

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



T E S I S

**Disminución del contenido de los metales pesados, Pb, Cd, Cu, Ni y Zn en
un suelo agrícola de Tapuc – Pasco por bio-absorción metálica debido al
cultivo de papa, octubre 2021 a febrero 2022**

Para optar el título profesional:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Fiorella Maghendy RUIZ ALIAGA

Asesor:

Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



T E S I S

**Disminución del contenido de los metales pesados, Pb, Cd, Cu, Ni y Zn en
un suelo agrícola de Tapuc – Pasco por bio-absorción metálica debido al
cultivo de papa, octubre 2021 a febrero 2022**

Sustentada y aprobada ante miembros del jurado:

Dr. Eleuterio Andrés ZAVALETA SANCHEZ
PRESIDENTE

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
MIEMBRO

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 304-2025-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:

Tesis:

**"DISMINUCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS METALES PESADOS, Pb, Cd,
Cu, Ni y Zn EN UN SUELO AGRÍCOLA DE
TAPUC – PASCO POR BIO-ABSORCIÓN METÁLICA DEBIDO AL CULTIVO
DE PAPA, OCTUBRE 2021 a FEBRERO
2022"**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Fiorella Maghendy, RUIZ ALIAGA

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Edgar Walter PÉREZ JUZCAMAYTA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

6 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 11 de julio del 2025



Firmado digitalmente por FALCAMEO
DISEÑO: Páramo Edgar FALCAMEO
2025/07/11 16:30:00
Módulo: Sign. de autor del documento
Fecha: 11/07/2025 16:30:00 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres, por cada recuerdo que aprendí de ellos y sus sabios consejos y sobre todo por amarme tanto.

Por ser como son y conducirme por este mundo deseando para mí lo mejor de mi vida, labrarme un futuro promisor que hoy culmino diciéndole adiós a mi querida escuela.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Mg. Edgar Pérez Juzcamayta por su valiosa asesoría en la realización de mi tesis. Su confianza en mis capacidades, el apoyo brindado, y la generosa dedicación de su tiempo han sido fundamentales. Estoy profundamente agradecido por los conocimientos que ha compartido conmigo.

De igual manera, extiendo mi especial gratitud a mis profesores, cuyo compromiso y enseñanza han sido esenciales para la culminación de esta investigación.

Finalmente, deseo reconocer y agradecer a mi familia, cuyo respaldo en diversas formas ha sido clave para hacer realidad este trabajo.

La tesista.

RESUMEN

La papa de nombre *Solanum tuberosum*, y de nombre común papa (América) o patata (España y Filipinas), es una especie herbácea perteneciente al género *Solanum* de la familia de las solanaceas y es muy generosa por contener carbohidratos, vitaminas y minerales muy rica en estos componentes alimenticios. Es muy importante el tipo de suelo empleado en su cultivo y esa es la fortuna de los suelos peruanos país con su región Cajamarca que ocupa el 1er lugar de producción en Latinoamérica.

Los agricultores de papa afirman que en la actualidad existe más de 3 mil variedades de este tubérculo de las cuales una de las más conocidas es la variedad “Amariles” cultivada preferentemente en Tapuc en la provincia Daniel Alcides Carrion.

Lo que se consigue con este estudio es caracterizar el crecimiento de la papa amarilies, así como el comportamiento de extracción metálica de ésta teniendo en cuenta el suelo agrícola de Tapuc.

El 1er mes de cultivo hay una absorción máxima de metales. A partir del 2do mes la extracción metálica es lenta. La planta desarrolla hasta alcanzar un promedio de 60 cm.

La calidad del suelo permite obtener una papa libre de sustancias o metales tóxicos como Pb y Bi.

Palabras clave; La papa, contaminación metálica del suelo, Papa Amariles.

ABSTRACT

The potato named *Solanum tuberosum*, and common name potato (America) or potato (Spain and the Philippines), is a herbaceous species belonging to the *Solanum* genus of the Solanaceae family and is very generous because it contains very rich carbohydrates, vitamins and minerals. in these food components.

The type of soil used in its cultivation is very important and that is the fortune of the Peruvian country soils with its Cajamarca region that occupies the 1st place of production in Latin America.

Potato farmers affirm that there are currently more than 3,000 varieties of this tuber, one of the best known of which is the "Amariles" variety, preferably grown in Tapuc in the Daniel Carrion province.

What is achieved with this study is to characterize the growth of the amaryllis potato, as well as its metal extraction behavior, taking into account the agricultural soil of Tapuc.

The 1st month of cultivation there is a maximum absorption of metals. From the 2nd month the metallic extraction is slow. The plant develops until reaching an average of 60 cm.

The quality of the soil allows obtaining a potato free of toxic substances or metals such as Pb and Bi.

Keywords; Potato, metal contamination of the soil, Papa Amaryllis.

INTRODUCCION

La papa amariles es un producto agrícola consumida alrededor de todo el mundo. El Perú ha llegado a cosechar cerca de cuatro millones de toneladas/anuales considerado como record a nivel latinoamericano, siendo Cajamarca la región de mayor producción de este alimento. Como es conocido, las actividades del ser humano (industriales, mineras, ganaderas, agrícolas, etc.) contaminan al ecosistema muchos metales tóxicos, como lo hacen el Cd y el Pb, Estos metales, altamente tóxicos, de alguna manera se depositan en suelos, produciendo la bioacumulación en las plantas.

La exposición a estos elementos metálicos y otros tiene que ver directamente con la salud de especies vivientes, como ejemplo está el Cd considerado altamente cancerígeno, y el Pb debido a su neurotoxicidad. Un diario cajamarquino hizo una publicación determinando altas concentraciones de metales pesados en la dieta diaria de pobladores rurales que cultivan la papa. Por todo lo expuesto, el presente trabajo de investigación se basa en determinar las concentraciones de Cd y Pb en papa cosechada en las cuencas cercanas de los ríos Mashcón y Chonta por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica en Horno de Grafito. (Arenas & Rodriguez, 2016). Aparte del Cd y el Pb hay otros elementos que tienen los mismos efectos y que deben estudiarse necesariamente porque habría la posibilidad de su efecto nocivo para la salud humana, niños, adultos mayores y mujeres en estado de gestación. Además, se debe considerar que la contaminación es un proceso acumulativo y, por tanto, sus efectos pueden sentirse en un futuro mediato. En el caso de la papa, ella misma altera la calidad del terreno agrícola con la absorción de los elementos metálicos que contiene debido a la contaminación o “empobrecimiento de la tierra.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	4
1.2.1. Delimitación Temporal	4
1.2.2. Delimitación Espacial	4
1.2.3. Delimitación Social.....	4
1.3. Formulación del problema	5
1.3.1. Problema general.....	5
1.3.2. Problemas específicos	5
1.4. Formulación de objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Justificación de la investigación	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	8
------------------------------------	---

2.1.1.	Antecedentes internacionales	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales	14
2.2.	Bases Teóricas – Científicas	17
2.2.1.	La papa en el Perú	17
2.2.2.	Contaminación del suelo.	18
2.2.3.	Comportamiento de Metales Pesados en el Suelo.....	19
2.2.4.	Vías de ingreso de los metales a las plantas.....	20
2.2.5.	La Papa (Solanum Tuberosum).....	21
2.3.	Definición de términos básicos	26
2.4.	Formulación de hipótesis	28
2.4.1.	Hipótesis general	28
2.4.2.	Hipótesis específica.....	29
2.5.	Identificación de variables	29
2.5.1.	Variable dependiente.....	29
2.5.2.	Variable independiente.....	29
2.5.3.	Variable interviniente	29
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	31
3.2.	Nivel de la Investigación.....	32
3.3.	Métodos de investigación.....	32
3.4.	Diseño de investigación	32
3.5.	Población y muestra	33
3.5.1.	Población.....	33

3.5.2. Muestra.....	33
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.6.1. Análisis de muestras.....	34
3.6.2. Instrumentos	34
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	34
3.8. Tratamiento estadístico	35
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	35

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	36
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultado.....	39
4.3. Prueba de hipótesis.....	44
4.4. Discusión de resultados.....	46

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la papa.....	25
Tabla 2. Morfología general de la papa	26
Tabla 3. Comportamiento agronómicas de la papa	26
Tabla 4. Operacional de variables e indicadores.	30
Tabla 5. Fechas y el crecimiento de la papa y extracción de elementos metálicos presentes en el suelo en Tapuc.	40

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Temperaturas en Tapuc	38
Gráfico 2. Crecimiento de la papa amariles según los meses de su desarrollo.	41
Gráfico 3. Concentración de plomo en el suelo según el crecimiento de la planta de la papa amariles.	41
Gráfico 4. Variación de la concentración de cadmio en el suelo durante el crecimiento de la papa amariles:	42
Gráfico 5. Análisis de la concentración de cobre en el suelo a lo largo del desarrollo de la papa amariles.	43
Gráfico 6. Concentración de Potasio	43
Gráfico 7. Fluctuaciones en la concentración de zinc en el suelo durante el desarrollo de la papa amariles	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de los diferentes usos del suelo para la producción de alimentos. (Loyde de la Cruz, 2023).....	2
Figura 2. La planta de la papa amariles en pleno crecimiento y floración.....	21
Figura 3. Hojas de la papa amariles	22
Figura 4. Fruto de la papa amariles.	23
Figura 5. Muestra las raíces y el fruto de la planta de la papa amariles.....	24
Figura 6. La papa amariles en plena floración	24
Figura 7. Fruto y semilla de la papa amariles.....	25
Figura 8. Ubicación del terreno donde se realiza la toma de muestra.....	34

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El suelo es un sistema natural que se compone de diversas capas formadas por minerales desgastados, materia orgánica, aire y agua. Su origen se debe a la interacción de factores como el clima, los organismos y la topografía, que, a lo largo del tiempo, promueven el desgaste de las rocas.

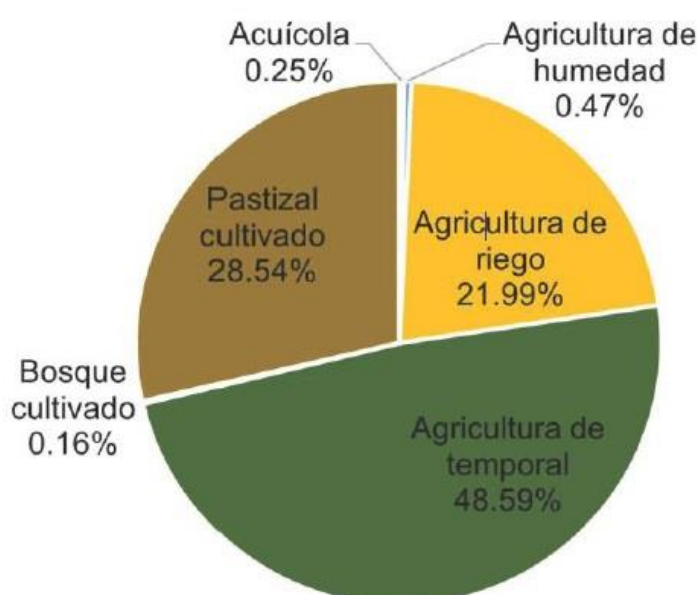
La creación del suelo es un proceso largo y complicado, que puede llevar entre 400 y 1000 años para formar solo 1 cm de suelo. Por este motivo, se considera un recurso no renovable que evoluciona lentamente.

El suelo desempeña un papel crucial en nuestro planeta, funcionando como un componente esencial junto a la hidrosfera, la biosfera y la atmósfera. Entre sus múltiples funciones, el suelo regula procesos vitales para la vida en la Tierra, como el clima, el hábitat de diversos organismos, el control de inundaciones, la retención de carbono y la purificación del agua, además de ser fundamental en la reducción de contaminantes. También sirve como base para

nuestra infraestructura y es fuente de fibra, combustible, medicamentos y alimentos.

Uno de los roles más críticos del suelo para la humanidad es su capacidad para producir alimentos; aproximadamente el 95% de la producción global de alimentos depende de él. Proporciona nutrientes esenciales, oxígeno, agua y el soporte necesario para el crecimiento de las raíces de las plantas. La creciente demanda de alimentos es tan significativa que se estima que un tercio de la superficie terrestre se dedica actualmente a la agricultura.

Figura 1. Porcentaje de los diferentes usos del suelo para la producción de alimentos. (Loyde de la Cruz, 2023)



Las actividades humanas son la principal causa de la contaminación del suelo, el cual puede verse afectado por diversos compuestos químicos. Entre estos se encuentran ácidos, plaguicidas y metales pesados (MP). Aunque el término "metales pesados" está perdiendo popularidad, se utiliza comúnmente para referirse a varios elementos altamente tóxicos, como arsénico (As), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cadmio (Cd).

En el contexto de los suelos agrícolas, la presencia de metales pesados en concentraciones elevadas —superiores a los niveles naturales— puede resultar perjudicial para los organismos del suelo y, en particular, para los cultivos. Esto puede llevar a una disminución tanto en la calidad como en la producción agrícola, afectando gravemente la sostenibilidad de la agricultura (Loyde De La Cruz, González Méndez, & René, 2023).

Los metales pesados son componentes minerales la cual, al acumularse en el suelo, el agua y los tejidos vegetales suponen un riesgo para el bienestar general. Enfermedades hepáticas, cancerígenas y/o renales están relacionados con altas concentraciones de estos componentes. Asimismo, la acumulación de estos metales pesados está muy asociada con la actividad industrial, al igual que con la producción y actividad agrícola, debido a la utilización excesiva de productos agroquímicos. Por lo tanto, la tierra se degrada y su rendimiento se ve disminuido.

Uno de los productos fundamentales en la alimentación utilizados diariamente en el Perú es la papa, sin embargo, en los últimos tiempos, la expansión y el aumento de consumo de productos agroquímicos (herbicidas, insecticidas, abonos, fertilizantes, etc.), los relaves mineros que generalmente saturan la tierra con sustancias metálicas pesadas concebibles, como el cadmio y el plomo (Cd y Pb), ha mermado la naturaleza íntegra del agua y afecta a la tierra utilizada para su cultivo, en consecuencia, la disminución de su rendimiento. Ante este problema, el agricultor se ha visto obligado a utilizar otras estrategias, por ejemplo, el cultivo alternado para regenerar y así recuperar la tierra.

En la actualidad, el problema de la degradación del suelo de cultivo en un área determinada en el distrito de Tapuc — Daniel Carrión y, para el caso de la papa amariles, se tomó cuatro meses para su crecimiento para luego proceder a

cosecharla, y transcurrido este lapso de tiempo ha bioabsorbido concentraciones de metales que no garantizan una buena seguridad alimentaria de la población.

El Instituto Nacional de Calidad (Inacal) la Norma Técnica Peruana “NTP 011.811:2021” Con este documento se busca que la papa amariles aseguresu calidad para el consumo humano preferentemente. (Andina, 2022)

1.2. Delimitación de la investigación

Las principales delimitaciones del presente estudio están dadas por:

1.2.1. Delimitación Temporal

Esta investigación se ha desarrollado en cuatro meses, desde octubre del 2021 hasta febrero del 2022.

1.2.2. Delimitación Espacial

El presente estudio se realizó en los suelos agrícolas del distrito de Tapuc, provincia Daniel Alcides Carrión en el departamento de Pasco, con coordenadas 10°27'18"S 76°27'45"O a 3 700 m.s.n.m., se cultiva papa amariles preferentemente.

1.2.3. Delimitación Social

Este estudio estuvo dirigido a los habitantes del distrito de Tapuc, en la provincia de Daniel Carrión, con el propósito de evaluar la posible presencia de metales pesados en el cultivo de papa amariles y su impacto en la salud de la población, especialmente en grupos vulnerables como niños y adultos mayores.

Además, los resultados de la investigación podrían tener un impacto positivo en la economía local, ya que proporcionar información sobre la seguridad del cultivo permitiría fortalecer la producción agrícola y generar oportunidades de empleo en la comunidad, contribuyendo así al aumento de los ingresos familiares.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida el cultivo de papa amariles contribuye a la disminución de la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en el suelo agrícola de Tapuc-Pasco mediante bioabsorción durante el período de octubre 2021 a febrero 2022?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo varía la concentración de los metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en el suelo agrícola de Tapuc-Pasco antes y después del cultivo de papa amariles durante el período de octubre 2021 a febrero 2022, ¿y cuál es la eficiencia del cultivo en la bioabsorción de estos metales?
- b. ¿Qué cantidad de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) pueden ser absorbidos por las diferentes partes de la planta de papa (raíces, tallo, hojas y tubérculo) en el suelo agrícola de Tapuc-Pasco, ¿y qué impacto tiene este proceso en la reducción de la contaminación del suelo durante el período de octubre 2021 a febrero 2022?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del cultivo de papa amariles en la reducción de la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en un suelo agrícola de Tapuc-Pasco mediante bioabsorción durante el período de octubre 2021 a febrero 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Cuantificar la variación en la concentración de los metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en el suelo agrícola de Tapuc-Pasco antes y después del cultivo de papa amariles durante el período de octubre 2021 a febrero 2022.
- b. Determinar la distribución y acumulación de los metales pesados en las diferentes partes de la planta de papa amariles (raíces, tallo, hojas y tubérculo) para evaluar su eficiencia en la bioabsorción.

1.5. Justificación de la investigación

En el Perú, actualmente no existe una normativa específica que establezca límites máximos permisibles de metales pesados en los alimentos, lo que genera un vacío legal en la regulación de estos compuestos y su impacto en la salud humana. Este problema es particularmente relevante en zonas de alta actividad agrícola y minera, como Tapuc, en Pasco, donde los residuos de estas actividades pueden contaminar los suelos destinados al cultivo de papa y otros alimentos esenciales.

El Codex Alimentarius y la Unión Europea establecen límites para plomo y cadmio en tubérculos (0,1 mg/kg), mientras que la norma cubana n° 493 regula el contenido de cobre y zinc en hortalizas (5 mg/kg y 10 mg/kg, respectivamente). Sin embargo, a nivel nacional e internacional, no hay estándares específicos para otros metales pesados como arsénico, mercurio, molibdeno o níquel en tubérculos, lo que hace evidente la necesidad de estudios científicos que contribuyan a la evaluación y establecimiento de dichos límites.

Dado este contexto, es fundamental determinar en qué medida el cultivo de papa puede reducir la concentración de metales pesados en el suelo mediante el proceso de bioabsorción. Esto permitirá conocer la seguridad del consumo de

las papas cultivadas en Tapuc, así como aportar información clave para futuras normativas de regulación de metales pesados en productos agrícolas.

1.6. Limitaciones de la investigación

La limitación para realizar esta investigación es la falta de equipos de laboratorios adecuados en la UNDAC, para poder ejecutar los análisis de suelo a las muestras recolectadas, debido a esto se recurrirá a los servicios de laboratorios externos como la UNAS y Diresa de Huánuco

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Rajković, Perić, & Kovačević, 2002) El almidón puede descomponerse en monosacáridos mediante el método de hidrólisis ácida. Aplicando un procedimiento químico adecuado, se obtiene una solución principal de la cual se extraen alícuotas, que luego se filtran para determinar la presencia de glucosa utilizando el método de Luff-Shoorl.

Las papas de la variedad Desiree, cultivadas en diferentes localidades de Serbia, tienen un contenido de almidón que coincide con los datos disponibles en la literatura. Se observó el mayor contenido de almidón en las papas cultivadas en Ivanjica y Novi Pazar, zonas donde los factores climáticos, la temperatura del aire y el relieve del terreno son favorables para el cultivo de papas. Por otro lado, se encontraron contenidos más bajos de almidón en las papas cultivadas en áreas planas con climas más cálidos y períodos de sequía, como en las regiones de PKB-Belgrado, Smederevo, Dobanovci y Mrčajevci, donde los valores obtenidos

fueron muy similares. El contenido más bajo de almidón se encontró en las papas de Belegiš y Guča, cuyos valores estuvieron por debajo de los normales según la literatura, lo que podría explicarse por factores específicos como el clima, la ubicación y la irrigación.

A partir del análisis de los niveles de metales pesados en las muestras de papa, se puede concluir que las papas provenientes de regiones reconocidas por su producción presentan una contaminación por cadmio (Cd), superando los niveles permitidos por las normativas. La presencia de cadmio podría explicarse por el uso de fertilizantes fosfatados en dosis elevadas o recomendadas. Sin embargo, el propio suelo también podría ser un factor desfavorable, lo que no solo afecta la idoneidad de las papas para el consumo, sino también para su uso como materia prima en la elaboración de productos derivados, como las papas fritas.

Además, la normativa de la Unión Europea controla estrictamente la presencia de cadmio en los alimentos, lo que restringe la posibilidad de exportar productos basados en papas que contengan este metal.

En cuanto a los pesticidas lindano y bensultap (Bancol), los análisis muestran que sus niveles no alcanzan valores críticos ni están presentes en cantidades que representen un riesgo para la salud humana. Desde este punto de vista, las muestras de papa analizadas de todas las regiones son aptas para el consumo.

No obstante, sería necesario investigar más a fondo el contenido de cadmio y el valor de pH en el suelo, para determinar si la contaminación proviene principalmente del uso de fertilizantes en la temporada actual o si es una característica intrínseca del suelo.

(Liu, Nan, Zhao,, Yang, & Yang, 2018) Los efectos del uso de lodos en la movilidad y disponibilidad de metales pesados en los sistemas suelo-planta han recibido gran atención en los últimos años. En este estudio, se analizaron los efectos del compost de lodo municipal (MSC) sobre la solubilidad y absorción de cadmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb) en un sistema suelo-papa, para explorar la movilidad, absorción por la planta de papa y enriquecimiento de estos cinco metales pesados en suelos de sierozem enmendados con MSC. El experimento se realizó en 2014 en la Universidad de Lanzhou, China, utilizando un ensayo de cultivo de papa. Se empleó el análisis de regresión de crestas para investigar la disponibilidad de los metales pesados en los suelos enmendados. Además, se usaron diferentes agentes extractores, como CaCl_2 , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, CH_3COOH , DTPA y EDTA, para extraer la fracción lábil de los metales pesados en los suelos tratados.

Los resultados muestran que el MSC no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también incrementa el contenido de carbono orgánico disuelto (DOC) en los suelos de sierozem. A medida que aumenta el porcentaje de MSC en el suelo, las concentraciones totales y las proporciones de la fracción lábil de metales pesados también aumentan. De los cinco metales, el Cd presenta la mayor solubilidad y movilidad, mientras que el Ni tiene la menor. El MSC incrementa las concentraciones de metales pesados en las raíces, tallos, cáscaras y tubérculos de las plantas de papa, siendo las concentraciones más altas en los tallos y raíces que en las cáscaras y tubérculos.

Entre los metales pesados, el factor de bioconcentración más alto corresponde al Cd, mientras que el Ni tiene el más bajo. Las fracciones extraíbles con agentes complejantes (DTPA y EDTA) son las más significativas en cuanto

a la disponibilidad para las plantas. Las propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica, el pH y el DOC, influyen de manera importante en la disponibilidad de los metales pesados para las plantas. Los resultados sugieren que, aunque el MSC puede mejorar la fertilidad del suelo en los sistemas suelo-papa, también puede aumentar el riesgo de exposición a metales pesados.

(Nzediegwu, y otros, 2019) En muchos países en desarrollo, la escasez de agua ha llevado al uso de aguas residuales, a menudo sin tratar, para regar diversos cultivos, incluidos tubérculos como la papa (*Solanum tuberosum* L.). Estas aguas residuales contienen una variedad de contaminantes, incluidos metales pesados, que pueden acumularse en las partes comestibles del cultivo, representando un riesgo para la salud humana. Se realizó un experimento para investigar el destino y transporte de seis metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb y Zn) presentes en el agua de riego utilizada en un cultivo de papas de la variedad Russet Burbank, cultivadas en suelo arenoso. El experimento incluyó suelos sin enmienda y suelos enmendados con un 1% de biochar de cáscara de plátano (en peso) en los primeros 0,10 m del suelo.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en nueve lisímetros de PVC de 1 metro de altura y 0,45 metros de diámetro, con tres tratamientos replicados: un control sin enmienda regado con agua de grifo y dos tratamientos con agua contaminada. Las papas fueron plantadas y regadas cada 10 días, y se recolectaron muestras de lixiviado y suelo después de cada riego. Los resultados mostraron que todos los metales pesados se acumularon en la capa superficial del suelo. El hierro, el plomo y el zinc se detectaron a una profundidad de 0,1 m, mientras que solo el hierro se detectó a 0,3 m. No se encontraron metales pesados en el lixiviado.

En las muestras de las plantas de papa (pulpa del tubérculo, cáscara, hojas, tallo y raíces) se detectaron metales pesados. El suelo enmendado con biochar redujo significativamente las concentraciones de cadmio y zinc en la pulpa del tubérculo (en un 69% y 33%, respectivamente) y en la cáscara, en comparación con el tratamiento de aguas residuales sin enmienda ($p < 0,05$). Las concentraciones de metales pesados fueron significativamente más bajas en la pulpa que en la cáscara, lo que sugiere que, al consumir papas cultivadas con riego de aguas residuales, la cáscara presenta un mayor riesgo para la salud que la pulpa.

(Kurek, Barchańska, & Turek, 2016) La papa es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, después del maíz, el arroz y el trigo, con una producción global de aproximadamente 300 millones de toneladas al año, cifra que sigue en aumento. Se cultiva principalmente en climas templados y es utilizada como fuente de almidón, alimento y en la industria de mejoramiento genético.

El cultivo de papa requiere el uso de varios productos agro-técnicos, entre ellos pesticidas, debido a su vulnerabilidad frente a insectos, malezas, hongos y virus. En la Unión Europea, los pesticidas más comúnmente aplicados en el cultivo de papa son: tiametoxam, lambda-cihalotrina y deltametrina (insecticidas), rimsulfurón (herbicida) y metalaxil (fungicida).

Aunque el uso de pesticidas mejora la eficiencia del cultivo, su falta de selectividad puede afectar a organismos que no son el objetivo. Además, los agroquímicos pueden acumularse en los cultivos, lo que puede impactar negativamente la calidad de los productos alimenticios y la salud de los consumidores. Otro riesgo asociado con los productos de protección de plantas

es la formación de derivados tóxicos tanto en el ambiente (suelo y agua) como en las plantas mismas, ya que muchos de estos compuestos pueden tener efectos perjudiciales.

Este artículo se centra en los procesos de degradación de los pesticidas utilizados en la protección de cultivos de papa. También se aborda la toxicidad tanto de los compuestos originales como de sus productos de degradación para los organismos vivos, incluidos los humanos. La información sobre los niveles de contaminación por pesticidas en el medio ambiente (agua y suelo) y su acumulación en las plantas comestibles amplía el conocimiento sobre los riesgos asociados al uso generalizado de tiametoxam, lambda-cihalotrina, deltametrina, rimsulfurón y metalaxil en el cultivo de papa.

(Ud Din, y otros, 2013) La cebolla y la papa (*Allium cepa* y *Solanum tuberosum*) son dos de las verduras más comúnmente consumidas en Pakistán. Se recolectaron muestras de variedades locales de cebolla y papa de la región de Khyber Pakhtunkhwa, Pakistán, así como algunas muestras importadas desde Afganistán. En el estudio se analizaron los contenidos de metales pesados como Cr, Pb, Cu, Co, Zn, Mn, Fe, Ni y Cd en estas verduras utilizando espectroscopía de absorción atómica.

Los resultados revelaron que el orden de concentración de metales en la cebolla de variedad local fue: $Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > Pb > Cd > Ni > Co$, mientras que en la cebolla importada de Afganistán se observó un patrón similar: $Zn > Fe > Cu > Mn > Pb > Ni > Cr > Cd$. Se encontró un mayor contenido de hierro en las cebollas de Pakistán, y de zinc en las cebollas de Afganistán. Los niveles de metales encontrados fueron comparados con los límites permisibles establecidos por la OMS y otros autores. Las concentraciones medias de Fe, Zn,

Mn, Cu, Pb, Cr, Ni, Cd y Co fueron 45,9, 37,63, 6,76, 5,78, 2,26, 1,623, 0,745, 0,636 y 0,0950 respectivamente.

El estudio concluye que los procesos de cultivo, transporte y comercialización de las verduras pueden contribuir significativamente al aumento de los niveles de contaminación por metales pesados, lo que podría afectar la calidad de los alimentos y representar un riesgo para la salud de los consumidores de productos locales. La distribución y caracterización de los metales pesados en las verduras fue estudiada y analizada en detalle en este trabajo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(Cusi Ticllacuri, 2021) El objetivo de este proyecto es evaluar las concentraciones de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada en suelos contaminados de las localidades de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito. Para ello, se tomaron muestras de la capa superficial del suelo agrícola, las cuales fueron analizadas en cuanto a sus propiedades físico-químicas y contenido de Pb y Cd. Estas muestras se colocaron en macetas con una capacidad de 10 kg, donde se sembraron tubérculos-semilla de papa en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento.

Se midió la concentración de Pb y Cd en las hojas, tallos, raíces y tubérculos de las plantas, así como el contenido residual en el suelo. Además, se calcularon el Factor de Bioconcentración (FBC) y el Factor de Translocación (FT) para cada tratamiento. Los resultados indicaron que las concentraciones de Pb y Cd en los cultivos superaron los Límites Máximos Permisibles, con mayor acumulación en las raíces. La materia seca de las plantas disminuyó debido a la presencia de Pb y Cd en el suelo, siendo la reducción más significativa en Huancaní.

El FBC para el plomo fue menor a uno, mientras que para el cadmio fue alto en El Mantaro y Mito. El FT mostró que el plomo se translocó más en El Mantaro, mientras que el cadmio lo hizo principalmente en Mito. Según los resultados, el cultivo de papa tiene una capacidad moderada de bioacumulación y fitoextracción, pero su principal función en estos suelos contaminados es la fitoestabilización.

(Luna Arenas & Rodríguez Lozada, 2016) El objetivo de esta investigación es determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papas (*Solanum tuberosum*) cultivadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta, utilizando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Para ello, se recolectaron un total de 40 muestras de papa provenientes de cultivos cercanos a dichas cuencas.

No se detectó la presencia de plomo en ninguna de las muestras de papa (con un límite de detección de 0.5 ppb), lo que impidió comparar los resultados con el límite máximo permisible para el plomo (0.1 ppm) establecido por el Codex Alimentarius según el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod. 2015.

En cuanto al cadmio, la concentración promedio en las muestras de la cuenca del río Mashcón fue de 0.3095 ppm $\pm$ 0.0078 ppm, y en las muestras de la cuenca del río Chonta fue de 0.3078 ppm $\pm$ 0.0223 ppm. Esto demuestra que el 100% de las muestras de papa de ambas cuencas presentan concentraciones de cadmio superiores al límite máximo permisible de 0.1 ppm establecido por el Codex Alimentarius.

(Alvaro Huayhuacuri & Cárdenas Alarcón, 2020) Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del uso de agroquímicos en los suelos

agrícolas de Perú. La metodología empleada fue una revisión sistemática de tipo aplicada, con un enfoque cualitativo y diseño narrativo basado en tópicos. A partir de la revisión, se identificaron varios impactos negativos de los agroquímicos en los suelos, destacándose la acidificación y erosión, así como la alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo.

En varios estudios revisados, se reportó que los efectos de los agroquímicos en los suelos oscilan entre un 50% y 95%. Los pesticidas, al ser incorporados al suelo, interactúan con un ecosistema dinámico donde comienzan su proceso de degradación. Según Suárez & Palacio (2014), el 85% de los pesticidas aplicados afecta directamente el suelo debido a su aplicación intensiva.

Como conclusión, se señala que, aunque la papa *Solanum tuberosum* L. enfrenta numerosas plagas y enfermedades durante su ciclo productivo, el uso de agroquímicos es necesario, pero debe realizarse con los equipos y dosis apropiados. Además, se recomienda reducir el uso de estos productos y optar por alternativas orgánicas para minimizar los impactos negativos en el suelo.

(Fabián Céspedes, 2022) El estudio titulado “Evaluación de la concentración de cadmio y plomo en el suelo y tubérculos de un cultivo convencional y orgánico de papa (*Solanum tuberosum*) en el distrito de Panao, provincia de Pachitea – Huánuco 2022” se propuso evaluar las concentraciones de estos metales pesados en el suelo y los tubérculos de papa cultivados de forma convencional y orgánica en la región mencionada. La metodología empleada fue de tipo descriptivo y no experimental, en la cual se recolectaron 5 muestras de tubérculos y 5 muestras de suelo para su posterior análisis en el laboratorio.

Los resultados indicaron que el promedio de plomo en los tubérculos fue de 0.2 ppm, superando así el límite establecido por el CODEX (0.1 ppm). En

cuanto al cadmio, se encontró un promedio de 0.09 ppm, que está por debajo del límite del CODEX (0.01 ppm), aunque en ambos casos se detectó una presencia significativa de estos metales pesados. En el suelo, la concentración de cadmio fue de 22.5520 ppm, lo que está por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, que es de 70 ppm; mientras que el plomo en el suelo se midió en 0.15 ppm, también por debajo del ECA para suelos agrícolas, que es de 1.4 ppm.

En conclusión, el exceso de plomo en los tubérculos de papa se origina directamente del suelo, lo que subraya la necesidad de establecer normativas que regulen los niveles de estos metales pesados en el cultivo agrícola.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. La papa en el Perú

Actualmente, en Perú, la papa es el cultivo agrícola más importante, representando aproximadamente el 25% del Producto Interno Bruto (PIB) del sector agropecuario. Este tubérculo es la base principal de la alimentación en la región andina y es cultivado por unas 600,000 pequeñas unidades agrícolas en todo el país. En términos de consumo, la papa supera al arroz y al trigo como parte fundamental de la dieta peruana. En 100 gramos de papa, se encuentran 18.5 gramos de almidón, 78 gramos de agua, y es rica en ácido ascórbico (vitamina C, 20 mg) y potasio (560 mg).

Perú se destaca mundialmente por la enorme diversidad de este tubérculo, albergando ocho tipos de papas nativas domesticadas y más de 2,000 variedades, de las más de 4,000 que se encuentran en América Latina. Además, en territorio peruano crecen de manera silvestre cerca de 100 especies de papa, de las 200 que

existen en todo el continente, aunque la mayoría de estas no son aptas para el consumo humano.

Este cultivo ha logrado adaptarse a una gran variedad de climas y suelos en todo el país, pero las mejores cosechas se obtienen en suelos franco arenosos, profundos, con buen drenaje y un pH entre 5.5 y 8.0, lo que favorece su productividad. La papa sigue siendo un alimento de consumo masivo en la población peruana y un pilar de su sistema agrícola.

2.2.2. Contaminación del suelo.

Las inusuales acumulaciones de diferentes metales pesados que se puede encontrar en los suelos se deben esencialmente a las siguientes causas:

- **Causas naturales:** actividad volcánica, procesos de formación de suelos, erosión de rocas, terremotos, tsunamis, etc.
- **Causas antropogénicas:** industria minera, ignición de productos petrolíferos, industria a través de vertidos, emisiones, residuos (quema, depósito), como algunos fertilizantes y pesticidas, etc.

Los metales pesados no actúan como componentes estáticos, por lo que estos siguen pautas de movilidad que se caracterizan en cuatro vías:

- Movilización hacia aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.
- Retención de metales pesados en el suelo de varias maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación.

2.2.3. Comportamiento de Metales Pesados en el Suelo

Suelen estar peculiarmente mantenidos en el suelo, a su vez, estos podrían movilizarse en la solución del suelo por varios instrumentos orgánicos y sintéticos (Pagnanelli et al., 2004).

Estos metales al momento de ser añadidos a los suelos pasan a reasignarse y se esparcen gradualmente por las partes de la fase sólida; este nuevo ordenamiento se caracteriza con una retención inicial rápida para luego dar respuestas tardías, dependiendo de los tipos de metales, las propiedades que tiene el suelo, el nivel de introducción y el tiempo (Han et al., 2003).

Entonces, estos factores que logran intervenir en el desplazamiento de metales pesados en el suelo son:

- **Características del suelo:** pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, existencia de carbonatos, materia orgánica, textura.
- **Naturaleza de la contaminación:** origen de los metales y forma de deposición.
- **Condiciones medioambientales:** acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo et al., 2003).

Generalmente, estos metales pesados que se encuentran en el suelo pueden seguir varias vías:

- a) Se logra mantener en el suelo, así se encuentre diluido en fase acuosa del suelo, ocupan lugares de variante cambio o explícitamente adheridos con los constituyentes inorgánicos del suelo, relacionados con esta materia natural del suelo y/o expuesto como sólidos puros o mixtos;
- b) Estos podrían ser consumidos por la vegetación y, en consecuencia,

integrarse a las cadenas tróficas;

- c) Ingresan a la atmósfera por el proceso de volatilización y se mueve a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

El plomo se acopia cerca de la superficie del suelo en los primeros cinco centímetros, excepto si la excavación o el cultivo han mezclado el suelo.

El plomo aun al ser soluble en el suelo es asimilado esencialmente por los pelos de la raíz de los vegetales y se guarda en un grado impresionante en las paredes celulares; esta retención fluctúa significativamente en conjunto correspondiente a la fijación presente en los suelos, así como por las diferentes estructuras en las que el plomo se presenta. "El desplazamiento químico (también conocida como distribución química) del plomo que ocurre en el suelo va a depender primordialmente del pH existente en el suelo, la mineralogía, la textura, del contenido en materia natural; así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes".

2.2.4. Vías de ingreso de los metales a las plantas

- a. **Agua:** El balance hídrico, evaporación, escorrentía, cantidad de precipitación interviene en la circulación de metales en suelo y plantas de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas de los mismos. (Solano, 2005).
- b. **Aire:** Estos componentes que actúan como agentes, los cuales van a interceder en el desplazamiento de los metales son: la dimensión que tenga la molécula y la velocidad del viento de los territorios adyacentes. La inhalación de partículas menores a diez micras de diámetro representa gran vulnerabilidad en la salud por la absorción en la región alveolar de los pulmones (Solano, 2005).

- c. **Suelo:** El parámetro importante que define el desplazamiento del catión (metal) es el pH, porque las fracciones más móviles de ioneses producen en suelos ácidos (rangos menores de pH). (Miranda et al, 2011).

2.2.5. La Papa (*Solanum Tuberosum*)

Solanum tuberosum, comúnmente conocida como papa o patata, es una planta herbácea perteneciente al género *Solanum* y a la familia de las solanáceas. Esta especie es originaria del altiplano andino, donde fue domesticada hace aproximadamente ocho mil años, en la región cercana al lago Titicaca. Su introducción a Europa ocurrió en el siglo XVI, cuando los conquistadores españoles la trajeron, inicialmente como una curiosidad botánica en lugar de un alimento. A medida que pasaron los años, su uso se amplió, primero como planta forrajera y de jardín, y más tarde como un alimento esencial, especialmente tras la promoción realizada por los agrónomos Antoine Parmentier y Enrique Doyle en el siglo XVIII.

Figura 2. *La planta de la papa amariles en pleno crecimiento y floración.*



Descripción

Morfología de la planta *Solanum tuberosum* es una planta perenne que se reproduce a través de tubérculos, que son su principal órgano de almacenamiento de nutrientes. Sus características principales incluyen:

a. Hojas

Son compuestas, con un rango de siete a nueve folíolos de forma lanceolada, dispuestas en espiral a lo largo de los tallos. La superficie de las hojas puede tener pelos o tricomas, cuya cantidad varía según la variedad cultivada.

Figura 3. *Hojas de la papa amariles*



b. Tallos:

Existen tres tipos de tallos: uno aéreo, que sostiene las hojas, y dos subterráneos (rizomas y tubérculos). Los tallos aéreos son erectos o semidecumbentes, alcanzando alturas de hasta un metro y presentando un color verde o, en raras ocasiones, purpúreo.

c. Rizomas

Son tallos horizontales que crecen bajo la superficie del suelo y producen tubérculos en su extremo.

d. Tubérculos

Estos son engrosamientos subterráneos que almacenan nutrientes. Tienen una superficie con "ojos" que albergan las yemas vegetativas, y su piel puede ser de diferentes colores, como blanco, amarillo, violeta o rojizo. Los tubérculos también contienen lenticelas, que permiten la respiración del órgano.

Figura 4. *Fruto de la papa amariles.*



Raíces El sistema radicular es fibroso y superficial, con raíces adventicias que se desarrollan a partir de yemas en los tallos subterráneos.

Figura 5. *Muestra las raíces y el fruto de la planta de la papa amariles*



e. Inflorescencia y Flores

Las inflorescencias de *Solanum tuberosum* son panículas que surgen en el extremo de los tallos. Cada inflorescencia puede contener de una a treinta flores, con una media entre siete y quince. Las flores, de 3 a 4 cm de diámetro, tienen cinco pétalos que forman una corola en forma de estrella, y pueden ser de varios colores, incluyendo blanco, azul y púrpura, dependiendo de la cantidad de antocianinas presentes.

Figura 6. *La papa amariles en plena floración*



f. Fruto y Semillas

El fruto de la planta es una baya que recuerda a un tomate, pero más pequeña, con un diámetro de 1 a 3 cm. Las bayas pueden contener entre

doscientas y cuatrocientas semillas, que son pequeñas y aplanadas. Estas se agrupan en racimos que se inclinan a medida que los frutos maduran.

Solanum tuberosum es una especie fundamental en la alimentación mundial, cuya evolución y adaptación a diferentes ecosistemas han permitido su cultivo en diversas regiones del planeta. Su composición química es la siguiente

Figura 7. *Fruto y semilla de la papa amariles*



Tabla 1. *Composición química de la papa.*

Parámetro	Cáscara	Trozos
Materia seca	12.3	22.7
Proteína bruta	21.6	8.4
Grasa	2.4	0.4
Digestibilidad	74.8	94.7
"in vitro"	-	-
FDN	28.5	3.5
Almidón	21.1	74.0
Cenizas	106	-
Lisina	0.79	-
Meteonina+	0.66	-
Cistina	-	-
Treonina	0.53	-
Calcio	0.25	0.36
Fósforo	0.24	0.20
EM (Mcal/kg MS)	2.69	3.18

Posee diferentes variedades, la utilizada para la investigación es *Solanum tuberosum* var. *Amarilis* su origen es (Monserrate x Atzimba) por

una mezcla de clones resistentes. Este tipo fue lanzado al Perú en 1993. En la tabla 2 y 3 se determina algunas de sus características.

Tabla 2. *Morfología general de la papa*

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	
Plantas	tallo verde claro con hojas de folíolos anchos
Flores	Color blancas, abundante floración y escasa fructificación
Tubérculos	Oval chatos, ojos superficiales, piel de color crema, carne amarillenta
Brotes	Color crema con jaspes morados

En la tabla 2 nos muestra las características de la planta que nos permiten conocer y entender, el desarrollo y comportamiento durante su tiempo de crecimiento hasta llegar a la madurez fisiológica.

La tabla 3 nos permite conocer los requerimientos agronómicos bajo el cual la planta podrá crecer de manera óptima, logrando de esta forma obtener una buena cosecha.

Tabla 3. *Comportamiento agronómicas de la papa*

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS:	
Periodo vegetativo	Precoz (120 a 130 días)
Rendimiento	Hasta 30 t/ha, tubérculos medianos y grandes
Adaptación	Hasta 3200 msnm, sierra central, sierra norte y costa
Calidad culinaria	Buena
Uso	En fresco
Materia Seca (%)	25
Reacción a factores Adversos	Resistente a rancha (<i>Phytophthora infestans</i>)

2.3. Definición de términos básicos

- **Concentración:** La conexión de una sustancia diluida o contenida en una medida determinada de otra sustancia.
- **Metales pesados:** son un conjunto de componentes químicos que tienen una

densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos.

- **Contaminación:** Estructura de una sustancia química o de una combinación de sustancias en un área desafortunada (aire, agua, suelo), donde podría causar impactos naturales o de bienestar nocivos.
- **Degradación:** Es el proceso por el cual la materia se descompone, por medios físicos, químicos o biológicos.
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Viene a ser la acción que determina la cantidad de fijación o la cantidad de los componentes, sustancias o parámetros químicos, biológicos y físicos que se encuentran en el aire, el suelo, el agua o en su estado de cuerpo receptor, que es de gran peligro representativo en el bienestar humano ni al ambiente. De acuerdo al factor en particular a lo que se refiera, la cantidad o la concentración se interpretará en altos, bajos o normales.
- **Plan de muestreo:** Informe en el cual se encuentran los datos y programación concernientemente ligada con cada una de sus etapas que componen la prueba y muestra los modelos de examen.
- **Población:** Grupo de organismos que vienen a ser de la misma clase que viven dentro de las delimitaciones definidas y por un determinado tiempo.
- **Punto de muestreo:** Lugar (punto o área determinada) del suelo donde se toman las muestras, así éstas sean superficiales o de profundidad.
- **Suelo:** Sedimento no consolidado formado por fragmentos inorgánicos, materia natural, aire, agua y organismos, que va desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.
- **Suelo contaminado:** Se denomina así al suelo en el cual sus estructuras químicas han podido ser modificados dañinamente por la presencia de materia

química tóxicas, las cuales son almacenadas por la actividad humana, esto según lo establecido en el D.S. N° 002- 2013-MINAM.

- **Suelo agrícola:** Es la tierra usada exclusivamente en la cosecha agrícola, matorrales y pastos cultivados. Es además aquella tierra con aptitud para el desarrollo de los cultivos y el enriquecimiento y aumento de la ganadería. Esto adiciona a todo suelo llamado y considerado como agrícola, que mantienen el hábitat para especies permanentes y estacionarias, así también a la vegetación y vida animal nativa, el cual sería el caso de las denominadas áreas naturales protegidas.
- **Calidad de suelos:** Viene a ser el estado en el cual el suelo en función de sus determinadas características físicas, químicas y biológicas le conceden la capacidad de obtener un potencial ecológico natural antropogénico.
- **Toxicidad:** Esto vendría a ser la propiedad de la sustancia e incluso se podría referir a la mezcla de ellas que provocan efectos adversos los cuales deterioran la salud humana y a los ecosistemas
- **Toxicidad ambiental:** De la misma forma esta viene a ser la característica determinada de una sustancia, y a su vez, también la mezcla de sustancias que desencadena un desequilibrio ecológico.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El cultivo de papa amariles en el distrito de Tapuc, Pasco, contribuye a la disminución de la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en el suelo agrícola mediante bioabsorción, lo que podría influir en la calidad del producto y en la seguridad alimentaria de la población.

2.4.2. Hipótesis específica

- a. La concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) en el suelo disminuye significativamente después del ciclo de cultivo de papa amariles, debido a la capacidad de bioabsorción de la planta.
- b. Los metales pesados bioabsorbidos por la planta de papa se acumulan en mayor proporción en las raíces y el follaje, reduciendo su presencia en el tubérculo destinado al consumo humano.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Concentración de metales pesados en el suelo y en la planta (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn).

2.5.2. Variable independiente

Cultivo de papa amariles (Proceso de bioabsorción de metales pesados por la planta)

2.5.3. Variable interviniente

Variable Interviniente: Factores ambientales y del suelo que pueden influir en la bioabsorción de metales pesados por el cultivo de papa.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Los cambios en las concentraciones se manifestarán en el incremento o disminución de estas en el suelo. Al comparar los niveles de un suelo con una muestra representativa tomada de una zona donde se llevó a cabo el cultivo de papa amariles en el distrito de Tapuc, provincia de Daniel Carrión, entre octubre de 2021 y febrero de 2022, se observa que son inferiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos.

Tabla 4. Operacional de variables e indicadores.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE Cultivo de papa (Proceso de bioabsorción de metales pesados por la planta)	Limites en el suelo respecto al ECA de suelo	- Tipo de variedad de papa utilizada. - Tiempo de cultivo (ciclo agrícola). - Desarrollo de la planta (altura, biomasa). - Partes de la planta analizadas (raíces, tallo, hojas, tubérculo).	mg/kg
DEPENDIENTE Concentración de metales pesados en el suelo y en la planta (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn).	Concentración de metales pesados	- Concentración inicial y final de metales pesados en el suelo (mg/kg). - Nivel de metales pesados en las distintas partes de la planta (mg/kg). - Variación porcentual en la concentración de metales antes y después del cultivo. - Comparación con estándares internacionales	mg/kg

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Este estudio es una investigación aplicada, lo que significa que se enfoca en usar el conocimiento científico para resolver un problema específico. Como lo explican los especialistas de Concytec (2018), este tipo de investigación busca encontrar métodos, protocolos o tecnologías que puedan satisfacer una necesidad concreta. En este caso, el estudio responde a la necesidad de medir la cantidad de metales presentes en los suelos de cultivo de papa amariles en el distrito de Tapuc, provincia de Daniel Carrión.

El enfoque del estudio es cuantitativo, lo que significa que sigue un proceso bien estructurado y predecible. En investigaciones cuantitativas, las decisiones clave sobre los métodos a seguir se toman antes de empezar a recolectar los datos. Como el objetivo de esta investigación era determinar el nivel de contaminación en los suelos e identificar la presencia de metales pesados, se utilizó una metodología definida previamente. Esta metodología está descrita

en el Plan de Muestreo de la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (2014).

3.2. Nivel de la Investigación

Es de un nivel descriptivo, centra en observar y describir las características de la degradación del suelo sin intervenir en los factores que lo causan. El objetivo sería documentar y analizar el estado actual de los suelos degradados en una región específica. En este tipo de investigación se podrían describir los tipos de degradación (erosión, salinización, contaminación, etc.) y sus causas.

3.3. Métodos de investigación

Este trabajo de investigación tiene el planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo para probar la hipótesis utilizando la estadística que ayudara a cuantificar los datos o valores del contenido de metales pesados en los suelos agrícolas del distrito de Tapuc — Daniel Alcides Carrión estableciéndolos con exactitud.

La investigación se estructura en tres procesos clave:

- a. Trabajo de gabinete: recopilación de la información esencial para el desarrollo del estudio.
- b. Verificación en campo: validación y evaluación directa en los suelos agrícolas del distrito de Tapuc – Daniel Carrión.
- c. Trabajo de gabinete: consolidación y análisis de los datos recolectados para la elaboración del informe final

3.4. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental y descriptivo, ya que, como señala Hernández et al. (2010), en un estudio descriptivo se identifican una serie de aspectos específicos y se mide cada uno de ellos por separado, con el

objetivo de describir el fenómeno en estudio. En este caso, se han definido las variables a medir y los instrumentos necesarios para hacerlo, como el grado de contaminación por metales pesados en el suelo. Los procedimientos e instrumentos utilizados están detallados en la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (2014).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está compuesta por los suelos agrícolas para el cultivo de la papa en el distrito de Tápuc – Daniel Alcides Carrión.

3.5.2. Muestra

Las muestras son las cantidades recolectadas de suelo en cada muestreo en diferentes meses del año del suelo agrícola y esta cumple los procedimientos adecuados para llevarlos a los análisis de laboratorio químico. El punto de muestreo, se ubica en el siguiente cuadro.

Coordenadas	Este	Norte
	339765	8845538
Altitud	3664 msnm	
5 muestras en diferentes meses del año 2022 a 2023	02/10/2022	
	02/11/2022	
	02/12/2022	
	02/01/2023	
	02/02/2023	

Figura 8. *Ubicación del terreno donde se realiza la toma de muestra*



3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas que se han utilizado para recolectar la información son los establecidos por las normas del país.

3.6.1. Análisis de muestras

Los respectivos análisis de las muestras se han podido realizar en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el cual se usó el método de espectrofotometría de Absorción atómica para la cuantificación de metales pesados en los suelos agrícolas.

3.6.2. Instrumentos

Se utilizó los documentos que definen el procedimiento para la correcta recolección, transporte, conservación de muestras disponibles para su análisis y también del documento del modo de uso del equipo para el análisis del suelo.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y el análisis de los datos de la investigación se lleva a cabo utilizando técnicas, métodos e instrumentos para poder seleccionar según sea la información cuantitativa o cualitativa.

Para esta investigación de enfoque cuantitativo los análisis se llevan a cabo en el equipo de absorción atómica, estos son rápidos y fiables del elemento dado, con una alta sensibilidad. Los metales son analizados individualmente, no simultáneamente y por lo que comúnmente no es aplicable a no metales. En su mayoría de muestras orgánicas líquidas y sólidas es necesario la digestión antes del análisis.

3.8. Tratamiento estadístico

Para dar alcances estadísticos de la cuantificación de metales pesados en los suelos agrícolas se desarrollarán diversas tablas sometidas al software Microsoft Excel 2021 el cual nos permitirá interpretar y llegar a conclusiones de la cantidad de metales presentes o ausentes en los suelos agrícolas en un terreno de ocho metros cuadrados.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Esta investigación cumple con lo pedido y requerido por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la UNDAC, a su vez, esta metodología no afecta la ecología del área estudiada y alrededores, por lo contrario, tendrá un comportamiento para mejoras de la calidad del suelo agrícola en el distrito de Tápuc — Daniel Alcides Carrión-Pasco.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El cultivo de papa amarilis en la zona de Tapuc, hoy en día ofrece una gran oportunidad para obtener altos ingresos, pero al producir un tubérculo de calidad, a gran escala implica ciertos retos. Desde la preparación del suelo antes de la siembra hasta el momento de la cosecha, el proceso demanda un nivel de atención por parte del agricultor, quien debe estar familiarizado con todo el ciclo de desarrollo del cultivo y aplicar técnicas eficientes que le proporcionen una ventaja competitiva, como también las técnicas de control integrado de malezas y plagas, así como el aporque adecuado en cada etapa del crecimiento, son algunos de los conocimientos clave que los productores de papa deben manejar para obtener un rendimiento óptimo y maximizar sus beneficios.

a. Condiciones para el Cultivo de Papa

El cultivo de papa amariles, debido a las condiciones climáticas muy variadas en estos años, en ciertas ocasiones puede presentarse en situaciones menos favorables, el cultivo de papa, lo cual puede ofrecer rendimientos

menos favorables, por lo que es preciso elegir un terreno adecuado, con un suelo de buena calidad, por lo que desde el inicio permite al agricultor optimizar tiempo y recursos.

b. Requisitos del Suelo

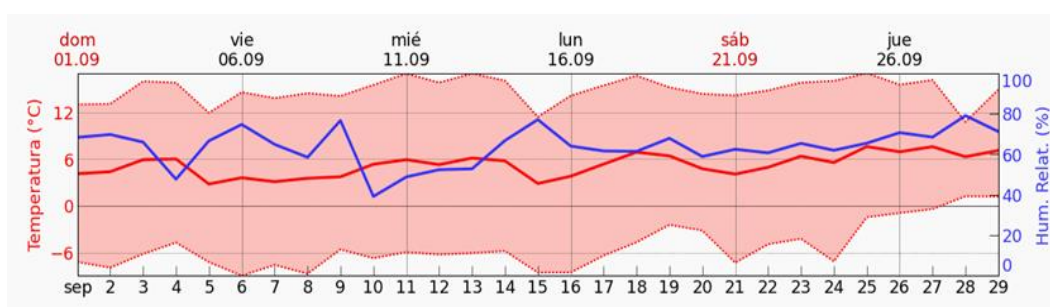
Aunque la papa amariles puede crecer en diversos tipos de suelo, lo más recomendado son los sueltos franco arenoso y bien drenados, ricos en nutrientes. En suelos arenosos, puede ser necesario regar con mayor frecuencia para mantener una adecuada humedad. Si el suelo tiene mala capacidad de drenaje o es muy arcilloso, los tubérculos pueden deformarse.

El rango óptimo de pH para el cultivo de papa es entre 5,5 y 6,0. Suelos más alcalinos, con pH elevado, favorecen la aparición de enfermedades como la sarna común, una enfermedad que afecta a los tubérculos. Antes de la siembra, es importante realizar un análisis del suelo para determinar si es adecuado o requiere correcciones.

c. Requisitos de Temperatura y Luz Solar

El clima ideal para el cultivo de papa amariles en la zona rural de Tapuc, se encuentre entre los 18 y 29°C durante el día, y entre 13 y 18°C por la noche. La papa amarilis necesita al menos seis horas de luz solar diaria para crecer correctamente. Aunque se adapta a áreas con sombra parcial, la exposición directa al sol asegura un mejor rendimiento y tubérculos más grande.

Gráfico 1. Temperaturas en Tapuc



d. Preparativos Antes de Cultivar Papas

Antes de iniciar el cultivo de la papa amariles, es necesario preparar tanto el material de siembra como el suelo. Tradicionalmente, se creía que el cultivo de papa amariles requería una labor intensiva de labranza. Sin embargo, las técnicas agrícolas modernas han demostrado que la labranza mínima también puede ser efectiva, ofreciendo además varios beneficios en la zona rural de Tapuc.

e. Preparación de las Semillas

Las semillas de papa amariles, son tubérculos especialmente seleccionados para la siembra. Los pequeños brotes, conocidos como "ojos", son el origen de los tallos y raíces del cultivo. Los trozos de semilla permiten que la planta crezca rápidamente al aprovechar la energía almacenada en ellos.

En ocasiones, se corta el tubérculo para ayudar a las plantas a adaptarse a condiciones desfavorables del suelo. Este proceso incluye calentar, cortar y enfriar los tubérculos a una temperatura de 7-10°C para preservar su viabilidad. Como el cortado acelera el envejecimiento de las semillas, solo debe realizarse en tubérculos jóvenes o de edad intermedia.

Cortar las semillas en tamaños uniformes asegura que todas las plantas crezcan de manera similar, lo que favorece una cosecha uniforme y optimiza

el rendimiento. Además, para prevenir infecciones por bacterias y hongos que causan podredumbre, se recomienda tratar los trozos con productos que protejan la semilla.

f. Preparación del Suelo

El suelo previamente sembrado con plantas como las brassicas, que lo aflojan, puede ser ideal para el cultivo de papa. Es fundamental evitar sembrar papas amariles en suelos donde previamente se hayan cultivado otras solanáceas, para reducir el riesgo de enfermedades. Se recomienda una rotación de cultivos que incluya leguminosas, como la alfalfa, habas, y otros.

La preparación del suelo convencional implica labrarlo a una profundidad de 20-31 cm y aplicar una capa de 8-10 cm de abono orgánico o compost entre 4 y 6 semanas antes de la siembra. En suelos arcillosos o con problemas de drenaje, los lechos elevados pueden ser una mejor opción. Asegúrese de nivelar el terreno y eliminar piedras y terrones antes de plantar.

Aunque la adopción de la labranza mínima aún es limitada, cada vez más agricultores la están implementando junto con cultivos de cobertura. Este método ayuda a reducir la incidencia de enfermedades y mejora la capacidad del suelo para retener agua, optimizando así el rendimiento del cultivo de papa.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultado

Los análisis realizados en el laboratorio químico, cuyos resultados permiten interpretar el comportamiento, de la absorción de los metales en el desarrollo del cultivo de papa amariles, del suelo en la zona rural de Tapuc, se muestra a continuación:

Tabla 5. *Fechas y el crecimiento de la papa y extracción de elementos metálicos presentes en el suelo en Tapuc.*

N°	Fecha	Tamaño, M	Extracción, mg/1000 g = (ppm)				
			Pb	Cd	Cu	Ni	Zn
1	02/10/2022	0	0.32	0.0053	0.0056	354	5.65
2	02/11/2022	0.18	0.31	0.0052	0.0054	350	5.64
3	02/12/2022	0.35	0.31	0.0051	0.0054	348	5.64
4	02/01/2023	0.50	0.29	0.0051	0.0053	345	5.63
5	02/02/2023	0.60	0.28	0.0050	0.0053	344	5.62

Se realizaron monitoreos iniciales del suelo en el momento de la siembra, arrojando los siguientes niveles elementales: Pb = 0,32 ppm, Cd = 0,0053 ppm, Cu = 0,0056 ppm, Ni = 354 ppm y Zn = 5,65 ppm. Al finalizar el periodo de prueba, se observó una reducción de estos elementos.

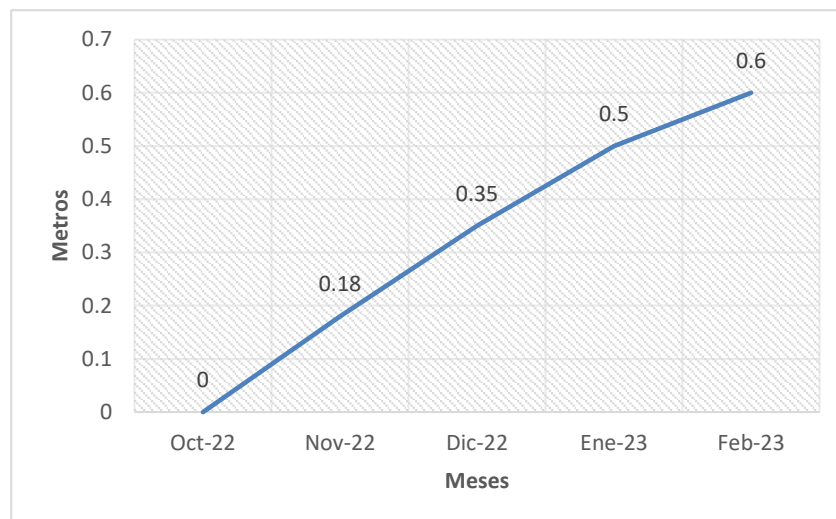
La última evaluación, se realizó cinco meses después, en la etapa de la cosecha de la papa amarilis, la planta alcanzó una altura promedio máxima de 0,6 m. Los análisis elementales en este punto mostraron los siguientes valores: Pb = 0,28 ppm, Cd = 0,0050 ppm, Cu = 0,0053 ppm, Ni = 344 ppm y Zn = 5,62 ppm.

Los estudios del suelo en la zona de cultivo de Tapuc fueron realizados utilizando el equipo de Absorción Atómica a la llama de la UNAS, y en algunos casos, como el análisis de plomo, se utilizó el Horno de Grafito para mejorar la precisión en los análisis químicos realizados.

Las figuras demuestran que el contenido de metales en el suelo, en forma general, disminuyen su contenido con el tiempo. Esto significa que esa reducción

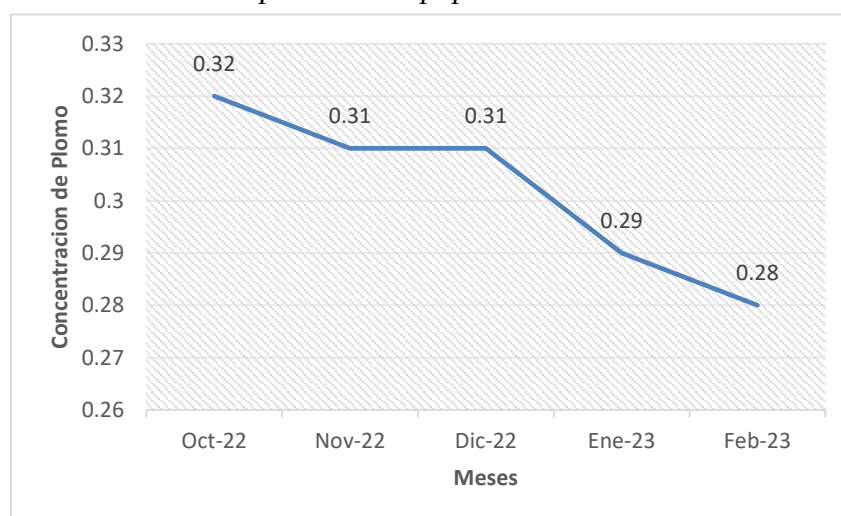
se debe a la absorción de la planta; alojándose en las raíces, cortezas, hojas y frutos; en el caso de la papa, en los tubérculos.

Gráfico 2. *Crecimiento de la papa amariles según los meses de su desarrollo.*



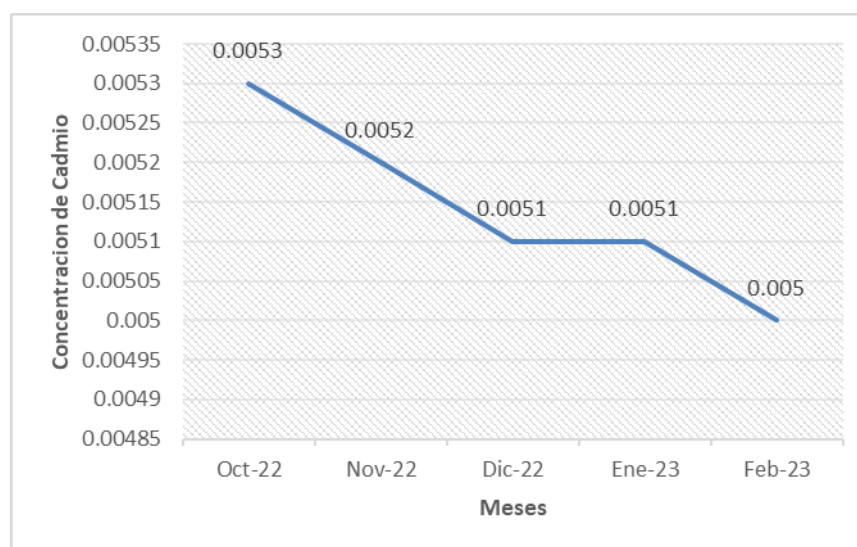
Se realizaron monitoreos iniciales del suelo en el momento de la siembra y durante el crecimiento de la papa amarilis. Según los análisis realizados, se observó una variación en la concentración de plomo, con los siguientes valores medidos: 0,32 ppm, 0,31 ppm, 0,31 ppm, 0,29 ppm, y finalmente 0,28 ppm. Durante los meses se octubre del 2022 al febrero del 2023.

Gráfico 3. *Concentración de plomo en el suelo según el crecimiento de la planta de la papa amariles.*



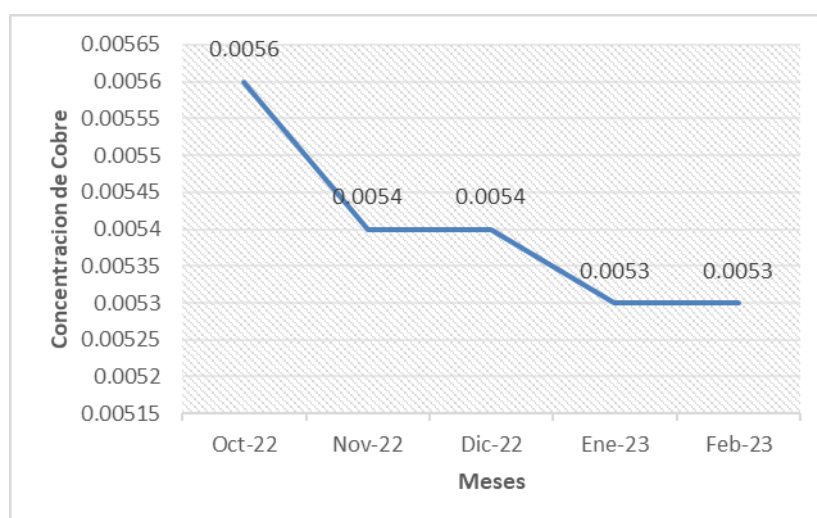
Durante el periodo comprendido entre octubre de 2022 y febrero de 2023, se llevaron a cabo monitoreos del suelo en el momento de la siembra y a lo largo del crecimiento de la papa amarilis. Los análisis indicaron una disminución gradual en la concentración de cadmio, registrando los siguientes valores: 0,0053 ppm, 0,0052 ppm, 0,0051 ppm, 0,0051 ppm y 0,0050 ppm

Gráfico 4. Variación de la concentración de cadmio en el suelo durante el crecimiento de la papa amariles:



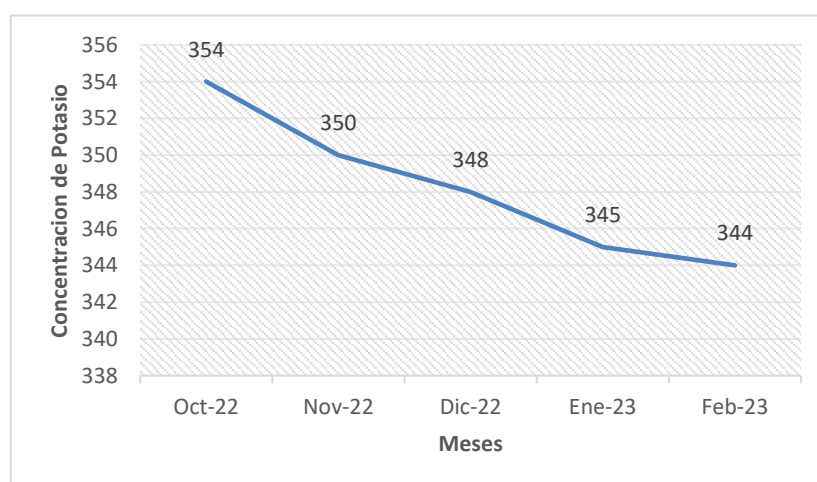
Entre octubre de 2022 y febrero de 2023, se realizaron monitoreos periódicos del suelo desde la fase de siembra hasta el desarrollo del cultivo de papa amarilis. Los análisis mostraron una reducción gradual en la concentración de cobre, con valores registrados de 0,0056 ppm, 0,0054 ppm, 0,0054 ppm, 0,0053 ppm y 0,0053 ppm.

Gráfico 5. *Análisis de la concentración de cobre en el suelo a lo largo del desarrollo de la papa amariles.*



Durante el período comprendido entre octubre de 2022 y febrero de 2023, se llevaron a cabo monitoreos continuos del suelo desde la siembra hasta el desarrollo de la papa amariles. Los análisis reflejaron una disminución progresiva en la concentración de níquel, registrando los siguientes valores: 354 ppm, 350 ppm, 348 ppm, 345 ppm y 344 ppm.

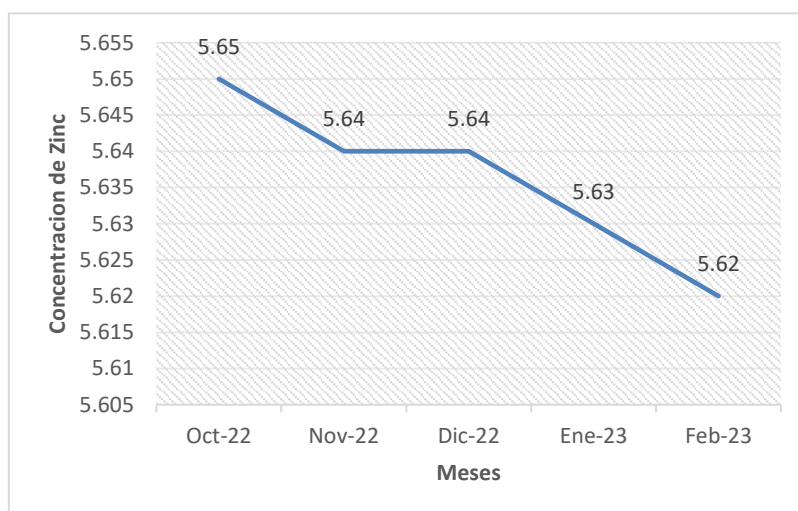
Gráfico 6. *Concentración de Potasio*



Entre octubre de 2022 y febrero de 2023, se realizaron monitoreos periódicos del suelo desde la siembra hasta el crecimiento de la papa amariles.

Los resultados de los análisis mostraron una reducción gradual en la concentración de zinc, con los siguientes valores: 5.65 ppm, 5.64 ppm, 5.64 ppm, 5.63 ppm y 5.62 ppm

Gráfico 7. *Fluctuaciones en la concentración de zinc en el suelo durante el desarrollo de la papa amariles*



4.3. Prueba de hipótesis

Para evaluar la hipótesis formulada en el estudio, es importante compararla con los resultados obtenidos. Si la hipótesis planteada fue de la siguiente manera:

Hipótesis: "El cultivo de papa amariles en los suelos agrícolas del distrito de Tápuç reduce progresivamente la concentración de metales en el suelo debido a su absorción por la planta."

Evaluación de la Hipótesis

Confirmación parcial de la hipótesis:

Los resultados muestran una disminución en la concentración de plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn) en el suelo a lo largo del desarrollo del cultivo.

Esto respalda la idea de que la papa absorbe estos elementos y los almacena en sus estructuras, principalmente en los tubérculos, hojas y raíces.

a. Variabilidad en la reducción de metales

Si bien la tendencia general es una disminución en la concentración de metales, la velocidad de absorción varía según el elemento.

El plomo (Pb) y el cadmio (Cd), considerados metales pesados y tóxicos, presentaron una disminución leve pero constante, lo que indica que la planta los absorbe en menor proporción.

El níquel (Ni) mostraron una reducción más marcada, lo que sugiere que la planta los utiliza en mayor cantidad para su crecimiento.

b. Importancia del estudio y estudios adicionales

Aunque los resultados apoyan la hipótesis de que el cultivo de papa reduce los niveles de metales en el suelo, se requieren estudios adicionales para determinar cómo estos metales se distribuyen dentro de la planta y su impacto en la calidad del tubérculo cosechado.

Sera importante analizar si estos metales afectan la calidad nutricional de la papa amarilis o si representan un riesgo para el consumo humano.

Puedo concluir sobre la Hipótesis

Los datos obtenidos respaldan la hipótesis formulada, ya que se observó una disminución en la concentración de metales en el suelo, lo que sugiere que la papa amariles los absorbe durante su crecimiento. Sin embargo, se recomienda realizar estudios complementarios para analizar la acumulación de estos metales en los tubérculos y su impacto en la seguridad alimentaria.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el monitoreo de suelos y cultivos de papa indican una reducción gradual en la concentración de cobre en el suelo, lo que sugiere que la absorción por las plantas y otros procesos de atenuación natural han contribuido a su disminución. Esta tendencia coincide con lo reportado por Liu et al. (2018), quienes demostraron que la solubilidad y absorción de metales pesados en sistemas suelo-papa dependen de factores como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo.

En relación con el contenido de almidón en las papas, los hallazgos pueden interpretarse a la luz del estudio de Rajković et al. (2002), quienes determinaron que la concentración de este compuesto varía según las condiciones climáticas y geográficas. Se ha observado que los cultivos en zonas con climas templados y precipitaciones adecuadas presentan mayores niveles de almidón, mientras que aquellos en regiones con temperaturas más altas y sequías tienen concentraciones inferiores. Esto sugiere que la gestión del agua y el microclima pueden ser determinantes en la calidad del producto final.

Por otro lado, la presencia de cadmio en los cultivos de papa es una preocupación recurrente en diversos estudios. Liu et al. (2018) y Nzediegwu et al. (2019) destacaron que este metal pesado tiene una alta movilidad y solubilidad en suelos, facilitando su absorción por las plantas. En los estudios nacionales, Cusi Ticllacuri (2021) y Luna Arenas & Rodríguez Lozada (2016) confirmaron que los niveles de cadmio en algunos cultivos de papa superan los límites máximos permisibles, lo que representa un riesgo tanto para el consumo humano como para la comercialización del producto. Esto concuerda con la normativa

europea mencionada en el estudio de Rajković et al. (2002), que impone restricciones estrictas sobre la presencia de este metal en alimentos.

La influencia del uso de fertilizantes y enmiendas orgánicas en la disponibilidad de metales pesados también se ha identificado como un factor clave. Según Liu et al. (2018), la aplicación de compost de lodo municipal (MSC) aumenta la fracción lábil de metales pesados, incrementando su absorción por las plantas de papa. En este sentido, los hallazgos de Fabián Céspedes (2022) en su estudio sobre cultivos convencionales y orgánicos en Huánuco refuerzan la hipótesis de que las prácticas agrícolas influyen directamente en la concentración de contaminantes en los tubérculos.

Respecto a los pesticidas, los estudios de Kurek et al. (2016) y Álvaro Huayhuacuri & Cárdenas Alarcón (2020) resaltan la necesidad de regular su aplicación debido a sus efectos en la calidad del suelo y el producto final. Sin embargo, Rajković et al. (2002) señalaron que los pesticidas lindano y bensultap no alcanzaron valores críticos en los análisis realizados, lo que indica que su impacto puede ser menor en algunas zonas.

Finalmente, los estudios de Nzediegwu et al. (2019) han demostrado que la escasez de agua en países en desarrollo ha llevado al riego con aguas residuales contaminadas, lo que incrementa la acumulación de metales pesados en los cultivos. Si bien esta situación no se reporta en los antecedentes nacionales, resalta la importancia de regular las fuentes de riego para evitar la contaminación de los alimentos.

Luego de realizar un análisis los resultados obtenidos se confirman que factores como el tipo de suelo, el uso de fertilizantes, las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas influyen directamente en la calidad y seguridad de la

papa cultivada. La aplicación de estrategias de manejo sostenible del suelo y el agua será clave para garantizar la inocuidad de este alimento y minimizar los riesgos asociados a la presencia de contaminantes

CONCLUSIONES

1. Absorción de metales por la planta de papa amariles: Se evidenció una reducción progresiva en la concentración de los metales analizados en el suelo (Pb, Cd, Cu, Ni y Zn) a lo largo del período de cultivo. Los valores iniciales en el suelo fueron:
 - Plomo (Pb): 0,32 ppm → 0,28 ppm
 - Cadmio (Cd): 0,0053 ppm → 0,0050 ppm
 - Cobre (Cu): 0,0056 ppm → 0,0053 ppm
 - Niquel (Ni): 354 ppm → 344 ppm
 - Zinc (Zn): 5,65 ppm → 5,62 ppm
2. Esta reducción sugiere que la planta de papa amariles absorbió estos metales y los acumuló en diferentes partes de su estructura, especialmente en los tubérculos.
3. Crecimiento de la planta y disminución de metales: A medida que la planta alcanzó su altura máxima de 0,6 m en la etapa de cosecha, los niveles de elementos metálicos en el suelo fueron disminuyendo. Esto indica que el desarrollo del cultivo influye directamente en la extracción de estos elementos del suelo.
4. Impacto en la calidad del suelo: La disminución de metales pesados como el plomo (de 0,32 a 0,28 ppm) y el cadmio (de 0,0053 a 0,0050 ppm) sugiere que el cultivo de papa amariles puede contribuir a la reducción de contaminantes en el suelo. Esto tiene implicaciones importantes para la restauración y sostenibilidad de los suelos agrícolas en la zona rural de Tápuc.
5. Importancia del monitoreo continuo: Los análisis realizados con equipos de Absorción Atómica a la llama y Horno de Grafito permitieron obtener mediciones precisas de la concentración de metales en el suelo. Este tipo de monitoreo es esencial para evaluar la sostenibilidad del uso agrícola en la región.
6. Relevancia para la seguridad alimentaria: La absorción de metales por la papa resalta

la necesidad de realizar estudios adicionales sobre la acumulación de estos elementos en los tubérculos cosechados. Esto es clave para evaluar la seguridad del consumo humano y diseñar estrategias de manejo agrícola que minimicen riesgos para la salud.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de elementos metálicos no considerados en la presente investigación
- Contar con equipos para remover la tierra ya que se tuvo que realizar esta investigación con herramientas artesanales.
- Contar con un equipo de Absorción Atómica que garantice los trabajos locales de Análisis Químicos.
- Efectuar el cultivo de la papa amariles en la localidad de Tapuc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andina (marzo 2022). *Aprueban norma técnica para impulsar buenas prácticas en el cultivo de papa nativa*. Agencia Peruana de Noticias. <https://cutt.ly/qwJA4caI>
2. Arenas, R., & Rodriguez, L. (2016). Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta– Cajamarca. *Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
3. Borda y Lahura (2020) **“Incidencia de los metales pesados, en la calidad de la papa negra *Solanum Tuberosum* proveniente de la provincia de Tarma, Junín, Perú”**
4. Camas y Valqui (2016) **“Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*solanum tuberosum* sp.) de la localidad Cohechán, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento Amazonas - 2016.”**
5. Chambi, Céspedes y Zurita (2017) **“Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó-Bolivia”**
6. DB City, (s/f) *Ubicación de Tapuc*. <https://cutt.ly/rwJSiHaE>
7. Eco Sol (s/f) *Semillas de papa Amarilis*. <https://cutt.ly/fwJSr2Jn>
8. Maldonado (2019) **“Determinación de metales pesados y pérdidas postcosecha en papa (*Solanum tuberosum*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*).”**
9. Pozo (2021) **“EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS EN LA PARROQUIA AMBUQUÍ DEL CANTÓN IBARRA”**
10. Rodriguez (2018) **“Evaluación del contenido de minerales tóxicos en zanahoria (*daucus carota*) y tres variedades de papa (*solanum tuberosum*) del valle del**

Mantaro”

11. Salazar (2019) “Aplicación de la extracción con agua regia para analizar elementos traza en suelos contaminados”
12. Sánchez (2017) “Evaluación del contenido de metales pesados (cd y pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga”
13. Sibello, Guillén, Alomá y Castellanos (2021) “Niveles de referencia de metales pesados en suelos del confinamiento de desechos peligrosos Juraguá, Cuba”
14. Torrente, Calderón y Joven (2020) “Metales en suelos productores de arroz del distrito Juncal, Huila - Colombia”

CONSULTAS WEB

- <http://www2.ugelsanpablo.gob.pe/sites/default/files/boletines/documentos/PAPAAMARILIS.pdf>
- <https://cipotato.org/es/>
- <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>
- <https://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- [https://www.midagri.gob.pe/portal/23-sector-agrario/cultivos de importancia nacional/183-papa](https://www.midagri.gob.pe/portal/23-sector-agrario/cultivos_de_importancia_nacional/183-papa).
- <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf> variedades de papas
- [https://buenazo.pe/notas/2020/09/23/papas-peruanas variedades-caracteristicas-usos-167](https://buenazo.pe/notas/2020/09/23/papas-peruanas_variedades-caracteristicas-usos-167) nutrientes en la papa
- [https://www.ngenespanol.com/ciencia/10-beneficios-papa-nuestro-organismo/Semillas de papa amarilis](https://www.ngenespanol.com/ciencia/10-beneficios-papa-nuestro-organismo/Semillas-de-papa-amarilis)
- https://ecosol.com.pe/index.php?route=product/product&product_id=231 Papa

amarilis

- https://ecosol.com.pe/index.php?route=product/product&product_id=231

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos



ANALISIS ESPECIAL

RESULTADO DE LOS ANALISIS SOLICITADO

SOLICITANTE	Fiorella RUIZ ALIAGA	FECHA DE MUESTREO	02-10-2022
PROCEDENCIA	Tapuc - Yanahuanca	RECIBO N°	38746
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	TIPO DE MUESTRA	En la planta de la papa (Metales)

DATOS DE LA MUESTRA RESULTADOS							
Código	Referencia	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)	HIERRO (ppm)	COBRE (ppm)	POTASIO (ppm)	ZINC (ppm)
E406	M1	0.32	0.0053	0.674	0.0056	354	5.65

Los resultados presentados son validados únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe la información suscrita del LAB.AE.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS ESPECIAL

RESULTADO DE LOS ANALISIS SOLICITADO

SOLICITANTE	Fiorella RUIZ ALIAGA		FECHA DE MUESTREO	02-11-2022			
PROCEDENCIA	Tapuc - Yanahuanca		RECIBO N°	38746			
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE		TIPO DE MUESTRA	En la planta de la papa (Metales)			
DATOS DE LA MUESTRA RESULTADOS							
Código	Referencia	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)	HIERRO (ppm)	COBRE (ppm)	POTASIO (ppm)	ZINC (ppm)
E406	M1	0.31	0.0052	0.659	0.0054	350	5.64

Los resultados presentados son validados únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe la información suscrita del LAB.AE.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALBERTO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS ESPECIAL

RESULTADO DE LOS ANALISIS SOLICITADO

SOLICITANTE		Fiorella RUIZ ALIAGA		FECHA DE MUESTREO		02-12-2022	
PROCEDENCIA		Tapuc - Yanahuanca		RECIBO N°		38746	
MUESTREADO POR		EL SOLICITANTE		TIPO DE MUESTRA		En la planta de la papa - (Metales)	
DATOS DE LA MUESTRA RESULTADOS							
Código	Referencia	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)	HIERRO (ppm)	COBRE (ppm)	POTASIO (ppm)	ZINC (ppm)
E406	M1	0.31	0.0051	0.653	0.0054	348	5.64

Los resultados presentados son validados únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe la información suscrita del LAB.AE.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILMER MILTON NEBRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS ESPECIAL

RESULTADO DE LOS ANALISIS SOLICITADO

SOLICITANTE	Fiorella RUIZ ALIAGA	FECHA DE MUESTREO	02-01-2023				
PROCEDENCIA	Tapuc - Yanahuanca	RECIBO N°	38746				
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	TIPO DE MUESTRA	En la planta de la papa – (Metales)				
DATOS DE LA MUESTRA RESULTADOS							
Código	Referencia	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)	HIERRO (ppm)	COBRE (ppm)	POTASIO (ppm)	ZINC (ppm)
E406	0.29	0.0051	0.629	0.0053	345	5.63	0.29

Los resultados presentados son validados únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe la información suscrita del LAB.AE.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ADOLF O HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS ESPECIAL

RESULTADO DE LOS ANALISIS SOLICITADO

SOLICITANTE		Fiorella RUIZ ALIAGA		FECHA DE MUESTREO		02-02-2023	
PROCEDENCIA		Tapuc - Yanahuanca		RECIBO N°		38746	
MUESTREADO POR		EL SOLICITANTE		TIPO DE MUESTRA		En la planta de la papa - (Metales)	
DATOS DE LA MUESTRA RESULTADOS							
Código	Referencia	PLOMO (ppm)	CADMIO (ppm)	HIERRO (ppm)	COBRE (ppm)	POTASIO (ppm)	ZINC (ppm)
E406	0.28	0.0050	0.619	0.0053	344	5.62	0.28

Los resultados presentados son validados únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe la información suscrita del LAB.AE.

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ACUÑA HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILMER MILTON NEBRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología

Anexo 02 Cliché de INIA

[DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM](#)

“La presente norma aprueba estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Dichos estándares constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios. Se dispone que de superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente”



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Dirección General
de Asuntos Ambientales de Hidrocarburos

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM

CONCORDANCIAS: R.M.N° 337-2018-MEM-DM (Autorizan publicación de proyecto de Decreto Supremo que aprueba las "Disposiciones para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Suelo y de los Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados generados en Actividades Eléctricas y de Hidrocarburos")

Enlace Web: EXPOSICIÓN DE MOTIVOS - PDF.

NOTA: Esta Exposición de Motivos no ha sido publicada en el diario oficial "El Peruano", a solicitud del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, ha sido enviada por la Secretaría General del Ministerio del Ambiente, mediante Oficio N° 024-2018-MINAM/SG, de fecha 11 de enero de 2018.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

Anexo 03 Publicación del D.S.011-2017 MINAM

FOTOGRAMAS

FOTO 01 Reconocimiento del terreno para la siembra



FOTO 02 Preparando muestra para análisis preliminar antes de la siembra de papa



FOTO 03 Siembra



FOTO 04 Cultivo de la papa



FOTO 05 Floración de la papa



FOTO 06 Re cultivo de la papa



FOTO 07 La papa lista para la cosecha



FOTO 08 Cosecha de la papa



FOTO 09 Cosecha 02 de la papa



FOTO 10 *Preparando muestra para análisis preliminar antes de la cosecha de papa*



*FOTO 11 Preparando de muestra para análisis preliminar después
del sembrío de papa*



*FOTO 12 Tesista preparando su muestreo para el análisis preliminar despues
de siembra*



Foto 13 Laboratorio donde se realizó el análisis del suelo de la investigación.



Foto 14 Laboratorio de análisis de suelo



Foto 15 Preparación de la muestra.



Foto 16 Analisis de suelo en la Espectrometria.



Foto 17 Localidad de Tápuc, zona de la investigación