood-to-clot/>

Laserna, S. (23 de julio de 2013). *AgroEs.es*. Obtenido de <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/ acelga/372-acelga-descripcion-morfologia-y-ciclo>

*Lenntech.es*. (s.f.). Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>

MERCOSUR. (2005). *mercosur.int*. Obtenido de <https://www.mercosur.int/acerca-del-mercosur/paises>

MERCOSUR. (diciembre de 2011). REGLAMENTO TÉCNICO MERCOSUR SOBRE LIMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES INORGÁNICOS EN ALIMENTOS. Obtenido de <https://www.mercosur.int/acerca-del-mercosur/que-es-el-mercosur>

MINAM. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos*. Lima: MAVET IMPRESIONES E.I.R.L.

Ministerio del Ambiente. (2013). *Calidad Ambiental*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>

Paitan Gilian, J. G. (30 de Enero de 2024). Niveles de contenido de metales pesados en la col serrana (*Brassica sp*) en suelos contaminados en el distrito de Yanacancha-Pasco.

- Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3956>
- Perez Mora, W. H. (24 de Mayo de 2021). Evaluación del índice de geoacumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá. *Revista ION*, 34(1), 37-45. doi:<https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021004>
- Prialé Reátegui, D. F. (2023). *Evaluación de la presencia de plomo y cadmio en cultivos urbanos de Lactuca sativa y Beta vulgaris var. cicla. en el distrito de Miraflores*. Lima: Repositorio academico UPC.
- R. Fordham, P. H. (2003). HORTALIZAS DE CLIMAS TEMPLADOS. (B. Caballero, Ed.) *ScienceDirect*, 5936-5938. doi:<https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01236-0>
- Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1881/2006. (25 de abril de 2023). *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- Riveros Villa, F. (2014). Nivel de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas y sus efectos en hortalizas en el valle Higuera, Huánuco. *Investigación Valdizana*, 42-51.
- Robles Urgilez, M. D. (31 de Julio de 2024). Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana. *Journal of American Health*, 7(2). Obtenido de <https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/204>
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín Izquierdo, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicol*, 72-80.
- Song, X., Hu, X., Ji, P., Li, Y., Chi, G., & Song, Y. (2012). Fitorremediación de suelos agrícolas contaminados con cadmio mediante el hiperacumulador *Beta vulgaris* L. var. Cicla. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 623-626.

- Stazi, S. R., Allevato, E., Marabottini, R., Digiesi, L., annini, A., & Chilosi, G. (2022). Uso de compost en la mitigación de la absorción de arsénico en Beta vulgaris L. var. Cicla. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- UAEH. (05 de enero de 2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *Tepexi*, 9(17), 38-39. doi:<https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0002-7660-7234>
- UE. (s.f.). *european-union.europa.eu/*. Obtenido de [https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values\\_es](https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_es)
- UNA La Molina. (2019). Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (Beta vulgaris var. Cycla) cv. Fordhook Giant. Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4095>
- UNEMI ONLINE. (18 de noviembre de 2019). *sga.unemi.edu.ec*. Obtenido de [https://sga.unemi.edu.ec/media/recursotema/Documento\\_202043015231.pdf](https://sga.unemi.edu.ec/media/recursotema/Documento_202043015231.pdf)
- Valadez, A. (1993). *Producción de hortalizas*. México: LIMUSA.
- Vega Castro, D. A., & Salamanca, Á. P. (01 de Enero de 2016). Contenidos de plomo en acelga común Beta vulgaris L., producida en el contexto de la agricultura urbana (Bogotá, Colombia). *Luna Azul*(42), 44-53. doi:10.17151/luaz.2016.42.5
- Yañez, L., Alfaro, J., & Bovi Mitre, G. (2018). Absorción de arsénico del suelo y el agua por dos variedades de acelga (Beta vulgaris L.): Un riesgo potencial para la salud humana. *Journal of Environmental Management*, 23-30.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Informe de Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL  
ALCIDES CARRION  
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION**

**INFORME DE LABORATORIO DE ANÁLISIS QUIMICO DE HOJAS DE ACELGA  
(BETA VULGARIS VAR. CICLA) Y SUELO**

---

#### 1. DATOS GENERALES

| Ítem                     | Descripción                                                                    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de muestra          | Hojas de acelga (Beta vulgaris var. cicla) y en el suelo de cultivo            |
| Lugar de muestreo        | Zona rural y urbana de Huariaca, provincia y Región Pasco                      |
| Fecha de muestreo        | 20 de noviembre de 2024                                                        |
| Responsable del muestreo | Dr. Luis Rolando Murga Paulino                                                 |
| Laboratorio de análisis  | Laboratorio de Aguas y Suelos-ICI– Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión |
| Código de muestra        | LP-AG-020-2024                                                                 |
| Solicitantes             | Bach. Karen Adaia, CALIXTO CUBA<br>Bach. Lillian Natalia, JIMENEZ FERNANDEZ    |

---

#### 2. OBJETIVO

Evaluar la concentración de metales pesados (Cd, Pb, Cu y As) presentes en las hojas de acelga (Beta vulgaris var. cicla) y en el suelo de cultivo, con el fin de determinar el nivel de contaminación metálica y su posible relación con el uso de fertilizantes nitrogenados y compost, garantizando así la inocuidad y seguridad del producto para el consumo humano.

---

#### 3. METODOLOGÍA

- El análisis de metales pesados en muestras de *Beta vulgaris var. cicla* (acelga) y suelos asociados se realizó empleando técnicas instrumentales y procedimientos estandarizados,

de acuerdo con los métodos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Norma ISO 11047:1998.

- Las muestras de acelga fueron lavadas con agua destilada para eliminar partículas superficiales de polvo y tierra, luego se secaron a 60 °C hasta peso constante. Posteriormente, se molieron y tamizaron para obtener un material homogéneo.
- Las muestras de suelo fueron secadas al aire, desmenuzadas y tamizadas a una malla de 2 mm para su análisis químico.
- Se realizó una digestión húmeda de 0,5 g de muestra vegetal y 1 g de suelo utilizando una mezcla de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) en proporción 3:1. Las digestiones se llevaron a cabo en una placa calefactora hasta obtener un extracto claro, el cual fue filtrado y aforado a 25 mL con agua desionizada.

#### **Determinación instrumental**

Los elementos cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y arsénico (As) se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS) con llama de aire-acetileno, siguiendo las metodologías de referencia:

- Cd y Pb: Método EPA 3050B/7000B
- Cu: Método EPA 3050B/6010B
- As: Método EPA 3050B/7062, utilizando generación de hidruros

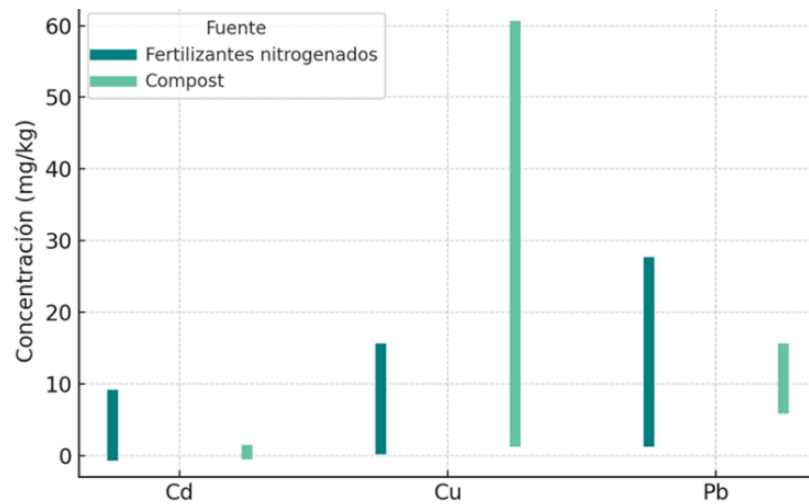
---

## **4. RESULTADOS**

**Resultados de los elementos inorgánicos en los fertilizantes nitrogenados y compost son los siguientes:**

| <b>Metal</b> | <b>Fertilizantes Nitrogenados (mg/Kg)</b> | <b>Compost (mg/Kg)</b> |
|--------------|-------------------------------------------|------------------------|
| Cd           | 0,05 – 8,5                                | 0,3 – 0,8              |
| Cu           | 1 – 15                                    | 2 – 60                 |
| Pb           | 2 – 27                                    | 6,6 – 15               |
| As           | --                                        | --                     |





Resultados de los elementos inorgánicos en las hojas y en el suelo son los siguientes:

| Metal | Resultados máx. en<br>acelga en las hojas<br>(mg/kg) | Resultados de metales en<br>Suelo (mg/Kg) |
|-------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Cd    | 0.049                                                | 0.078                                     |
| Pb    | 0.025                                                | 0.506                                     |
| Cu    | 0.75                                                 | 2.503                                     |
| As    | 0.034                                                | --                                        |

## Anexo B

### Panel Fotográfico de Trabajo en Campo

- Implantación del cultivo por siembra de Beta vulgaris var. cicla (acelga)



- Aplicación de riego parcelario mediante el aprovechamiento hídrico del río Huallaga.





- Evaluación de variables morfométricas de Beta vulgaris var. cicla (acelga).



- Extracción de muestra de suelo.



- Recolección de muestras (hojas y suelo) colocando la rúbrica correspondiente para su análisis en laboratorio.



- Traslado de muestras (hojas y suelo) hacia el laboratorio.





## Anexo C

### Panel Fotográfico de Trabajo en Laboratorio

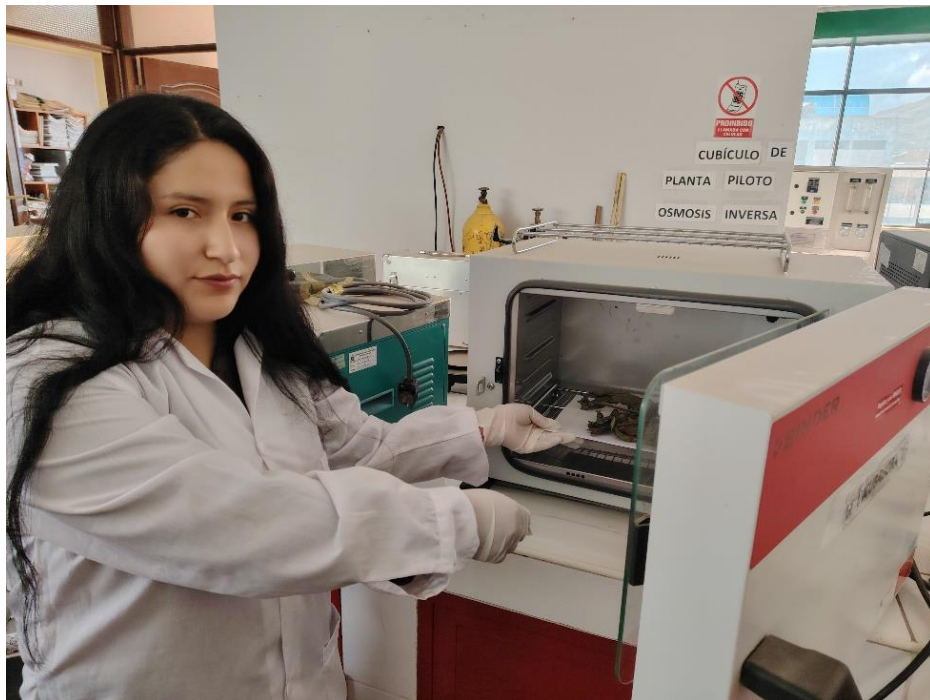
- Selección del método de análisis de muestra.



- Preparación de la muestra.



- Tratamiento previo y digestión de la muestra por cada metal.





- Preparación de soluciones estándar.

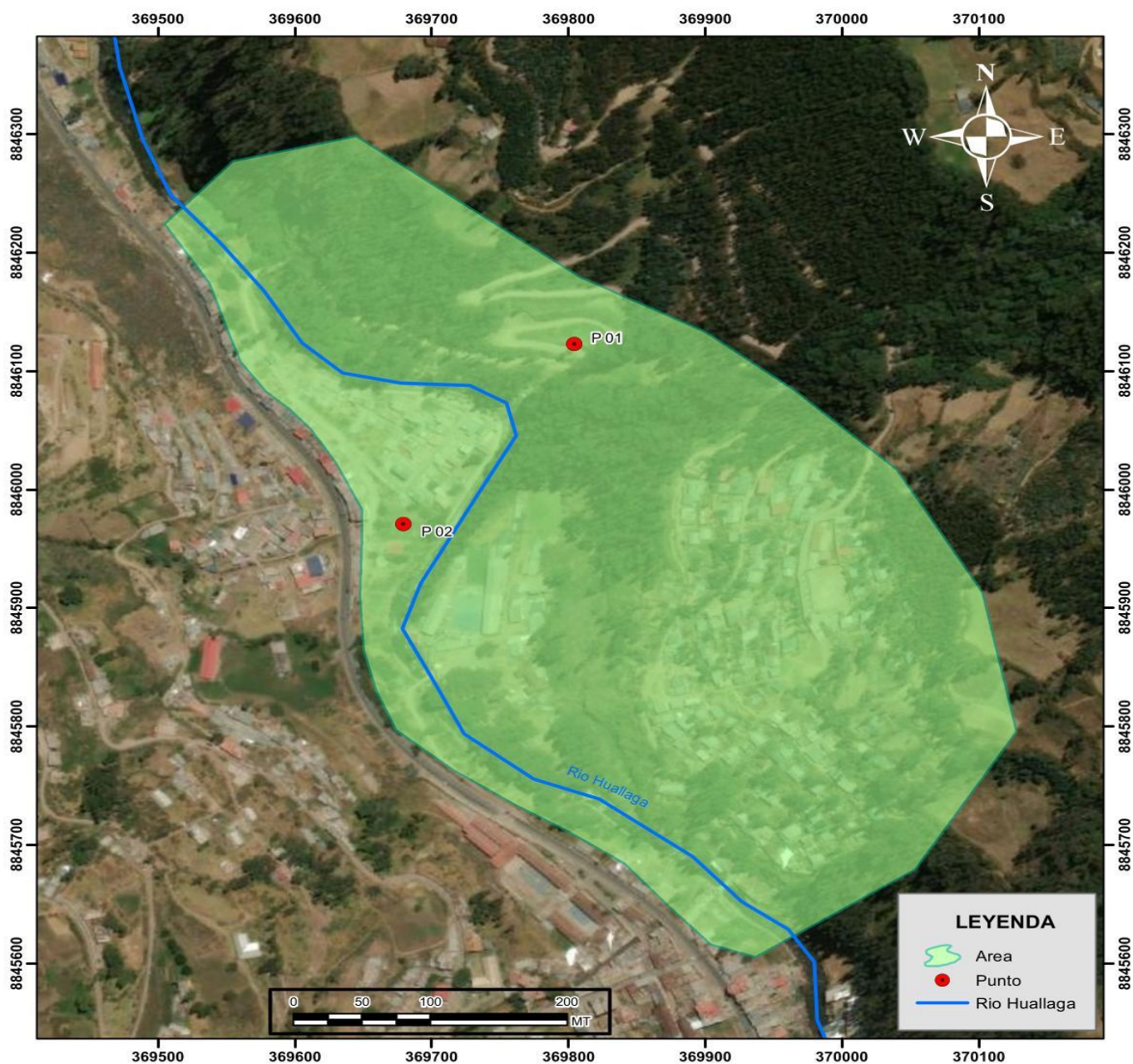


- Cuantificación de Cd, Pb, Cu y As mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica (AAS) con atomización en llama de aire-acetileno.



## Anexo D

### Mapa de Ubicación y Delimitación Espacial de Zona de Estudio y Puntos de Muestreo



|                                                                                                                                          |                     |                                                                       |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION</b> |                     |                                                                       |                              |
| <b>MAPA DE UBICACION</b>                                                                                                                 |                     |                                                                       |                              |
| Elaborado:<br>Jimenez Fernandez, Lilian Natalia<br>Calixto Cuba, Karen                                                                   |                     | Revisado:<br>Jimenez Fernandez, Lilian Natalia<br>Calixto Cuba, Karen |                              |
| Datum: WGS 84<br>Proyección: UTM Zona 18 S                                                                                               | Escala:<br>1: 4,000 | Fecha:<br>SEPTIEMBRE, 2025                                            | Formato de impresión:<br>A 3 |
| Fuente:<br>PROPIA                                                                                                                        |                     |                                                                       | Mapa:<br><b>P-01</b>         |