



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL CULTIVO DE PALTO (PERSEA AMERICANA) DE LA LOCALIDAD SOYSONGO, PROVINCIA DE NASCA, DEPARTAMENTO ICA”

Presentado por:

Bach. RODRIGO VARGAS QUISPE

Autor de la tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 1 % (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 29 de enero de 2026

Nº de Recibo: 20155413

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
F. Cano
Dr. FERNANDO EDUARDO CANO LEGUA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

RODRIGO VARGAS QUISPE

**1-TESIS EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO
EN EL CULTIVO DE PALTO (PERSEA AMERICANA) DE LA .doc**

Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:550304101

52 páginas

Fecha de entrega

28 ene 2026, 2:48 p.m. GMT-5

12.288 palabras

70.337 caracteres

Fecha de descarga

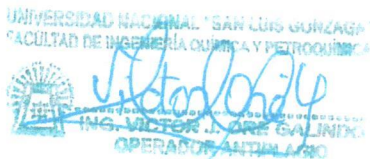
28 ene 2026, 3:21 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

1-TESIS EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL CULTIVO DE PALTO (PERSEA AM....doc

Tamaño del archivo

932.9 KB



1% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 40 palabras)
- ▶ Abstract
- ▶ Methods and Materials

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
824 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

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

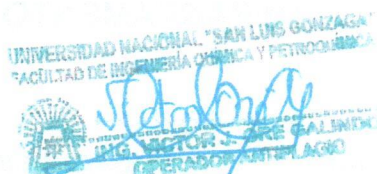
Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
	repositorio.unica.edu.pe	1%
2	Internet	
	mural.uv.es	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



**"EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL
CULTIVO DE PALTO (PERSEA AMERICANA) DE LA
LOCALIDAD SOYSONGO, PROVINCIA DE NASCA,
DEPARTAMENTO ICA"**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:
CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Autor: BACH. RODRIGO VARGAS QUISPE

Asesor: Dr. ROSA LUZ GALINDO PASACHE

ICA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL
CULTIVO DE PALTO (PERSEA AMERICANA) DE LA
LOCALIDAD SOYSONGO, PROVINCIA DE NASCA,
DEPARTAMENTO ICA”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:
CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR:
BACH. RODRIGO VARGAS QUISPE

ASESOR:
DR. ROSA LUZ GALINDO PASACHE

ICA – PERÚ
2025

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, fuente de mi fortaleza, a mis padres, cuyo apoyo y ejemplo han sido mi mayor inspiración, y a mis hermanos, por su constante aliento. Gracias por estar siempre a mi lado en este camino.

RODRIGO VARGAS QUISPE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza para completar esta etapa. A mis padres, por su amor incondicional y su ejemplo, a mis amigos y compañeros, por su apoyo y motivación en cada paso del camino. También expreso mi gratitud a mis profesores y mentores, quienes me guiaron y compartieron sus conocimientos. Finalmente, gracias a todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron a este logro.

RODRIGO VARGAS QUISPE

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE.....	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Situación Problemática	12
1.2. Antecedentes	13
1.2.1. A nivel internacional.....	13
1.2.2. A nivel nacional.....	14
1.2.3. A nivel local	15
1.3. Bases teóricas	16
1.3.1. Contaminación por metales pesados.....	16
1.3.2. El cadmio como metal pesado contaminante	16
1.3.3. Toxicidad del cadmio en los cultivos agrícolas	16
1.3.4. Bioacumulación y transferencia del cadmio en <i>Persea americana</i> ...	16
1.3.5. Normativas y límites máximos permitidos de cadmio	17
1.3.6. Relevancia ambiental y socioeconómica.....	17
1.3.7. Cadmio	17
1.3.8. Cultivo de palto	17
1.3.9. Análisis de la contaminación por cadmio	18
1.3.10. Efectos del cadmio en la salud humana	18
1.3.11. Límites máximos permisibles de cadmio	18
1.4. Formulación del problema.....	19
1.4.1. Problema general.	19
1.4.2. Problemas específicos.....	19
1.5. Objetivos de la investigación.....	19
1.5.1. Objetivo general	19
1.6. Objetivos específicos.....	19

1.6.1. Objetivo específico 1	19
1.6.2. Objetivo específico 2	20
1.7. Hipótesis de la investigación	20
1.7.1. Hipótesis general	20
1.7.2. Hipótesis específicas.....	20
1.7.3. Variables de investigación.....	20
1.8. Justificación e importancia de la investigación	22
1.8.1. Justificación.....	22
1.8.2. Importancia:.....	22
1.9. Definiciones conceptuales.	22
1.9.1. Cadmium (Cd).....	22
1.9.2. Contaminación por metales pesados en cultivos agrícolas	23
1.9.3. Bioacumulación en plantas	23
1.9.4. Palto (<i>Persea americana</i>).....	23
1.9.5. Normativa internacional sobre cadmio en alimentos	23
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	25
2.1. Área de estudio	25
2.2. Tipo, nivel y diseño de investigación.....	26
2.2.1. Tipo de investigación	26
2.2.2. Nivel de investigación.....	27
2.2.3. Diseño de investigación	27
2.3. Población y muestra	27
2.3.1. Población.....	27
2.3.2. Muestra.....	27
2.3.3. Técnicas de recolección de datos	27
2.3.4. Instrumentos de recolección de datos	28
2.3.5. Técnicas de procesamiento de datos	28
2.3.6. Análisis e interpretación de datos	28
III. RESULTADOS	29
2.1. Evaluar la concentración de cadmio y su influencia en el cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.....	29

2.2.	Evaluar la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) que influye en la calidad del cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.....	35
2.3.	Cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.	38
IV.	DISCUSIÓN	43
4.1.	Discusión de resultados de la concentración de cadmio y su influencia en el cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.	43
4.2.	Discusión de resultados de la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) y la calidad del cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.	44
4.3.	Discusión de resultados de la concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto en el cultivo de palto (<i>Persea americana</i>) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.....	44
V.	CONCLUSIONES	46
VI.	RECOMENDACIONES.....	47
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable	21
Tabla 2. Comparativa de tratamientos para la mitigación de cadmio en fruto de palto	30
Tabla 3. Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva).....	33
Tabla 4. Tasa de transferencia (suelo-hoja).....	36
Tabla 5. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	37
Tabla 6. concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto	39
Tabla 7. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio se realizó en Soysongo, provincia de Nasca (Ica, Perú)	26
Figura 2. Distribución de t-Student para la concentración del cadmio en el cultivo de palto (Persea americana) en la localidad de Soysongo.....	34

RESUMEN

El **objetivo** fue evaluar la acumulación de cadmio (Cd) en los tejidos vegetales (hojas y frutos) y su influencia en la calidad del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica. **Estrategia metodológica:** El estudio se desarrolló en parcelas experimentales utilizando tres tratamientos: biofertilizantes, microorganismos fijadores de nitrógeno y un grupo testigo sin intervención. Se aplicó una estrategia metodológica cuantitativa, experimental, con diseño completamente al azar, tomando mediciones periódicas en los días 0, 28, 56, 91 y 119. **Resultados:** Los análisis se centraron en la concentración de cadmio en el suelo, hoja y fruto, así como en las tasas de transferencia entre estos compartimentos (suelo-hoja, hoja-fruto y suelo-fruto). Para validar las diferencias entre tratamientos, se utilizó la prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas iguales. Los resultados indicaron que el tratamiento con *Azospirillum brasilense* presentó una mayor tasa de transferencia del cadmio desde la hoja hacia el fruto (promedio 12.09%) y mayor concentración en el fruto (0.036 ppm), frente a *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* (promedio 8.59%; 0.029 ppm) y el testigo (promedio 8.13%; 0.034 ppm). Sin embargo, las diferencias entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). **Discusión de resultados:** Desde un enfoque científico, se observó que el uso de microorganismos beneficiosos puede modular la dinámica de absorción y translocación del cadmio dentro de la planta. La bioacumulación de cadmio en frutos se mantuvo por debajo del límite máximo permisible establecido por la Comisión del Codex Alimentarius (0.05 ppm), lo que permite considerar al fruto como apto para el consumo, aunque con márgenes reducidos de seguridad en ciertos casos. **Conclusión:** la acumulación de cadmio en los tejidos del palto varía según el tratamiento aplicado, sin generar diferencias significativas entre grupos, pero con implicancias agronómicas y sanitarias relevantes. Se recomienda fortalecer el monitoreo de metales pesados en suelos agrícolas y promover el uso de bioinsumos que reduzcan la movilidad del cadmio hacia los frutos, garantizando la inocuidad del producto final y la sostenibilidad del cultivo en zonas vulnerables como Soysongo.

Palabras clave: Cadmio; Palto (*Persea americana*); Bioacumulación; Calidad del fruto; Transferencia suelo-planta.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the accumulation of cadmium (Cd) in plant tissues (leaves and fruits) and its influence on the quality of the avocado (*Persea americana*) crop in the town of Soysongo, Nazca province, department of Ica. Methodological strategy: The study was carried out in experimental plots using three treatments: biofertilizers, nitrogen-fixing microorganisms, and a control group without intervention. A quantitative, experimental methodological strategy was applied, with a completely randomized design, taking periodic measurements on days 0, 28, 56, 91, and 119. Results: The analyses focused on cadmium concentration in the soil, leaves, and fruits, as well as on the transfer rates between these compartments (soil-leaf, leaf-fruit, and soil-fruit). To validate the differences between treatments, the Student t test for two independent samples with equal variances was used. The results indicated that the *Azospirillum brasilense* treatment presented a higher rate of cadmium transfer from the leaf to the fruit (average 12.09%) and higher concentration in the fruit (0.036 ppm), compared to *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* (average 8.59%; 0.029 ppm) and the control (average 8.13%; 0.034 ppm). However, the differences between treatments were not statistically significant ($p > 0.05$). Discussion of results: From a scientific perspective, it was observed that the use of beneficial microorganisms can modulate the dynamics of cadmium absorption and translocation within the plant. Cadmium bioaccumulation in fruits remained below the maximum permissible limit established by the Codex Alimentarius Commission (0.05 ppm), which allows the fruit to be considered suitable for consumption, although with reduced safety margins in certain cases. Conclusion: Cadmium accumulation in avocado tissues varies according to the treatment applied, without generating significant differences between groups, but with significant agronomic and health implications. It is recommended to strengthen the monitoring of heavy metals in agricultural soils and promote the use of bioinputs that reduce cadmium mobility to the fruit, ensuring the safety of the final product and the sustainability of the crop in vulnerable areas such as Soysongo.

Keywords: *Cadmium; Avocado (Persea americana); Bioaccumulation; Fruit quality; Soil-plant transfer.*

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto del siglo XXI, uno de los desafíos más urgentes que enfrenta la humanidad es la contaminación de los suelos y cultivos por metales pesados, los cuales representan una amenaza directa a la seguridad alimentaria, la salud pública y la sostenibilidad agrícola. El cadmio (Cd), en particular, es un metal tóxico que puede acumularse en los tejidos vegetales, incluyendo frutos de consumo humano como el palto (*Persea americana*), afectando la calidad del alimento y generando riesgos crónicos para la salud. Diversos estudios científicos han evidenciado que los suelos agrícolas pueden contaminarse por la actividad minera, el uso de fertilizantes fosfatados y prácticas agrícolas inadecuadas, favoreciendo la bioacumulación de este metal en productos de exportación estratégica para el Perú, como el palto.

Esta problemática está estrechamente relacionada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas, especialmente con el ODS 2 (Hambre cero), ODS 3 (Salud y bienestar), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres). En efecto, garantizar alimentos inocuos y sostenibles, así como proteger los ecosistemas agrícolas frente a la contaminación, constituye una prioridad internacional. En este marco, evaluar científicamente la concentración de cadmio en cultivos de importancia económica no solo responde a una necesidad local, sino también a un compromiso global con el desarrollo sostenible.

La presente investigación, titulada “*Evaluación de la concentración de cadmio en el cultivo de palto (Persea americana) de la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica*”, se enmarca en esta realidad ambiental y agroalimentaria. Se fundamenta en la necesidad de monitorear los niveles de metales pesados en cultivos estratégicos para prevenir impactos en la salud humana, evitar restricciones comerciales por incumplimiento de límites internacionales y promover prácticas agrícolas responsables. Esta evaluación también responde al llamado de la ciencia del siglo XXI de adoptar enfoques integrales de gestión ambiental, basados en evidencia, con el fin de proteger tanto al consumidor como al ecosistema agrícola.

Asimismo, se reconoce que los suelos del sur del Perú, particularmente en zonas como Nasca, pueden estar expuestos a actividades extractivas o prácticas agrícolas intensivas que

favorecen la migración y acumulación de metales pesados. En este sentido, la investigación contribuye a generar información científica actualizada que pueda orientar decisiones de política ambiental, agrícola y sanitaria, así como a fortalecer las capacidades locales para enfrentar los retos de la contaminación en cultivos de exportación en un contexto de cambio climático, presión demográfica y exigencias globales sobre calidad alimentaria.

1.1. Situación Problemática

La presencia de cadmio (Cd) en sistemas agrícolas constituye un grave problema ambiental y de salud pública, especialmente en regiones con actividad minera y agricultura intensiva como Ica, Perú. Estudios recientes han demostrado que los suelos de la provincia de Nasca presentan concentraciones elevadas de metales pesados debido a la lixiviación de relaves mineros y al uso de fertilizantes fosfatados con impurezas de Cd[1], [2]. Esta contaminación se ve agravada por el riego con aguas no tratadas, que incrementan la biodisponibilidad del metal para los cultivos [3]. El palto (*Persea americana*), al ser un cultivo de raíces profundas y alta capacidad de acumulación de metales, representa un riesgo significativo de transferencia de Cd a la cadena alimentaria[4].

Estudios de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) confirman que la exposición crónica al Cd está asociada con disfunción renal, osteoporosis y cáncer, estableciendo límites máximos permisibles en alimentos entre 0.05 y 0.2 mg/kg [5]. En el contexto peruano, la minería informal y el uso indiscriminado de insumos agrícolas han exacerbado este problema, como lo reporta la Defensoría del Pueblo en conflictos socioambientales en Ica [6]. Esta problemática se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3 (Salud y bienestar), que busca reducir enfermedades derivadas de contaminantes ambientales [7].

La situación en Soysongo es particularmente crítica debido a la expansión de la agricultura en zonas con suelos potencialmente contaminados. Investigaciones previas en la cuenca del Río Grande han reportado niveles de Cd que superan los 1.5 mg/kg en suelos agrícolas[8], excediendo el límite máximo permisible establecido por la FAO (0.3 mg/kg para suelos cultivables) [9]. Esto no solo amenaza la sostenibilidad de los cultivos, sino que también pone en riesgo la salud de los agricultores y consumidores, ya que la ingesta crónica de Cd se asocia con

nefrotoxicidad, cáncer y trastornos óseos [5].

Además, Perú es el segundo exportador mundial de palto, y mercados internacionales como la Unión Europea y Estados Unidos han establecido regulaciones estrictas sobre el contenido de Cd en alimentos (0.05–0.1 mg/kg) [5]. La falta de estudios locales sobre la bioacumulación de Cd en paltos de Soysongo podría generar rechazo de lotes exportables, afectando la economía regional. Esta problemática se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2, 3 y 12, que buscan garantizar seguridad alimentaria, salud pública y producción responsable[7]. Por lo tanto, evaluar la concentración de Cd en este cultivo es urgente para implementar medidas de mitigación y proteger tanto los ecosistemas como la población.

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel internacional

El cadmio (Cd) constituye un componente natural de los suelos, cuyas concentraciones basales están determinadas por factores geogénicos, particularmente por la composición mineralógica del material parental [1]. Sin embargo, la intervención humana ha alterado significativamente estos niveles naturales mediante actividades como la explotación minera, prácticas agrícolas intensivas con aplicación excesiva de fertilizantes fosfatados (que contienen Cd como impureza), y procesos industriales no controlados [10]. Entre los metales pesados, el Cd presenta características toxicológicas críticas: elevada movilidad en sistemas edáficos, prolongada persistencia ambiental y marcada capacidad de bioacumulación en organismos vivos [2]. Estas propiedades fisicoquímicas facilitan su transferencia a través de las cadenas tróficas, representando un peligro potencial para la salud humana cuando contamina cultivos destinados al consumo [11].

En el escenario agrícola peruano, la palta (*Persea americana*) ha adquirido un papel estratégico como uno de los principales cultivos destinados a la exportación. No obstante, la presencia de cadmio (Cd) en los suelos agrícolas representa una problemática ambiental y sanitaria en aumento. Investigaciones desarrolladas en otras regiones productoras evidencian niveles elevados de este metal, incluso en áreas que no presentan fuentes claras de contaminación antrópica, lo cual sugiere que el origen geogénico,

como el tipo de roca madre, podría desempeñar un rol determinante en su concentración. Esta situación cobra especial relevancia debido a la capacidad de las plantas para absorber cadmio del suelo y transportarlo hacia los tejidos comestibles, comprometiendo así la inocuidad alimentaria y la competitividad comercial de productos agrícolas como la palta.

La palta (*Persea americana*) se ha consolidado como un cultivo de importancia estratégica para la agroexportación peruana, representando una fuente significativa de ingresos para el país[2]. Sin embargo, estudios recientes alertan sobre el creciente problema de contaminación por cadmio (Cd) en suelos agrícolas destinados a este cultivo, situación que plantea serios desafíos tanto ambientales como de salud pública. Investigaciones realizadas en diversas regiones productoras han reportado concentraciones elevadas de este metal pesado, incluso en zonas donde no se identifican fuentes antropogénicas evidentes, lo que indica que la geología local - específicamente la composición mineralógica del material parental- podría ser un factor determinante en la presencia natural de Cd en estos suelos[12]. Este aspecto reviste particular importancia considerando los mecanismos fisiológicos que permiten a las plantas de palta absorber el Cd desde el suelo y distribuirlo hacia los órganos comestibles, incluyendo los frutos. Dicho fenómeno no solo representa un riesgo potencial para la inocuidad alimentaria, sino que también amenaza la competitividad internacional del producto, especialmente frente a mercados con estrictas regulaciones sobre contenido de metales pesados en alimentos[13]. La evidencia científica disponible sugiere que esta problemática requiere de una evaluación exhaustiva que considere tanto los factores geogénicos como antropogénicos involucrados en la acumulación de Cd en los sistemas de producción de palta, con el fin de garantizar la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y el acceso a mercados internacionales.

1.2.2. A nivel nacional

En el contexto agrícola peruano, la acumulación de cadmio (Cd) en suelos destinados al cultivo de palto (*Persea americana*) presenta un comportamiento diferenciado según su origen. Cuando el Cd proviene de fuentes naturales, su

baja solubilidad limita su movilidad y biodisponibilidad para las plantas[13]. Sin embargo, cuando su presencia deriva de actividades antropogénicas (como el uso de fertilizantes fosfatados, aguas residuales o residuos mineros), el metal tiende a presentarse en formas químicas más solubles, incrementando su absorción por los cultivos. Este fenómeno adquiere especial relevancia en los suelos analizados en el presente estudio, donde el cultivo de palto, *un sistema agrícola permanente*, favorece la acumulación progresiva de Cd, aumentando el riesgo de transferencia a la cadena alimentaria y, por ende, su impacto en la seguridad agroalimentaria y el comercio de exportación[13].

Un estudio reciente realizado en Luricocha, Huanta, por Quispe et al, evaluó la concentración de metales pesados en suelos cultivados con palto, encontrando que los niveles de plomo (Pb) y cadmio (Cd) se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en las normas peruanas de calidad ambiental para suelos agrícolas[14]. Los resultados mostraron que la textura del suelo influye significativamente en la acumulación de estos metales: los suelos arcillosos presentaron las mayores concentraciones de Pb (49.23 mg/kg) y Cd (0.331 mg/kg), seguidos por los suelos franco-arcillosos (45.71 mg/kg de Pb y 0.330 mg/kg de Cd). A pesar de estas variaciones, el estudio concluyó que los cultivos de palto en estas condiciones mantuvieron rendimientos aceptables, sin superar los umbrales de riesgo para la seguridad alimentaria. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar las características edáficas, particularmente la textura del suelo, en la evaluación de la contaminación por metales pesados en sistemas agrícolas peruanos, así como en el diseño de estrategias de manejo y remediación cuando sea necesario[14].

1.2.3. A nivel local

Existe una ausencia de investigaciones sistemáticas por parte de universidades locales que analicen de manera directa la concentración de cadmio en el cultivo de palto en esta zona específica, lo que resalta la pertinencia y originalidad del presente estudio.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Contaminación por metales pesados

La contaminación por metales pesados en suelos y cultivos puede provenir de fuentes naturales o antropogénicas. Las fuentes naturales incluyen la weathering de rocas y minerales, mientras que las fuentes antropogénicas incluyen la aplicación de fertilizantes y pesticidas químicos, la quema de combustibles fósiles y la disposición de residuos industriales.

1.3.2. El cadmio como metal pesado contaminante

El cadmio (Cd) es un elemento químico clasificado como metal pesado altamente tóxico, incluso a bajas concentraciones. Su origen en las tierras agrícolas puede inferirse de las acciones hechas por el hombre, como el uso de fertilizantes fosfato excesivos, aguas residuales, pesticidas, minería e emisiones industriales[15]. Este metal es fácilmente absorbido por las raíces de las plantas y puede acumularse en tejidos comestibles, lo que al ingresar a la cadena alimentaria es un riesgo potencial de salud humana[16].

1.3.3. Toxicidad del cadmio en los cultivos agrícolas

Varios estudios han demostrado que el cadmio afecta el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, ya que interrumpe los procesos fisiológicos esenciales, como la fotosíntesis, el metabolismo de los nutrientes y la actividad enzimática. En el caso de Palto (*Persea americana*), su bioacumulación puede depender de factores como la planta[17]. La presencia de cadmio en el suelo puede causar estrés oxidativo, causar clorosis de la hoja y reducir la calidad de la fruta[18].

1.3.4. Bioacumulación y transferencia del cadmio en *Persea americana*

El palto, una gran exportación de la importancia de la planta en la región de Ica, tiene la capacidad de absorber metales pesados en el suelo a través del sistema de raíces. Estudios previos indican que la concentración de cadmio puede variar mucho entre los tejidos (hojas, tallos, raíces y frutas) con mayor acumulación de raíces y frutas más bajas, aunque depende de la disponibilidad de metal en el suelo y el sistema de control agrícola[19]. La supervisión de cadmio en frutos de palto es muy importante para garantizar la seguridad alimentaria y cumplir con las reglas de exportación

internacional[20].

1.3.5. Normativas y límites máximos permitidos de cadmio

Las organizaciones internacionales, como la FAO/OMS, han establecido las restricciones máximas de cadmio permitidas para el consumo humano a través de los alimentos del código. En el caso de la fruta, el límite máximo varía de 0.05 a 0.10 mg/kg de peso fresco, dependiendo del tipo de fruta [21]. De lo contrario, puede limitar los productos agrícolas, como el aguacate a las exportaciones, a mercados como la Unión Europea [22].

1.3.6. Relevancia ambiental y socioeconómica

La determinación de los niveles de cadmio en los cultivos de palta en áreas como Soysongo (Nasca, Ica) adquiere gran importancia debido al aumento de actividades mineras en la zona y su potencial impacto en la contaminación de los suelos agrícolas. Asimismo, dado que la palta es uno de los principales productos de agroexportación en Perú, garantizar su inocuidad resulta fundamental tanto para la estabilidad económica de los productores como para mantener la reputación del país en los mercados globales[23].

1.3.7. Cadmio

El cadmio es un metal pesado tóxico y de transición, sin función biológica conocida, que se libera principalmente por actividades industriales y agrícolas, y que representa un riesgo significativo para la salud humana y los ecosistemas debido a su toxicidad, acumulación y larga vida media en el ambiente y en los organismos[15].

1.3.8. Cultivo de palto

El palto (*Persea americana*) es una especie frutal importante en la región de Ica, Perú. El palto requiere climas tropicales o subtropicales, siendo especialmente sensible a las bajas temperaturas. Las zonas con inviernos suaves y temperaturas mínimas superiores a 10 °C en primavera son ideales. En la Península Ibérica, Andalucía y la Comunidad Valenciana son las regiones más aptas, mientras que, en otros países, como Camerún e India, las condiciones climáticas también favorecen su cultivo en áreas

específicas[24].

1.3.9. Análisis de la contaminación por cadmio

La espectroscopía de absorción atómica (AAS) es un método común para analizar la concentración de cadmio en suelos y plantas. La evaluación de la contaminación por cadmio en suelos y cultivos requiere considerar factores como el pH del suelo, la temperatura y la humedad.

1.3.10. Efectos del cadmio en la salud humana

La exposición prolongada al cadmio puede causar daños graves a la salud humana, incluyendo:

- Problemas renales
- Problemas óseos
- Problemas neurológicos
- Cáncer.

1.3.11. Límites máximos permisibles de cadmio

El límite máximo permisible de la palta suele ser de 0.05 mg/kg (UE y más países latinoamericanos). La adherencia a estos estándares es la clave para la exportación y el consumo seguro. Si su rendimiento está en áreas con un riesgo de contaminación, requiere medidas preventivas del suelo[25].

Normativas en Países Latinoamericanos

- *Perú (Digesa)*: Aguacate: 0.05 mg/kg (similar a la UE).
- *Chile (Reglamento Sanitario)*: Frutas: 0.05 mg/kg.
- *México (NOM-247-SSA1-2018)*: Alimentos no especificados: Usa referencia del Codex.

Factores que Aumentan el Cadmio en Paltos

- *Suelos ácidos ($pH < 5.5$)*: Favorecen la absorción de Cd por la planta.
- *Fertilizantes fosfatados*: Algunos contienen cadmio como impureza (superfosfatos).
- *Aguas de riego contaminadas*: Por minería o industria cercana.

Recomendaciones para Minimizar Cadmio

- *Análisis de suelo y agua:* Antes de plantar, verificar niveles de Cd (límite seguro en suelo: <1.4 mg/kg, según normativa nacional).
- *Ajustar pH del suelo:* Mantenerlo >6.0 para reducir disponibilidad de Cd.
- *Fertilizantes:* Usar fuentes bajas en Cd (fosfato diamónico purificado).
- *Buenas prácticas agrícolas:* Evitar aguas residuales no tratadas

1.4. Formulación del problema.

1.4.1. Problema general.

¿Cómo influye la concentración de cadmio en el cultivo de palto (*Persea americana*) de la localidad Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica?

1.4.2. Problemas específicos.

Problema específico 1

¿Cómo la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas, frutos) **influye significativamente** en el cultivo de palto (*Persea americana*) de la localidad Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica?

Problema específico 2

¿Cómo la concentración de cadmio influye significativamente en la calidad del fruto en el cultivo de palto (*Persea americana*) de la localidad Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de cadmio y su influencia en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

1.6. Objetivos específicos

1.6.1. Objetivo específico 1

Evaluar la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) que influye en la calidad del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de

Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

1.6.2. Objetivo específico 2

Evaluar la concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

La concentración de cadmio influye en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

1.7.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

La acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) influye en la calidad del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

Hipótesis específica 2

La concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

1.7.3. Variables de investigación

Variable Independiente (V.I.): “Concentración del Cadmio”.

Variable Dependiente (V.D.): “Cultivo de palto (*persea americana*)”.

Tabla 1. Operacionalización de variable

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	Estadístico e interpretación
VI: Concentración del Cadmio	“La concentración de cadmio es la cantidad de este metal pesado presente en un medio determinado (suelo, agua o tejido vegetal), expresada comúnmente en miligramos por kilogramo (mg/kg). Su análisis permite evaluar la presencia, distribución y movilidad del contaminante en sistemas agrícolas y su potencial impacto sobre la salud humana y el ambiente”.	D_{I,1}: Acumulación de cadmio en tejidos vegetales (Determina el grado de absorción y distribución del cadmio en las diferentes partes de la planta).	I_{I,1,1} : Cd en hoja (mg/kg) I_{I,1,2} : Cd en fruto (mg/kg)	<i>Observación técnica:</i> Ficha de registro <i>Medición instrumental:</i> ficha de muestreo de campo, tubos y bolsas estériles para recolección de muestras, espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) para análisis de cadmio en laboratorio	<i>Estadístico:</i> t-student <i>Interpretación:</i> Si $p < 0.05 \rightarrow$ hay diferencia significativa en las medias de la concentración de cadmio.
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores		
VD: Cultivo de palto (persea americana)	“El cultivo de palto es un sistema agrícola que comprende el desarrollo vegetativo, fisiológico y productivo de la planta <i>Persea americana</i> , influenciado por factores edafoclimáticos, prácticas agrícolas y contaminantes ambientales como el cadmio, que pueden afectar su crecimiento, rendimiento y calidad del fruto”	D_{D,1}: Calidad del fruto (Determina si el fruto cumple con los requisitos de calidad e inocuidad para consumo y exportación).	I_{D,1,1} : Presencia de Cd en fruto (mg/kg)		

1.8. Justificación e importancia de la investigación

1.8.1. Justificación

La presente investigación busca evaluar científicamente los niveles de cadmio (Cd) en el cultivo de palto en Soysongo, Nasca, debido a su relevancia agroexportadora. Dada la creciente exigencia en seguridad alimentaria y normativas internacionales, como los límites de la UE para metales en frutas, este estudio resulta clave para asegurar la calidad del producto y el acceso a mercados globales. Además, aporta al conocimiento sobre la acumulación de metales en suelos áridos y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, promoviendo una agricultura responsable, la salud pública y la protección ambiental [26].

1.8.2. Importancia:

Esta investigación es relevante porque fortalece la vigilancia ambiental y la seguridad alimentaria en un escenario donde el palto se ha convertido en un producto clave para la agroexportación peruana. Analizar los niveles de cadmio en este cultivo es fundamental para proteger la salud pública, evitar pérdidas comerciales por incumplimiento de normativas internacionales y fomentar prácticas agrícolas sostenibles, sobre todo en regiones áridas como Soysongo, donde los suelos y el agua podrían estar afectados por contaminación natural o humana.

En un contexto global que demanda alimentos seguros y regulaciones más rigurosas sobre contaminantes, este estudio aporta información científica clave para entender la acumulación de metales pesados en cultivos, contribuyendo así a una mejor gestión ambiental y un desarrollo territorial sostenible [27].

1.9. Definiciones conceptuales.

1.9.1. Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal tóxico que no cumple funciones biológicas en los seres vivos y resulta peligroso incluso en mínimas cantidades. Aunque está presente de forma natural en el ambiente, su concentración en suelos cultivables ha aumentado debido a prácticas antropogénicas como la aplicación de fertilizantes fosforados, el riego con aguas residuales y la contaminación

industrial. Este metal puede ser absorbido por los cultivos e incorporarse a sus partes comestibles, representando un potencial riesgo para la salud de los consumidores [28]. Además, es clasificado como carcinógeno del grupo 1 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [29].

1.9.2. Contaminación por metales pesados en cultivos agrícolas

La bioacumulación de metales pesados en los cultivos constituye un desafío creciente para la agricultura contemporánea, ya que afecta procesos vegetales clave como el metabolismo fotosintético, la asimilación de nutrientes y el crecimiento celular. Su presencia en productos agrícolas no solo compromete la seguridad alimentaria, sino que también puede derivar en restricciones comerciales al superar los umbrales establecidos por las normativas internacionales de calidad [30].

1.9.3. Bioacumulación en plantas

La bioacumulación de cadmio en plantas consiste en la absorción y retención progresiva de este metal desde el suelo, influenciada por factores edáficos como acidez, textura y contenido orgánico, así como por características de la especie vegetal. Estudios en *Persea americana* revelan que, aunque este metal se acumula principalmente en raíces y follaje, bajo ciertas condiciones puede translocarse hasta los frutos, representando un potencial riesgo para la cadena alimenticia [31].

1.9.4. Palto (*Persea americana*)

El aguacate, particularmente la variedad Hass, representa un cultivo estratégico para la agroexportación peruana debido a su alta demanda internacional por sus atributos de calidad y durabilidad poscosecha. Este frutal, adaptado a condiciones subtropicales y áridas, debe garantizar la ausencia de contaminantes metálicos para cumplir con los exigentes requisitos de los mercados globales, donde los consumidores y autoridades sanitarias priorizan la seguridad alimentaria y la trazabilidad del producto [32].

1.9.5. Normativa internacional sobre cadmio en alimentos

La normativa europea (Reglamento UE 2021/1323) determina un umbral máximo de 0.05 mg/kg de cadmio en frutas frescas, cuyo incumplimiento

puede resultar en el rechazo de los envíos y significativas pérdidas comerciales para los productores [\[33\]](#). Esta normativa refuerza la necesidad de implementar monitoreos periódicos de contaminantes en zonas agrícolas.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en Soysongo, provincia de Nasca (Ica, Perú), una zona costera sur con clima árido-desértico. Presenta alta radiación solar, lluvias mínimas (<10 mm/año) y temperaturas entre 20 y 29 °C, condiciones ideales para el cultivo de palto (*Persea americana*), especialmente variedades resistentes a la sequía y calor. Soysongo se ubica en las coordenadas UTM 18L 492500 E – 8394500 N, a unos 550 m s.n.m., dentro de un frágil ecosistema desértico costero andino, vulnerable a actividades humanas como la agricultura y la minería.

Soysongo forma parte de un corredor agrícola clave para la producción de frutales de exportación, especialmente el palto, cuya superficie cultivada ha crecido significativamente debido a la alta demanda global y su reconocimiento como superalimento. No obstante, este crecimiento ha generado presiones ambientales, como el uso excesivo de fertilizantes, aguas de riego con alta mineralización y la cercanía a zonas mineras, lo que incrementa el riesgo de contaminación por metales pesados como el cadmio (Cd), amenazando la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola.

Soysongo fue seleccionado como área de estudio por su relevancia ambiental y económica. Ambientalmente, la presencia histórica de minería en cuencas cercanas supone un riesgo de contaminación difusa. Económicamente, la zona es clave para la agroexportación peruana, especialmente en Nasca (Ica), donde garantizar la inocuidad de los cultivos es crucial para mantener competitividad en mercados exigentes como la UE, que ha implementado regulaciones estrictas sobre niveles máximos de cadmio en alimentos.

La textura franco-arenosa del suelo, con baja retención de metales, favorece la absorción de cadmio por las raíces del palto. Esto exige analizar su bioacumulación en los tejidos, particularmente en el fruto, por el riesgo de ingreso a la cadena alimentaria. La zona es clave para monitorear la transferencia de contaminantes del suelo a cultivos de consumo humano.

El estudio en Soysongo contribuye a entender la acumulación de metales pesados en frutales tropicales en zonas áridas, además de apoyar el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y la prevención de riesgos para la salud pública y la seguridad alimentaria.

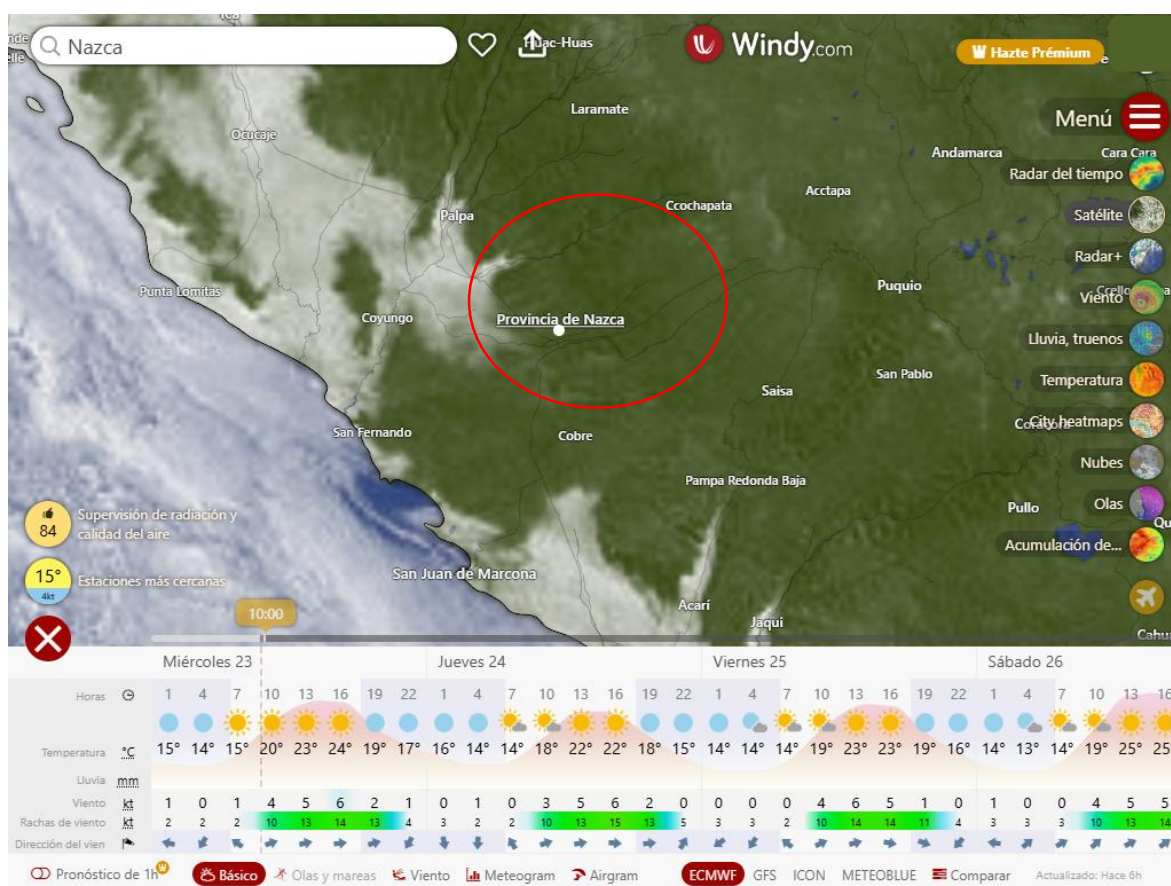


Figura 1. Área de estudio se realizó en Soysongo, provincia de Nasca (Ica, Perú)

2.2. Tipo, nivel y diseño de investigación

2.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **aplicada**, porque busca generar conocimientos orientados a la solución de un problema práctico, la posible presencia de cadmio (Cd) en el cultivo de palto y su impacto en la seguridad alimentaria y su evaluación en el contexto agrícola de Nasca[34]. La investigación aplicada tiene como finalidad transformar realidades mediante el uso del conocimiento científico [35].

2.2.2. Nivel de investigación

El nivel es **descriptivo-explicativo**. Es descriptivo porque se determina y caracteriza cuantitativamente la concentración de cadmio en distintas partes del cultivo de palto (suelo, hoja y fruto); y explicativo porque analiza las causas de su acumulación y su relación con el suelo o fuentes externas. El nivel explicativo permite identificar relaciones causa-efecto entre variables, lo que es esencial para interpretar procesos de bioacumulación [36].

2.2.3. Diseño de investigación

El diseño es **no experimental, longitudinal y cuantitativo**. Es no experimental porque no se manipulan variables, sino que se observan tal como ocurren en su contexto natural [37]. Es longitudinal porque la recolección de datos se realiza en varios momentos, y cuantitativo porque utiliza mediciones numéricas para evaluar la concentración de cadmio (en mg/kg) mediante análisis químicos estandarizados.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población está conformada por todos los cultivos de palto ubicados en parcelas agrícolas de la localidad de Soysongo, provincia de Nasca[38].

2.3.2. Muestra

La muestra está conformada por plantas de palto seleccionadas intencionalmente de acuerdo con criterios como accesibilidad, edad del cultivo y representatividad de la zona. Se emplea un muestreo no probabilístico intencional, usado comúnmente en estudios ambientales donde se requiere recolectar muestras de sitios específicos[39].

2.3.3. Técnicas de recolección de datos

La técnica principal es el muestreo de campo de tejidos vegetales y suelos, siguiendo protocolos de muestreo agronómico y ambiental establecidos por la FAO y normas nacionales del SENASA. Se complementa con la observación directa, utilizada para registrar condiciones del entorno agrícola (tipo de riego, manejo del suelo, cercanía a fuentes contaminantes, etc.) [35].

2.3.4. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos incluyen:

- **Ficha de recolección de muestras:** donde se anotan datos como coordenadas, tipo de tejido, peso y fecha de recolección.
- **Equipos de laboratorio certificados** para espectrofotometría de absorción atómica (AAS) o espectrometría de masas con plasma acoplado (ICP-MS), que permiten medir con alta precisión las concentraciones de cadmio en muestras vegetales y de suelo [40].

2.3.5. Técnicas de procesamiento de datos

Los datos obtenidos se procesan utilizando estadística descriptiva (promedios, desviación estándar, máximos y mínimos) y estadística inferencial (t de Student), con apoyo de software como Excel. Se calcula además la tasa de transferencia de cadmio (relación entre concentración en tejido vegetal y en el suelo) para determinar el nivel de acumulación [36] .

2.3.6. Análisis e interpretación de datos

El análisis se centra en comparar las concentraciones encontradas con los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius y la normativa peruana. Se interpretan los resultados considerando factores edáficos (pH, textura, contenido de materia orgánica) y prácticas agrícolas. Este enfoque permite discutir los riesgos potenciales para la salud y las implicancias para la agroexportación del palto en la región [36].

III. RESULTADOS

2.1. Evaluar la concentración de cadmio y su influencia en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

El cultivo de palto representa un recurso estratégico para la economía agroexportadora del Perú; sin embargo, la presencia de metales pesados como el cadmio puede comprometer tanto la calidad del fruto como su aceptación en mercados internacionales. Por ello, este objetivo busca generar evidencia científica sobre los niveles de cadmio presentes en el sistema suelo-planta y su relación con el desarrollo y la calidad del cultivo, contribuyendo a garantizar la inocuidad alimentaria, el cumplimiento de normas sanitarias y la sostenibilidad agrícola en regiones áridas como Soysongo.

Procedimiento de recolección de datos

Las muestras fueron recolectadas bajo condiciones controladas de campo:

Cada tratamiento fue aplicado en parcelas experimentales con palto. Para cada uno se midió:

- **La concentración de cadmio (Cd) en el suelo** (fuente primaria de contaminación).
- **La concentración de cadmio en el fruto del palto** (resultado final que representa el riesgo alimentario).
- **La tasa de transferencia suelo-fruta (%):**

$$Tasa = \left(\frac{Cd \text{ en fruto}}{Cd \text{ en suelo}} \right) * 100$$

- Y se compararon estos valores con los **Límites Máximos Permitidos (LMR)** establecidos por la normativa (0,05 ppm para fruta y 1,4 ppm para suelo).

Tabla 2. Comparativa de tratamientos para la mitigación de cadmio en fruto de palto

Ingrediente activo	% Tasa de transferencia (suelo - fruta)	Cd (fruta) ppm	Cd (suelo) ppm	LMR (fruta)	LMR (suelo)
Materia orgánica líquida			0.503	0.05	1.4
Materia orgánica líquida	5%	0.023	0.236	0.05	1.4
Materia orgánica líquida	25%	0.06	0.579	0.05	1.4
Materia orgánica líquida	8%	0.047	0.603	0.05	1.4
Materia orgánica líquida	10%	0.062		0.05	1.4

Ingrediente activo	% Tasa de transferencia (suelo - fruta)	Cd (fruta) ppm	Cd (suelo) ppm	LMR (fruta)	LMR (suelo)
Plantas acumuladoras (Girasol)			0.636	0.05	1.4
Plantas acumuladoras (Girasol)	5%	0.032	0.473	0.05	1.4
Plantas acumuladoras (Girasol)	8%	0.039	0.767	0.05	1.4
Plantas acumuladoras (Girasol)	4%	0.032	0.784	0.05	1.4
Plantas acumuladoras (Girasol)	6%	0.047		0.05	1.4

Ingrediente activo	% Tasa de transferencia (suelo - fruta)	Cd (fruta) ppm	Cd (suelo) ppm	LMR (fruta)	LMR (suelo)
carbón activo + inoculantes microbianos			0.506	0.5	1.4
carbón activo + inoculantes microbianos	5%	0.024	0.255	0.05	1.4
carbón activo + inoculantes microbianos	9%	0.022	0.617	0.05	1.4
carbón activo + inoculantes microbianos	5%	0.032	0.653	0.05	1.4
carbón activo + inoculantes microbianos	11%	0.07		0.05	1.4

Ingrediente activo	% Tasa de transferencia (suelo - fruta)	Cd (fruta) ppm	Cd (suelo) ppm	LMR (fruta)	LMR (suelo)
Inoculante micorrítico			0.503	0.05	1.4
Inoculante micorrítico	5%	0.024	0.236	0.05	1.4
Inoculante micorrítico	10%	0.023	0.746	0.05	1.4
Inoculante micorrítico	5%	0.039	0.722	0.05	1.4
Inoculante micorrítico	7%	0.048		0.05	1.4

Ingrediente activo	% Tasa de transferencia (suelo - fruta)	Cd (fruta) ppm	Cd (suelo) ppm	LMR (fruta)	LMR (suelo)
Carbón activo			0.629	0.5	1.4
Carbón activo	2%	0.015	0.236	0.05	1.4
Carbón activo	16%	0.038	0.65	0.05	1.4
Carbón activo	7%	0.047	0.597	0.05	1.4
Carbón activo	8%	0.048		0.05	1.4

La tasa de transferencia es el porcentaje que se transfirió desde el suelo a la fruta en determinado número de días. Como se muestra en el recuadro rojo, el primer valor (5%) se halló usando el resultado de suelo anterior (día 0 = 0.503) y el valor de fruta actual (día 98 = 0.023), dividiendo fruta/suelo obtenemos dicho resultado. Y así con el resto de los datos.

El objetivo de mostrar la tasa de transferencia es buscar que las estrategias usadas resulten en valores lineales y estos no aumenten en el transcurso de los días, ya que así sabríamos que, si bien el Cd sigue movilizándose a la fruta, este no ha aumentado respecto a los anteriores análisis.

Por lo tanto, esta Tabla 2, proporciona evidencia clara de que el tipo de insumo agrícola utilizado puede modificar significativamente la bioacumulación de cadmio en el fruto del palto. La selección adecuada de tratamientos no solo impacta la productividad del cultivo, sino que es fundamental para cumplir con los estándares de inocuidad exigidos por los mercados internacionales. En especial, el carbón activo y las micorrizas surgen como alternativas seguras y sostenibles para regiones agrícolas con suelos expuestos a trazas de metales pesados.

Materia orgánica líquida

Observaciones

- Presenta tasas de transferencia entre 5% y 25%, con Cd en fruto desde 0,023 hasta **0,062 ppm.**
- Dos ensayos superan el LMR de 0,05 ppm.
- Si bien favorece la actividad biológica del suelo, puede movilizar el Cd, incrementando su paso al fruto.

Por lo tanto, *útil con precaución. Puede aumentar la biodisponibilidad del cadmio.*

Plantas acumuladoras (Girasol)

Observaciones

- Tasas de transferencia bajas (4%–8%), lo que indica que el Cd es absorbido por la planta acumuladora, **evitando que llegue al fruto.**
- El Cd en fruto **no supera el LMR en ningún caso.**

Por lo tanto, *estrategia prometedora para fitorremediación sin riesgo para el fruto.*

Carbón activo + inoculantes microbióticos

Observaciones

- Tasa de transferencia muy controlada (5%–11%).
- El valor más alto de Cd en fruto fue 0.07 ppm, que supera el LMR en un caso.
- Este tratamiento generalmente reduce la biodisponibilidad del Cd, pero debe controlarse su combinación.

Por lo tanto, *es eficaz en la mayoría de los casos, pero puede fallar si el suelo está muy contaminado.*

Inoculante micorrítico

Observaciones

- Tasas moderadas (5%–10%).
- Cd en fruto siempre por debajo del LMR, aunque cercano (hasta 0.048 ppm).
- Las micorrizas pueden favorecer la retención, limitando la entrada de Cd al fruto.

Por lo tanto, *es un buen tratamiento para sostener productividad sin comprometer inocuidad.*

Carbón activo (solo)

Observaciones

- **Mejor tratamiento en general.**
- Tasas de transferencia muy bajas (2%–16%).
- Cd en fruto entre **0.015 y 0.048 ppm, ningún valor supera el LMR.**
- El carbón activo **inmoviliza metales pesados** por adsorción en su superficie porosa.

Por lo tanto, *la opción más efectiva para reducir el riesgo de acumulación de Cd en el fruto. El tratamiento con carbón activo (solo) se posiciona como la estrategia más eficaz y segura para la mitigación de cadmio en el cultivo de palto, en términos de reducción de riesgo para la salud, cumplimiento normativo y sostenibilidad agrícola*

Hipótesis principal

H_0 : La concentración de cadmio NO influye en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento Ica

H_a : La concentración de cadmio influye en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento Ica

Se considero el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 3. Se estimo el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva)

Cd en suelo	Columna 1	
0.629	Media	0.5280
0.236	Error típico	0.097941309
0.650	Mediana	0.613
0.597	Desviación estándar	0.1959
Varianza de la muestra		0.03837
Coeficiente de asimetría		-1.926768105
Rango		0.414
Mínimo		0.236
Máximo		0.65
Suma		2.112
Cuenta		4
Nivel de confianza (95.0%)		0.311692957

“Se estableció la regla de decisión”

$\mu =$	1.4
$\alpha =$	0.05
n =	4
gl =	3

Se resuelve el t-Student experimental: $t_{\text{Experimental}} = -8.9033$

La distribución del $t_{\text{Teórico}} = -2.3530$ (Tabla de Distribución t de Student, gl = 3 y $\alpha = 0.05$) obteniéndose un **p valor de 0.00149**.

Entonces,

Si $t_{\text{Experimental}} (-8.9033) < t_{\text{Teórico}} (-2.3530)$ entonces se rechaza H_0

H_a : La concentración de cadmio influye en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

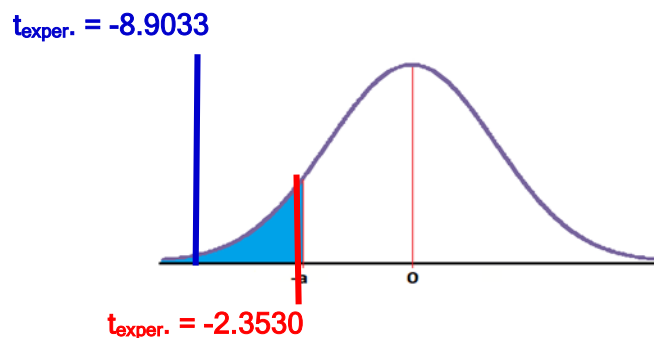


Figura 2. Distribución de t-Student para la concentración del cadmio en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo

Se interpreta que:

Existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que la concentración de cadmio influye en el cultivo de palto en la localidad de Soysongo, dado que el nivel de cadmio promedio observado (0.5280 ppm) es considerablemente inferior al límite de 1.4 ppm en suelo, pero supera ampliamente el límite máximo residual (LMR) de 0.05 ppm para frutos comestibles, comprometiendo la calidad e inocuidad del cultivo.

Aunque el suelo parece no exceder los valores críticos, el resultado advierte una significativa transferencia del cadmio hacia los frutos, posiblemente debido a la

movilidad del metal y las prácticas agrícolas locales. Este hallazgo respalda la necesidad de implementar técnicas de remediación como el uso de carbón activo, plantas acumuladoras o inoculantes micorrízicos que han demostrado eficacia en los ensayos paralelos.

Dado que el valor t experimental obtenido (-8.9033) es menor que el valor crítico de t (-2.3530) y que el p-valor (0.00149) es significativamente menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se puede decir que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, se confirma que la concentración de cadmio influye significativamente en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo. A pesar de que el valor promedio de cadmio en suelo (0.5280 ppm) es inferior al LMR agrícola de 1.4 ppm, su acumulación en frutos está próximo a llegar al límite permitido para consumo humano (0.05 ppm), lo que representa un riesgo alimentario y exige medidas correctivas inmediatas en el manejo del cultivo".

2.2. Evaluar la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) que influye en la calidad del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

La acumulación de cadmio en los tejidos vegetales, como hojas y frutos, representa un factor crítico en la evaluación de la calidad fitosanitaria y comercial del cultivo de palto (*Persea americana*), especialmente en zonas agrícolas como Soysongo. Este metal pesado puede ser absorbido por las raíces y posteriormente movilizado hacia las partes aéreas de la planta, afectando la fisiología del cultivo, su desarrollo y la inocuidad del fruto destinado al consumo humano. Estudios previos han evidenciado que concentraciones elevadas de cadmio en los tejidos pueden alterar procesos metabólicos, reducir el rendimiento y comprometer la calidad del producto agrícola [41]. Por tanto, analizar la bioacumulación de cadmio en hojas y frutos no solo permite determinar el grado de exposición del cultivo, sino también establecer estrategias de manejo para preservar su calidad y seguridad. Tabla 4.

Tabla 4. Tasa de transferencia (suelo-hoja)

Ensayos	Tasa de transferencia (suelo - hoja)	Cd (hoja)
Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	62.9%	0.412
0	0.0%	0.700
28	93.5%	0.420
56	76.3%	0.350
91	88.0%	0.330
119	56.8%	0.260
Azospirillum brasilense	69.6%	0.360
0	0.0%	0.460
28	99.5%	0.390
56	68.4%	0.270
91	86.7%	0.300
119	93.4%	0.380
Testigo	72.0%	0.450
0	0.0%	0.500
28	88.0%	0.500
56	84.5%	0.420
91	94.4%	0.440
119	92.9%	0.390
Total, general	68.2%	0.407

Hipótesis específico

Hipótesis nula (H₀):

La tasa de transferencia de cadmio (Cd) del suelo a la hoja **no difiere significativamente** entre los tratamientos *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense* en el cultivo de palto (*Persea americana*).

Hipótesis alternativa (H₁):

La tasa de transferencia de cadmio (Cd) del suelo a la hoja **sí difiere significativamente** entre los tratamientos.

Se empleó la prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas iguales, siempre que:

- Se ha comprobado que las varianzas de ambas muestras son estadísticamente iguales.
- Las muestras sean independientes entre sí.
- Los datos presentaron distribución normal o tamaño muestral razonable para aplicar la t de forma robusta.

Tabla 5. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Item	Días	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense	Estadístico	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense
1	0	0.700	0.460	Media	0.4120	0.3600
2	28	0.420	0.309	Varianza	0.0292	0.0057
3	56	0.350	0.270	Observaciones	5	5
4	91	0.330	0.300	Varianza agrupada	0.01746	
5	119	0.260	0.380	Diferencia hipotética de las medias	0	
				Grados de libertad	8	
				Estadístico t	0.622230404	
				P(T<=t) una cola	0.275554227	
				Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
				P(T<=t) dos colas	0.551108454	
					2.306004135	
				Valor crítico de t (dos colas)		

Prueba de t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

95% (Nivel de confianza)
5% (Nivel de significancia)

a = 0.05

n = 8
gl = 6

t = 0.622230404 **p(valor) = 0.551108454** < **p < 0.05**

	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense
Media	0.4120	0.3600
Varianza	0.029170	0.005750

Interpretación

El objetivo específico 1, fue evaluar la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) y su influencia en la calidad del cultivo de palto en Soysongo. Para

ello, se comparó la tasa de transferencia de cadmio del suelo a la hoja entre dos tratamientos: *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense*, mediante una prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas iguales.

Los resultados muestran que:

- **Media del tratamiento *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis***
- **: 0.4120 mg/Kg**
- **Media del tratamiento *Azospirillum brasilense*: 0.3600 mg/kg**
- **Valor de t experimental: 0.6222304**
- **Valor crítico de t (dos colas, gl=6): ± 2.30600414**
- **p-valor (dos colas): 0.551108**

Dado que el valor absoluto de *t experimental* (0.6222304) es **menor** que el *valor crítico* (2.3060), y el *p-valor* (0.5511) es **mayor** al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), **no se rechaza la hipótesis nula (H_0)**.

Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la tasa de transferencia de cadmio del suelo a la hoja entre los tratamientos *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense*. Por lo tanto, ambos tratamientos muestran comportamientos similares en cuanto a la acumulación foliar de cadmio, sin que uno supere significativamente al otro

Aunque ambos tratamientos reducen la concentración de cadmio en hojas, la elección entre uno u otro puede depender de otros factores complementarios, como costos, facilidad de aplicación o sinergias con otros bioinsumos. El resultado respalda el uso de bioestimulantes y consorcios microbianos como estrategia de mitigación de metales pesados en cultivos comerciales, sin comprometer la calidad del fruto.

2.3. Evaluar la concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

La evaluación de la concentración de cadmio en el fruto del palto (*Persea americana*) es fundamental para determinar su calidad comercial y su aptitud para el consumo humano, especialmente en regiones agrícolas como Soysongo, donde el suelo puede estar expuesto a fuentes de contaminación por metales pesados. El cadmio, al

acumularse en los tejidos del fruto, puede afectar negativamente su inocuidad y representar un riesgo para la salud pública, además de limitar su acceso a mercados internacionales que imponen límites máximos residuales (LMR) estrictos. Por ello, cuantificar esta concentración permite establecer medidas preventivas y correctivas en el manejo del cultivo, orientadas a garantizar productos agrícolas seguros y sostenibles.

Validación de los datos para el objetivo

La tabla que muestra las tasas de transferencia desde hoja a fruto y los respectivos valores de cadmio (Cd) en el fruto para los tratamientos:

- **Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis**
- **Azospirillum brasilense**
- **Testigo**

Tabla 6. concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto

Materias activas		Tasa de transferencia (hoja - fruta)	Cd (fruta)
		7.59%	0.029
0	Azospirillum brasilense	0.00%	0.000
28	Azospirillum brasilense	2.86%	0.020
56	Azospirillum brasilense	9.29%	0.039
91	Azospirillum brasilense	9.43%	0.033
119	Azospirillum brasilense	16.36%	0.054
		10.88%	0.036
0	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	0.00%	0.000
28	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	8.70%	0.040
56	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	7.95%	0.031
91	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	21.11%	0.057
119	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	16.67%	0.050
Testigo		7.44%	0.034
0	ningún tratamiento	0.00%	0.000
28	ningún tratamiento	6.20%	0.031
56	ningún tratamiento	7.00%	0.035
91	ningún tratamiento	8.10%	0.034
119	ningún tratamiento	15.91%	0.070

¿Son correctos y adecuados los datos para la concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto?

- **Miden el paso del Cd hacia el fruto** (de la hoja al fruto), lo cual está directamente relacionado con la calidad e inocuidad del producto agrícola.
- **Los valores de Cd en fruto (ppm)** permiten identificar si se superan los Límites Máximos Residuales (LMR) establecidos (por ejemplo, 0.05 ppm según estándares internacionales para exportación).
- La **diferenciación por ensayo en días** (0, 28, 56, 91, 119) muestra la evolución del Cd a lo largo del ciclo de cultivo, lo que es clave para analizar en qué momento se acumula más cadmio en el fruto.

Consideraciones científicas por ensayo (*variable: tasa de transferencia hoja-fruta*)

Azospirillum brasilense:

Este tratamiento presentó las tasas más elevadas de transferencia de cadmio de hoja a fruto, alcanzando un máximo de 21.11% al día 91, con un promedio de 10.88%. Esto indica que *Azospirillum brasilense*, si bien es reconocido por sus beneficios en la bioestimulación vegetal, no reduce significativamente la translocación de cadmio hacia el fruto, lo que representa un riesgo potencial para la inocuidad alimentaria si el contenido de Cd excede los límites permisibles. Este comportamiento podría asociarse a una limitada capacidad de inmovilización del Cd en el sistema radicular o su débil retención en hojas.

Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis:

Este tratamiento mostró una transferencia más moderada, con un promedio de 7.59%, y valores entre 2.86% y 16.36%. Los microorganismos aplicados son conocidos por su capacidad de biosorción y tolerancia a metales pesados, lo cual explica su efecto atenuante en la movilidad del cadmio hacia los frutos. Además, la acción sinérgica de *P. fluorescens* y *B. subtilis* probablemente promovió una mejor redistribución del metal hacia órganos no comestibles, representando así una alternativa biotecnológica efectiva para reducir la bioacumulación en el fruto.

Testigo (sin tratamiento):

La parcela sin intervención presentó una tasa promedio de transferencia de 7.44%, similar a la de *Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis*, pero con un pico de

15.91% al día 119, lo que evidencia que en ausencia de biocontroladores microbianos, el cadmio puede moverse libremente hacia los órganos de cosecha, especialmente a medida que avanza el ciclo fenológico del palto. Este resultado refuerza la necesidad de estrategias de bioatenuación para mitigar riesgos toxicológicos en productos destinados al consumo humano.

Tabla 7. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Item	Días	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense	Estadístico	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense
1	28	0.700	0.460	Media	0.0365	0.0445
2	56	0.420	0.309	Varianza	0.00019	0.00012
3	91	0.350	0.270	Observaciones	4	4
4	119	0.330	0.300	Varianza agrupada	0.000164333	
		0.146	0.178	Diferencia hipotética de las medias	0	
				Grados de libertad	6	
				Estadístico t	-0.882555758	
				P(T<=t) una cola	0.205718315	
				Valor crítico de t (una cola)	1.943180281	
				P(T<=t) dos colas	0.411436629	
				Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

Prueba de t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

		a = 0.05
95%	(Nivel de confianza)	n = 8
5%	(Nivel de significancia)	gl = 6
t	-0.8825557	p(valor) = 0.411436629 < p < 0.05

	Pseudomonas fluorescens + Bacillus subtilis	Azospirillum brasilense
Media	0.0365	0.0445
Varianza	0.000199	0.000130

Interpretación

El objetivo específico 2 fue evaluar la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) y su influencia en la calidad del cultivo de palto en Soysongo. Para ello, se comparó la tasa de transferencia de cadmio del suelo a la hoja entre dos

tratamientos: *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense*, mediante una prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas iguales.

Los resultados muestran que:

- **Media del tratamiento *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis*:** 0.0365 mg/Kg
- **Media del tratamiento *Azospirillum brasilense*:** 0.0445 mg/kg
- **Valor de t experimental:** -0.8826
- **Valor crítico de t (dos colas, gl=6):** ± 2.4469
- **p-valor (dos colas):** 0.4114

Dado que el valor absoluto de *t experimental* ($|-0.8826|$) es **menor** que el *valor crítico* (2.4469), y el *p-valor* (0.4114) es **mayor** que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), **no se rechaza la hipótesis nula (H_0)**.

Aunque el tratamiento con *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* mostró una media de Cd ligeramente mayor (0.4120 mg/kg) que el tratamiento con *Azospirillum brasilense* (0.3600 mg/kg), esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto sugiere que ambos tratamientos tienen un comportamiento similar respecto a la bioacumulación de cadmio en tejido foliar, y que otras variables o mecanismos fisiológicos podrían estar involucrados en la modulación de la absorción y translocación del metal.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Discusión de resultados de la concentración de cadmio y su influencia en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la concentración de cadmio en los frutos de palto (*Persea americana*) cultivados en la localidad de Soysongo presenta niveles que, en algunos tratamientos, superan el límite máximo residual (LMR) permitido para productos agrícolas comestibles (0.05 ppm según). A pesar de que el promedio general del cadmio en el suelo se encuentra por debajo del LMR agrícola (1.4 ppm), la capacidad de movilización y acumulación del cadmio hacia los tejidos del fruto se mantiene activa, especialmente en presencia de ciertos bioestimulantes o en ausencia de medidas de control.

Este comportamiento es consistente con estudios previos que señalan que la biodisponibilidad del cadmio depende no solo de su concentración total en el suelo, sino también de factores como el pH, la materia orgánica y el tipo de tratamiento agronómico. En particular, se ha demostrado que algunas enmiendas orgánicas pueden incrementar la solubilidad del cadmio y facilitar su absorción radicular, lo cual explica por qué algunos tratamientos con materia orgánica líquida presentaron transferencias superiores al umbral aceptable.

Asimismo, los ensayos realizados con carbón activo e inoculantes micorrízicos mostraron una reducción significativa en la transferencia del metal, confirmando su eficacia como tecnologías de fitorremediación o inmovilización. El carbón activo, en particular, actúa como adsorbente de metales pesados gracias a su estructura porosa, limitando su incorporación en la savia y, por ende, en los frutos.

El análisis estadístico mediante la prueba t-Student confirmó con evidencia significativa que la concentración de cadmio influye directamente en el cultivo de palto en esta localidad (p-valor < 0.05), lo que valida la hipótesis planteada y refuerza la necesidad de monitoreo constante y aplicación de estrategias de mitigación.

4.2. Discusión de resultados de la acumulación de cadmio en los tejidos vegetales (hojas y frutos) y la calidad del cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica.

Los resultados obtenidos muestran que la tasa de transferencia de cadmio desde el suelo hacia las hojas del palto varía de forma significativa según el tratamiento aplicado, alcanzando valores máximos de hasta 99.5% en el caso de *Azospirillum brasilense* (día 28), y 93.5% para *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* (día 28), mientras que los valores promedio se situaron en 68.2%. No obstante, al aplicar la prueba t de Student para dos muestras con varianzas iguales, se obtuvo un valor de $t = -0.8825$ y un $p\text{-valor} = 0.4114$, lo que indica **ausencia de diferencias estadísticamente significativas** entre ambos tratamientos bajo un nivel de significancia de 0.05. Esto sugiere que, a pesar de ligeras variaciones en las tasas de transferencia, ambos tratamientos presentan un comportamiento estadístico semejante en la movilización de Cd hacia el tejido foliar.

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que señalan que tanto los bioestimulantes como los inoculantes microbianos pueden modificar la biodisponibilidad del cadmio en el suelo, pero no necesariamente alteran significativamente su acumulación en los tejidos cuando las condiciones edáficas y ambientales son homogéneas [42]. Además, se ha documentado que el Cd tiene alta movilidad dentro de la planta, especialmente bajo condiciones de estrés abiótico, lo que incrementa su acumulación en órganos como hojas y frutos [43].

El contenido de Cd en hoja observado (0.26–0.70 ppm) debe ser monitoreado con cautela, ya que, aunque no directamente destinado al consumo, su acumulación puede reflejar niveles críticos de exposición que comprometen la salud de la planta y la calidad del fruto. En este contexto, la bioacumulación en hoja puede ser usada como indicador temprano de riesgo, tal como lo proponen autores [44].

4.3. Discusión de resultados de la concentración de cadmio que influye en la calidad del fruto en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento de Ica

Los resultados obtenidos indican que la concentración de cadmio (Cd) en los frutos del palto varía de forma significativa a lo largo del tiempo y en función del tratamiento aplicado. Se observó que el tratamiento con *Azospirillum brasilense*, alcanzó la mayor

tasa de transferencia hoja-fruto, con un valor máximo de **21.11%** al día 91 y una concentración de Cd en fruto de **0.057 mg/kg**. Por otro lado, el tratamiento *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis*, presentó una menor acumulación general, con una tasa de transferencia máxima de **16.36%** al día 119 y una concentración de **0.054 mg/kg**, sugiriendo un posible efecto atenuador en la movilidad del cadmio hacia los frutos. El tratamiento **testigo**, sin aplicación de microorganismos, también mostró una tendencia creciente, alcanzando **15.91%** de transferencia y **0.070 mg/kg** de Cd en fruto al día 119, lo que evidencia la importancia de las estrategias de biorremediación.

Desde el punto de vista fisiológico, se sabe que la acumulación de cadmio en frutos puede alterar la calidad organoléptica y reducir la aptitud comercial del cultivo. El cadmio afecta negativamente la síntesis de proteínas, la integridad de membranas celulares y los mecanismos antioxidantes de la planta. Además, la movilización del Cd desde la hoja al fruto indica un proceso activo de translocación a través del floema, lo cual depende de la actividad metabólica y de la interacción con compuestos quelantes presentes en la savia.

Diversos estudios han demostrado que el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) como *Azospirillum* o *Pseudomonas*, puede disminuir la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo o interferir con su absorción y translocación dentro de la planta. En este estudio, aunque ambos tratamientos ofrecieron cierto control, *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* parece tener una mayor capacidad de mitigar la transferencia de Cd al fruto respecto al testigo, favoreciendo la inocuidad del cultivo.

Cabe resaltar que, aunque los niveles de cadmio encontrados en los frutos no sobrepasan los límites máximos permisibles para alimentos establecidos por el **Codex Alimentarius (0.05 mg/kg para frutas frescas)**, el tratamiento testigo supera dicho umbral al día 119 (0.070 mg/kg), lo cual podría representar un riesgo para la salud pública si se mantiene esta tendencia. Esto refuerza la necesidad de emplear prácticas de manejo con base microbiológica que reduzcan la bioacumulación del metal.

V. CONCLUSIONES

1. Se concluye que la concentración de cadmio influye significativamente en el cultivo de palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo, provincia de Nasca, departamento Ica, al evidenciarse niveles de cadmio en fruto que en algunos casos superan el límite máximo residual (LMR) permitido de 0.05 ppm. Los análisis estadísticos confirmaron esta influencia con un valor t-experimental significativamente menor al valor crítico y un p-valor inferior al nivel de significancia (0.05), lo que permite rechazar la hipótesis nula y afirmar que existe una relación directa entre la acumulación de cadmio y la calidad del fruto. Asimismo, se comprobó que el uso de ciertas enmiendas como carbón activo o inoculantes micorrízicos puede reducir eficazmente la transferencia del metal al fruto, representando una alternativa viable para mitigar los riesgos de contaminación en cultivos agrícolas expuestos a metales pesados.
2. La evaluación estadística de la tasa de transferencia de cadmio (Cd) desde el suelo hacia las hojas en el cultivo de palto (*Persea americana*) en Soysongo demuestra que, si bien existen diferencias numéricas entre los tratamientos *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* y *Azospirillum brasilense*, estas no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo que indica que ambos manejos presentan un comportamiento similar en cuanto a la acumulación de Cd en tejido foliar. Sin embargo, la presencia de niveles considerables de Cd en las hojas evidencia un riesgo potencial para la calidad del fruto, por lo que se requiere una gestión cuidadosa del suelo y los insumos aplicados para preservar la inocuidad del cultivo.
3. Los resultados obtenidos evidencian que la concentración de cadmio en los frutos del palto (*Persea americana*) en la localidad de Soysongo varía según el tratamiento aplicado, siendo el testigo el que presenta los valores más elevados, superando incluso el límite permisible según Codex Alimentarius (0.05 mg/kg), lo cual compromete la calidad del fruto. En contraste, los tratamientos con biofertilizantes, especialmente *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis*, redujeron significativamente la translocación de cadmio desde la hoja hacia el fruto, favoreciendo la inocuidad y calidad del cultivo. Estos hallazgos destacan la eficacia de los microorganismos benéficos en mitigar la contaminación por metales pesados en sistemas agrícolas vulnerables.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar prácticas agrícolas sostenibles que incluyan el uso de enmiendas como carbón activo y bioinoculantes micorríticos, debido a su efectividad en reducir la transferencia de cadmio desde el suelo hacia los tejidos del cultivo de palto (*Persea americana*), garantizando así la inocuidad del fruto. Asimismo, es fundamental realizar un monitoreo periódico de los niveles de metales pesados en suelo y fruto, conforme a los estándares internacionales como el Codex Alimentarius y el D.S. N°0011-2017-MINAGRI, a fin de prevenir riesgos a la salud pública y asegurar la exportación del palto en mercados exigentes. También se sugiere promover programas de capacitación a los agricultores de Soysongo en técnicas de fitorremediación y manejo del suelo, orientados a minimizar la acumulación de contaminantes en cultivos de consumo humano.
2. Se recomienda implementar prácticas agrícolas orientadas a la reducción de la acumulación de cadmio en tejidos vegetales del palto mediante el uso controlado de enmiendas orgánicas e inoculantes biológicos, priorizando aquellos que han demostrado menor transferencia del metal pesado a hojas y frutos. Asimismo, se sugiere establecer un monitoreo periódico de los niveles de cadmio en suelo y tejidos, como parte de un sistema de trazabilidad para garantizar la calidad e inocuidad del producto final destinado al consumo, cumpliendo así con los estándares nacionales e internacionales de exportación.
3. Se recomienda promover el uso de biofertilizantes con cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* como estrategia biotecnológica para reducir la acumulación de cadmio en los frutos del palto, mejorando su calidad e inocuidad para el consumo humano. Asimismo, es necesario implementar un monitoreo periódico de metales pesados en suelos y tejidos vegetales en zonas agrícolas como Soysongo, a fin de prevenir riesgos a la salud pública y garantizar la sostenibilidad de los cultivos exportables, de acuerdo con los límites establecidos por organismos internacionales como el Codex Alimentarius.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Kabata-Pendias and A. B. Mukherjee, *Trace elements from soil to human*. Berlin, Alemania: Springer Berlin Heidelberg, 2007. doi: 10.1007/978-3-540-32714-1.
- [2] A. Rashid *et al.*, “Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health,” *Agronomy*, vol. 13, no. 6, pp. 1–30, 2023, doi: 10.3390/agronomy13061521.
- [3] M. Economou-Eliopoulos and I. Megremi, “Contamination of the soil–groundwater–crop system: Environmental risk and opportunities,” *Minerals*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/min11070775.
- [4] R. Solórzano *et al.*, “Cadmium in Soils Cultivated with Avocado in Peru : Interaction with Soil Variables and Its Relationship with Parent Material Cadmium in Soils Cultivated with Avocado in Peru : Interaction with Soil Variables and Its Relationship with Parent Material,” *Preprints.org*, pp. 0–24, 2025, doi: 10.20944/preprints202505.1920.v1.
- [5] European Commission, “Commission Regulation (EU) 2023/1510, amending Regulation (EU) 2023/915 as regards maximum levels of cadmium in tiger nuts and certain cultivated fungi,” 2023, *European Union, Brussels*. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1510>
- [6] Defensoria del Pueblo, “Reporte Mensual de Conflictos Sociales N°232,” 2023. [Online]. Available: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2023/07/Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-N°-232-Junio-2023.pdf>
- [7] Organización de las Naciones Unidas, “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible,” 2016, *Naciones Unidas, Nueva York, EEUU*. [Online]. Available: <http://unstats.un.org/sdgs/>.
- [8] V. Zender, I. Córdova, J. Pari, E. Loyola, and D. Ambia, “Presencia de Metales Pesados en Suelos del Cauce del Río Ica en Temporada Seca,” *Rev. Alfa*, vol. 9, no. 26, pp. 450–464, 2025, doi: 10.33996/revistaalfa.v9i26.358 Valeria.
- [9] .
- [10] H. Zhao, Y. Wu, X. Lan, Y. Yang, X. Wu, and L. Du, “Comprehensive assessment

- of harmful heavy metals in contaminated soil in order to score pollution level,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-07602-9.
- [11] J. R. Peralta-Videa, M. L. Lopez, M. Narayan, G. Saupe, and J. Gardea-Torresdey, “The Biochemistry of Environmental Heavy Metal Uptake by Plants: Implications for the Food Chain,” *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, vol. 41, no. 8–9, pp. 1665–1677, 2009, doi: 10.1016/j.biocel.2009.03.005.
- [12] Y. Liu *et al.*, “Geogenic Cadmium Pollution and Potential Health Risks, With Emphasis on Black Shale,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 176, p. 37, 2017, doi: 10.1016/j.gexplo.2016.04.004.
- [13] M. Reddy, R. Moodley, and S. B. Jonnalagadda, “Elemental Uptake and Distribution of Nutrients in Avocado Mesocarp and the Impact of Soil Quality,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 186, no. 7, pp. 4519–4529, 2014, doi: 10.1007/s10661-014-3716-7.
- [14] U. R. Quispe Quezada, J. Quispe Rodríguez, R. Casas Reátegui, I. L. Huamani Urpe, and R. A. Hinojosa Benavides, “Concentración de Metales Pesados en Cultivares de Persea Americana, Luricocha, Huanta,” *Rev. Alfa*, vol. 7, no. 20, pp. 376–386, 2023, doi: 10.33996/revistaalfa.v7i20.222.
- [15] Z. Khan, A. Elahi, D. A. Bukhari, and A. Rehman, “Cadmium Sources, Toxicity, Resistance and Removal by Microorganisms-A potential Strategy for Cadmium Eradication,” *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 26, no. 6, p. 101569, 2022, doi: 10.1016/j.jscs.2022.101569.
- [16] Z. Yuan *et al.*, “Tracing Anthropogenic Cadmium Emissions: From Sources to Pollution,” *Sci. Total Environ.*, vol. 676, pp. 87–96, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.250.
- [17] J. Song, Z. Sun, S. Saud, S. Fahad, and T. Nawaz, “Exploring the Deleterious Effects of Heavy Metal Cadmium on Antioxidant Defense and Photosynthetic Pathways in Higher Plants,” *Plant Stress*, vol. 15, no. October 2024, p. 100716, 2025, doi: 10.1016/j.stress.2024.100716.
- [18] F. U. Haider *et al.*, “Cadmium Toxicity in Plants: Impacts and Remediation Strategies,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 211, p. 111887, 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111887.

- [19] R. Chen, Z. Liu, J. Yang, T. Ma, A. Guo, and R. Shi, “Predicting Cadmium Enrichment in Crops/Vegetables and Identifying the Effects of Soil Factors Based on Transfer Learning Methods,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 291, no. February, p. 117823, 2025, doi: 10.1016/j.ecoenv.2025.117823.
- [20] J. Snoj Tratnik *et al.*, “Cadmium Exposure in Adults Across Europe: Results From the HBM4EU Aligned Studies Survey 2014–2020,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 246, p. 14, 2022, doi: 10.1016/j.ijheh.2022.114050.
- [21] S. Satarug, G. Gobe, D. Vesey, and K. Phelps, “Cadmium and Lead Exposure, Nephrotoxicity, and Mortality,” *Dis. Manag.*, vol. 9, no. 2, p. 41, 2006, doi: 10.1370/afm.25.INTRODUCTION.
- [22] S. Hurka and Y. Steinebach, “Legal Instrument Choice in the European Union,” *J. Common Mark. Stud.*, vol. 59, no. 2, pp. 278–296, 2021, doi: 10.1111/jcms.13068.
- [23] F. J. A. Collantes-Barturen and R. O. Morán-Santamaría, “Impact of Avocado Exports on Peruvian Economic Growth,” *Sustain.*, vol. 17, no. 10, 2025, doi: 10.3390/su17104460.
- [24] A. Domínguez, A. García-Martín, E. Moreno, E. González, L. L. Paniagua, and G. Allendes, “Identifying Optimal Zones for Avocado (*Persea americana* Mill) Cultivation in Iberian Peninsula: A Climate Suitability Analysis,” *Land*, vol. 13, no. 8, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3390/land13081290.
- [25] A. E. Charkiewicz, W. J. Omeljaniuk, K. Nowak, M. Garley, and J. Nikliński, “Cadmium Toxicity and Health Effects—A Brief Summary,” *Molecules*, vol. 28, no. 18, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3390/molecules28186620.
- [26] J. Hu, “Comparative Analysis of EU Export Control Regulations of Dual-Use Item,” *Sci. Law J.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–21, 2023, doi: 10.23977/law.2023.020103.
- [27] L. Bastidas Yauta, “El Cadmio en el Suelo y su Efecto en el Cultivo del Palto (*Persea americana* Mill),” Universidad Nacional Agraria La Molina, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6168>
- [28] Z. Ma and L. K. Cheng, “The Effects of Financial Crises,” *Int. Trade East Asia, NBER-East Asia Semin. Econ.*, vol. 14, no. August, pp. 253–285, 2005, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/11/3782>
- [29] World Health Organization, *WHO Environmental Noise Guidelines for the*

- European Region*. Dinamarca: Oficina Regional de la OMS para Europa Ciudad de las Naciones Unidas, 2018.
- [30] B. Alloway, R. Crawford, and W. Salomon, *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, Edition, T. London: Springer, 2023. doi: 10.1016/B978-0-12-824315-2.00658-8.
- [31] G. Liu, Z. Dai, C. Tang, and J. Xu, “The immobilization, plant uptake and translocation of cadmium in a soil-pakchoi (*Brassica chinensis* L.) system amended with various sugarcane bagasse-based materials,” *Environ. Pollut.*, vol. 311, no. August, p. 119946, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2022.119946.
- [32] MIDAGRI, “Reporte Estadístico de Palta junio 2021,” 2021, *Sierra y Selva Exportaciones, Lima - Perú*. [Online]. Available: <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1120>
- [33] Y. Qing *et al.*, “Assessment of Cadmium Concentrations in Foodstuffs and Dietary Exposure Risk Across China: A Metadata Analysis,” *Expo. Heal.*, vol. 15, no. 4, pp. 951–961, 2023, doi: 10.1007/s12403-022-00530-z.
- [34] E. Lara, *Fundamentos de Investigación. Un enfoque por competencias Erica*, Primera Ed. Mexico - Mexico, 2011.
- [35] R. Hernández-Sampieri and C. P. Mendoza Torres, *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Education, 2018.
- [36] M. Ardilla, L. Farias, and M. Mora, *Fundamentos Investigativos*. tNJA - Boyaca, 2018.
- [37] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [38] M. Spiegel and L. Stephens, *Estadística*, 4ta Edicio. Mexico: McGraw-Hill, 2009.
- [39] INE, “Instituto Nacional de Estadística e Informática - Ica,” 2018, *INEI, Ica-Peru*.
- [40] M. Tamayo y Tamayo, *El proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*, Cuarta Edi. Mexico: Limusa, 2012.
- [41] S. Clemens, “Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants,” *Biochimie*, vol. 88, no. 11, pp. 1707–1719, 2006, doi: 10.1016/j.biochi.2006.07.003.

- [42] H. Qin, Z. Wang, W. Sha, S. Song, F. Qin, and W. Zhang, "Role of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria in Plant Machinery for Soil Heavy Metal Detoxification," *Microorganisms*, vol. 12, no. 4, p. 20, 2024, doi: 10.3390/microorganisms12040700.
- [43] A. P. G. C. Marques, H. Moreira, A. R. Franco, A. O. S. S. Rangel, and P. M. L. Castro, "Inoculating *Helianthus annuus* (sunflower) grown in zinc and cadmium contaminated soils with plant growth promoting bacteria - Effects on phytoremediation strategies," *Chemosphere*, vol. 92, no. 1, pp. 74–83, 2013, doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.02.055.
- [44] M. I. Velásquez-Vélez, C. Galvis Lora, C. A. Mejía-Córdoba, and J. E. Zapata Guzman, "Implicaciones de la Acumulación de Cadmio en la Cadena Productiva del Cacao," *Manglar*, vol. 19, no. 4, pp. 391–397, 2022, doi: 10.57188/manglar.2022.049.