



UNAP



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

TESIS

DETERMINACIÓN DE PLOMO EN RAÍCES DE *Manihot esculenta*
(YUCA) EN EL DISTRITO DE CAMPO VERDE, UCAYALI - PERÚ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

CLAUDIA MERCEDES MARIN CUEVA

ASESOR:

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela Profesional de
Ingeniería en Industrias Alimentarias

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 014-CGT-FIA-UNAP-2023

A los 13 días del mes de octubre de 2023, a horas... 11:00 AM..., en las instalaciones de la Sala de Reuniones de Decanatura, de la Facultad de Industrias Alimentarias, en la Ciudad Universitaria Zungarococha, dando inicio a la sustentación Pública de la Tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE PLOMO EN RAÍCES DE **Manihot esculenta (Yuca)** EN EL DISTRITO DE CAMPO VERDE, UCAYALI - PERÚ.", presentado por la Bachiller, **CLAUDIA MERCEDES MARIN CUEVA**, para optar el Título Profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0377-FIA-UNAP-2023 del 07 de agosto de 2023, está integrado por:

Ing. WILSON GUERRA SANGAMA, Dr.
Blga. JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE, Mtra.
Ing. CARLOS ALFREDO VEGAS PÉREZ, Dr.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: SATISFACTORIAMENTE

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA con la calificación BUENA

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero (a) en Industrias Alimentarias Siendo las 12:00 PM se dio por terminado el acto de sustentación.

Presidente

Ing. WILSON GUERRA SANGAMA, Dr.
CIP: 32174



Miembro

Blga. JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE, Mtra.
CBP: 2584



Miembro

Ing. CARLOS ALFREDO VEGAS PÉREZ, Dr.
CIP: 77940



Asesor

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.
CIP: 45167



JURADO

JURADOS

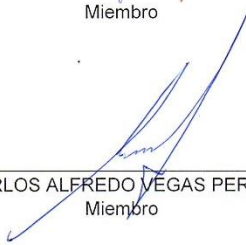
TESIS APROBADA EN SUSTENTACION PUBLICA, EN LA FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA, EL DIA 13 DEL MES DE OCTUBRE DEL AÑO 2023, POR EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR:



Ing. WILSON GUERRA SANGAMA, Dr.
Presidente



Blga. JESSY PATRICIA VASQUEZ CHUMBE, Mtra
Miembro



Ing. CARLOS ALFREDO VEGAS PEREZ, DR.
Miembro

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FIA_TESIS_MARIN CUEVA (2da rev).pdf

AUTOR

CLAUDIA MERCEDES MARIN CUEVA

RECuento DE PALABRAS

11032 Words

RECuento DE CARACTERES

55307 Characters

RECuento DE PÁGINAS

55 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 20, 2023 7:51 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 20, 2023 7:52 AM GMT-5

● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi mamá: Ing. Mercedes Cueva Yumbato, desde el cielo siempre estuvo cuidándome y guiándome, esperando con mucha alegría y observando la culminación de mis estudios para obtener el grado de ingeniera.

A mi papá: Ing. Marlon Marin García, a mis hermanos: Nataly Cecilia y Sergio Marin Cueva, por su apoyo incondicional, cariño y por estar en los momentos importante de mi vida. Este logro es para ustedes.

A mis abuelitos: Flor de María Yumbato, Pedro Cueva, Josefa García y Tercero Marin, fueron personas después de mis padres que más se preocupaban por mí. Sus canas son sinónimo de sabiduría. Me enseñaron muchas cosas vitales para la vida, y me encaminaron por el buen sendero.

Gracias a mis tíos: Rodrigo Cueva, Milena Cueva, Maribel Cueva y Silvia Cueva. Por demostrarme afecto, apoyo constante e infinita comprensión que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, a mi familia por ser mis principales motores para seguir mis sueños, metas y sobre todo por confiar y creer en mí, por sus consejos para ser de mí una persona de bien.

Al Dr. Alenguer Alva Arévalo por brindarme sus conocimientos y guiarme paso a paso para culminar este trabajo de investigación.

Al instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por brindarme el apoyo para el desarrollo de mi tesis, al Ing. Wilfredo Guillen Huachua, Coordinador de la Sub Dirección de Recursos Genéticos de la Estación Experimental Agraria Pucallpa.

ÍNDICE

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Jurados	iii
Resultado del informe de similitud	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Resumen	x
Abstract	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	8
1.3. Definición de términos básicos	34
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	36
2.1. Formulación de la hipótesis	36
2.2. Variables de estudios	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1. Tipo y diseño de estudio	39
3.2. Diseño muestral	40
3.3. Procedimiento de recolección de datos	41
3.4. Procesamiento y análisis de datos	42
3.5. Aspectos éticos	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	43
4.1. Contenido de Plomo (Pb) en las raíces de yuca	43
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	48
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	53
CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de minerales en las hojas y raíces de la yuca.	15
Tabla 2. Contenido nutricional de la harina de raíces de yuca.	16
Tabla 3. Operacionalización de las variables.	37
Tabla 4. Contenido de plomo (Pb) (mg/kg) en las raíces de yuca de los clones evaluados en el distrito de Campo Verde.	44
Tabla 5. Significación bilateral y desviación estándar entre promedios de Pb en las raíces de los clones de yuca evaluados.	45
Tabla 6. Comparativo de los promedios de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados con los límites máximos permitidos.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen y distribución geográfica de la yuca.	9
Figura 2. Características botánicas de la yuca.	14
Figura 3. Bioacumulación de metales pesados en el cultivo de la yuca y plátanos evaluados en antiguas zonas de minería ilegal en madre de Dios, Perú.	23
Figura 4. Recorrido del plomo (Pb) en el cuerpo humano.	27
Figura 5. Componentes de un fotómetro de emisión de llama y espectrofotómetro de Absorción Atómica.	31
Figura 6. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	38
Figura 7. Comparativo de los promedios de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados con los límites máximos permitidos.	47

RESUMEN

El presente estudio consistió en determinar los niveles de plomo (Pb) en la raíz comestible de yuca (*Manihot esculenta*) en el distrito de Campo Verde Ucayali – Perú. La investigación fue no experimental y descriptiva, teniendo como población de estudio a todas las parcelas agrícolas que se encuentran en el Distrito de Campo Verde; aplicando el muestreo no probabilístico intencional se procedió a analizar 500 g de raíces de 10 clones de yuca secadas a 70 ° C por 48 horas, una vez trituradas se aplicó solución nítrico perclórico 4:1 por 24 horas para después ser digeridas mediante el Método EPA 3050; finalmente se determinó el contenido de Pb total por vía húmeda en un espectrofotómetro de absorción atómica. Se pudo determinar diferencias significativas entre los promedios de Pb de las raíces de yuca de los clones evaluados, pudiendo destacar que los clones NB231, IM362-SF y AA063 son los que acumularon mayor cantidad de Pb que los clones NAL252, IM361-SF, MC015, CN025, SC062, KM44004; los valores encontrados demostraron que todos los clones de yuca (*Manihot esculenta*) acumularon concentraciones de Pb mayores a los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius, por lo que podría causar problemas a la salud de los consumidores.

Palabras clave: *Manihot esculenta*, plomo, absorción, bioacumulación, contaminación.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the levels of lead (Pb) in the edible root of cassava (*Manihot esculenta*) in the district of Campo Verde Ucayali – Peru. The research was non-experimental and descriptive, with the study population consisting of all agricultural plots located in the Campo Verde District. Intentional non-probabilistic sampling was applied, and 500 g of roots from 10 cassava clones were analyzed after being dried at 70°C for 48 hours. Once crushed, a 4:1 perchloric nitric solution was applied for 24 hours, and the roots were later digested using the EPA 3050 method. Finally, the total Pb content was determined by wet method in an atomic absorption spectrophotometer. The study found significant differences between the Pb averages of the cassava roots of the evaluated clones. The clones NB231, IM362-SF and AA063 accumulated the highest amount of Pb, while the clones NAL252, IM361-SF, MC015, CN025, SC062, KM44004 accumulated lower amounts. The values found showed that all cassava clones (*Manihot esculenta*) accumulated Pb concentrations higher than the maximum permissible limits established by the Codex Alimentarius. This could cause health problems for consumers.

Keywords: *Manihot esculenta*, lead, absorption, bioaccumulation; contamination.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos por metales pesados es un problema que afecta al mundo generado por las actividades que el hombre realiza cotidianamente en el medio ambiente y por la contaminación de suelos producto de las actividades de la minería (Zhang et al. 2019). Estudios anteriormente realizados encontraron metales pesado como plomo (Pb) en suelos inundables como las restingas y terrazas medias en la región Ucayali, que estuvieron por encima de los límites máximos permisibles en los productos agrícolas como el camu camu (*Myrciaria dubia*) (Panduro Tenazoa 2015) y en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) (Campos Solorzano Fermín, Flores Grandez Cesar E. M., y Díaz Zúñiga Edgar 2015).

La presencia de metales pesados por la contaminación de suelos, pone en peligro la presencia de estos compuestos en los alimentos, puesto que las especies vegetales pueden absorber y acumular en sus tejidos, aunque se encuentren en bajas concentraciones en el suelo (Soto-Benavente et al. 2020). En la región Madre de Dios se reportó absorción de Pb en tallos, raíces, hojas y en cantidades casi indetectables en los frutos de la especie *Manihot esculenta*, "Yuca"; en suelos donde antes hubo minería se encontró Pb con promedios entre 5.7 a 12.6 ppm indicando el peligro potencial que representa este metal pesado. En cuanto a los peligros que causa el Pb en la salud se puede mencionar los problemas neurológicos, calambres, parestesias y convulsiones, alteración a los riñones, anemia, diversos problemas hematológicos, como reducción de los glóbulos rojos y daño a la síntesis del grupo

hemo, entre otros (Berduc et al. 2021; Narváez Jaramillo, Pozo Hernández, y Alonzo Pico 2020).

Estudios realizados en peces en la bahía del Callao reportaron presencia de metales pesados debido a su hábito alimenticio, esto representa un riesgo para la salud pública siendo esto consumidos en grandes cantidades por la población del Callao (Rodríguez Vilchez 2022). En la región Cajamarca, se realizó una investigación de concentraciones de Cd y Pb en papa (*Solanum tuberosum*) en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta, el resultado mostro que no se detectó plomo en ninguna de las muestras de papa (límite de detección para plomo: 0.5 ppm), por lo no se pudo comprar con el límite máximo permisible (0.1 ppm) establecido por CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el Codex Alimentarius. En la concentración media (\bar{x}) de cadmio en las muestras de papa del rio Mashcón fue de 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm y para el rio Chonta fue de 0.3078 ppm \pm 0.0220 ppm, evidencio que el 100% de las muestras de papa presentaron concentración de cadmio superior a los límites máximos permisibles (0.1 ppm, indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revision 2009 Mod.2015 dado por el Codex Alimentarius) (Luna Arenas y Rodríguez Lozada 2016).

Se necesita conocer la presencia de metales pesados en los alimentos que se comercializa y que son más consumidos localmente, por la presente tesis tuvo como objetivo principal determinar los niveles de Pb en las raíces comestibles de la Yuca (*Manihot esculenta*) en plantaciones del Distrito de Campo Verde, Ciudad de Pucallpa, Región Ucayali – Perú, que es conocida localmente como una zona donde se cultiva esta

especie y en este distrito se encuentra el banco de germoplasma de Yuca del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Pucallpa.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Calloapaza Valladares (2022), relacionó la concentración de metales en el suelo y en los tejidos de la especie *Manihot esculenta* (yuca) en las zonas de Puerto Almendra, Nina Rumi, región Loreto. El estudio fue de tipo correlacional a nivel descriptivo transversal, con un diseño experimental. El contenido de Hierro (Fe), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) fueron analizados por medio de absorción atómica de todas las muestras de suelos y de hojas de yuca evaluadas, encontraron que el contenido de metales en el suelo a profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm superaron los valores establecidos por el ECA (límites permisibles), de igual forma en las hojas el contenido de Pb fue entre 2,4 a 2,85 ppm y el Cd con 0,02 a 0,03 ppm encontrándose ligeramente dentro del rango normal con valores menores a los establecidos por los límites permisibles ($\leq 0,02$ ppm); demostrando de esta manera que las hojas de yuca contenían valores más altos que en las raíces, y que a mayor concentración de metales en el suelo mayor será la concentración en los tejidos de las plantas que los absorben como en las hojas y las raíces de la especie *Manihot esculenta* (yuca).

Vera Chica (2022), realizó un trabajo de investigación cuyo objetivo fue evaluar los riesgos asociados al consumo de yuca contaminada por metales pesados presentes en el suelo y agua en la Parroquia Dayuma en el Ecuador. El estudio fue de tipo descriptivo y experimental, donde se tomaron varias muestras de raíces de yuca de un peso de 500 g para su respectivo análisis de metales pesados. Según los resultados obtenidos en el estudio, se obtuvo 25,00 ppm de Pb tanto en suelo como en la raíz yuca reflejando así una gran capacidad de absorción en esta especie y que los valores encontrados sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la FAO, puesto que el contenido máximo permitido de Pb en las raíces de yuca debe ser de 0.1 ppm, por lo que este alimento analizado es un riesgo potencial, ya que estos elementos tóxicos causan graves problemas en la salud del consumidor.

Soto-Benavente et al., (2020), realizó un trabajo de investigación cuyo objetivo fue determinar el contenido de Arsénico (As), Cd, Pb y Mercurio (Hg) en suelos y productos agrícolas (plátano y yuca) en áreas abandonadas por minería aurífera, sureste de la Amazonía peruana. El estudio fue de tipo descriptivo. Se seleccionaron 2 sitios para la evaluación de metales pesados en suelo y productos agrícolas. El área abandonada “La Pastora” y “comunidad de Infierno”, fueron los sitios seleccionados y donde antes hubo actividad de minería ilegal. Se analizó la concentración y bioacumulación de metales pesados que fue según el órgano de la planta (raíz, tallo, hoja y fruto). Según los resultados en la yuca se encontró una elevada acumulación de Pb y As en las raíces y tallos (> 2,9 ppm). Se concluyó que el grado de bioacumulación de estos

elementos fue intenso, y las concentraciones de As y Pb en raíces de yuca encontradas superan los límites máximos permisibles recomendados por la FAO y la OMS.

Okereke et al., (2020), realizó un trabajo de investigación cuyo objetivo fue determinar el contenido de metales pesados (Cd, Níquel (Ni), Pb, Cu, Zn) en el cultivo de yuca en plantaciones de Nigeria. El estudio fue de tipo descriptivo y cuantitativo. Se colectaron raíces y hojas de yuca de 3 parcelas de producción locales. El contenido de metales pesados se determinó por medio del método de espectrofotometría de absorción atómica. Según los resultados se encontraron valores altos de metales pesados en los tejidos de la yuca entre los que destacan el Cu ($6,29 \pm 0,0346$), Zn ($8,49 \pm 2,243$), Pb ($0,5267 \pm 0,3156$) y Cd ($0,1167 \pm 0,0833$), en las hojas de la yuca el orden de mayor a menor concentración de metales pesados fue el siguiente Zn > Cu > Pb > Ni > Cd. Así mismo se encontró una correlación positiva entre el contenido de metales en el suelo y en las raíces de la yuca; demostrando que contaminación por metales pesados en el cultivo de yuca en las parcelas evaluadas, por lo que representa un riesgo potencial para los consumidores.

Rada Mendoza et al., (2018), realizaron un trabajo de investigación para cuantificar el Pb por el método de EAA-HG en las películas flexibles biodegradables, almidones y harinas que son derivados de la materia prima la yuca. El estudio fue de tipo descriptivo y experimental. Se calentó el horno de grafito el mismo que fue ajustado mediante las curvas de calcinación y atomización para su análisis. El rango de trabajo fue de

2.0 a 7.0 $\mu\text{g/L}$, con límites de detección y cuantificación de 0.618 y 1.853 $\mu\text{g/L}$, respectivamente. Se evaluó la precisión y las repeticiones del método utilizado el cual presento desviaciones de 4.70% y 4.36%, durante su ejecución. De acuerdo a los resultados se logró determinar que el método es excelente para la determinación de Pb en la yuca, puesto que se encontraron contenidos menores a 1 mg/kg. Se concluyó que los polímeros también pueden ser utilizados como contenedores de alimentos.

Adu et al., (2018), realizaron un trabajo de investigación cuyo objetivo fue evaluar el contenido de metales pesados en la yuca producidas en parcelas del estado de Lagos, Nigeria. El estudio fue de tipo descriptivo y cuantitativo. Se tomaron como muestras raíces, hojas y tallos de las plantas de yuca y se determinó el contenido de metales pesados mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS). Según los resultados que en la parte de las hojas se acumularon Níquel (3559.67 ± 5794.16), Manganeso (120.33 ± 5.51) y Cobre ($52.10 \pm 2,85$), mientras que en los tallos se acumularon Sodio (Na; 11620.00 ± 820.18) y Potasio (K; 15133.33 ± 508.46), así mismo en las raíces de la yuca se encontró Calcio ($3996.67 + 35.12$). Los contenidos de Pb (0.03 ± 0.05) y Cd (0.08 ± 0.08) fueron altos y significativos y también su presencia en los suelos. Se concluyó que los contenidos de Cd, Ni, Fe, Mn, Zn, Pb y Cu sobrepasaron los límites permisibles establecidos por la OMS, por lo que el tubérculo y las hojas de la yuca en estas zonas evaluadas pueden ser una amenaza para los que la consumen.

Llori Ordoñez & Tapia Romero (2017), realizó un trabajo de investigación cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de bioacumulación de trazas de metales pesados en la yuca cultivada en suelo remediado de la Parroquia Taracoa en Ecuador. El estudio fue de tipo descriptivo y experimental, donde se ensayaron 8 experimentos: 4 en suelos remediados y 4 en suelos agrícolas. Se evaluó el contenido inicial y final de los suelos y el contenido de metales en la yuca para determinar la cantidad bioacumulada de estos elementos. Las muestras obtenidas se analizaron utilizando la técnica de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP). Los resultados de bioacumulación en los tejidos de la yuca inferiores a los límites permisibles, por lo que se aplicó un diseño ANOVA de un factor y un modelo estadístico TUKEY. Se concluyó que, las características físicas de las plantas se vieron afectadas debido a la presencia de metales pesados en los suelos remediados evaluados.

De la O Valenzuela & Quispe Aguirre (2017), desarrollaron una investigación en la cual uno de sus objetivos fue determinar cuantitativamente, mediante Espectrometría de Absorción Atómica los niveles de Pb en la yuca (*Manihot esculenta*) comercializadas en el “Mercado del Distrito de San Martín de Pangoa, Ciudad de Satipo, Junín, Perú. El estudio fue de tipo experimental – descriptivo, donde se tomaron 10 muestras, extrayendo 1 kilogramo de cada una de los diez tipos de yuca. Según los resultados se encontró un promedio de 0,13 ppm de Pb, con un valor mínimo de 0,01 ppm y un valor máximo de 0,24 ppm, los cuales superan en un 90% los límites permisibles establecidos por el

CODEX ALIMENTARIUS. Se concluyó que la presencia de Pb en yuca puede repercutir en la salud de los consumidores finales.

1.2. Bases teóricas

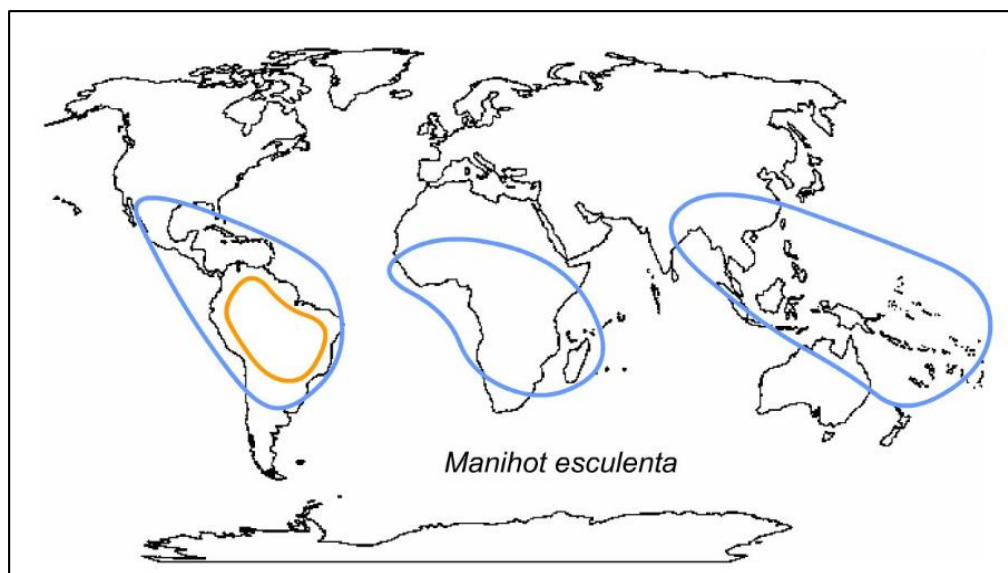
1.2.1. La especie *Manihot esculenta* (Yuca)

1.2.1.1. Generalidades

Manihot esculenta conocido comúnmente como yuca puede ser cultivada en las diferentes zonas tropicales y subtropicales del planeta, que es a su vez la base alimenticia de muchas poblaciones en esas zonas. El origen de esta especie es el continente americano, específicamente no se conoce la exactitud, pero se reconoce que es del Sur y Centro de América (Olsen y Schaal 1999).

Se distribuye a lo largo de varios países como Venezuela y Colombia hasta el Noroeste de Brasil. En el mundo, la yuca representa uno de los alimentos más consumidos y que se cultiva en varias regiones, como en la región amazónica donde es uno de los productos agrícolas más cultivados por las bondades que ofrece, como su alto contenido de compuestos energizantes y carbohidratos, además representa la materia prima base y más fácil de conseguirla para la elaboración de alcoholes, gomas, fariña, alimento para animales, productos cosméticos, productos alimenticios, suplementos, etc (Alcantara, Doronila, y Kolev 2017; Mombo et al. 2016).

Figura 1. Origen y distribución geográfica de la yuca.



Fuente: GBIF, 2023.

Por otro lado, la yuca es una de las especies que mejor se adapta a los diferentes tipos de suelos y sus estados, así como también a factores como la altura y los climas diversos donde se pueda cultivarla, esto debido a sus características de rusticidad y resistencia en ambientes hostiles (Pérez Iglesias y Rodríguez Delgado 2018). Generalmente la especie se desarrolla en un nivel óptimo de producción, cuando las condiciones edafoclimáticas se asemejan a las que se mencionan a continuación:

- Clima: preferente cálidos, trópicos y subtrópicos.
- Temperatura: nivel óptimo de 25 a 29 °C.
- Luz solar (Horas luz): de 10 a 12 horas fotoperiodo.
- Humedad del ambiente o relativa: de 80 a 90%.
- Precipitación pluvial (lluvias): de 800 a 2500 mm/año.
- Altitud (altura): hasta los 1000 m.s.n.m.

- Suelos: preferentemente texturas francas.
- Potencial de hidrogeno (pH): de 6 a 7.

1.2.1.2. Clasificación taxonómica y descripción botánica

Según lo mencionado por (Suárez y Mederos 2011), la taxonomía de la especie yuca, es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Malpighiales
- Familia: Euphorbiaceae
- Subfamilia: Crotonoideae
- Tribu: Manihoteae
- Género: Manihot
- Especie: *Manihot esculenta Crantz*

Las características botánicas de la especie *Manihot esculenta* se describen a continuación:

- **Tallos**

Los tallos representan la vía más importante para la propagación de la especie, la que se realiza por reproducción vegetativa o también llamada asexual. Se utiliza partes o segmentos que son llamadas comúnmente estacas en la reproducción asexual de la planta, que es parte

fundamental para su cultivo a escala comercial. De acuerdo a sus características botánicas los tallos son de forma cilíndrica y maduros, con un diámetro un tanto grueso que va desde los 2 a 6 centímetros, generalmente son de colores amarillo verdoso, morado o también gris plateado. Tanto el diámetro como el color que poseen los tallos de la yuca varían de acuerdo a la edad y la variedad. La formación de los tallos consta de una serie de nudos y entrenudos. Los tallos de mayor edad pueden presentar protuberancias en los nudos que es de donde salen las hojas durante su aparición (Suárez y Mederos 2011).

- **Hojas**

Las hojas de la yuca tienen vida corta es decir son caducas, porque se desprenden de la planta a medida que pase el tiempo cuando estas envejecen y mueren. La edad es el factor que determina la longevidad de las hojas, su cantidad y capacidad para realizar fotosíntesis, aunque también las condiciones climáticas pueden afectar e influir en estas características. Las hojas de la yuca botánicamente están formadas por el peciolo central y una lámina foliar, puesto que son de tipo simples. La parte de la lámina foliar es lobulada y palmeada, y sus lóbulos también pueden sufrir variaciones generalmente entre 3 y 9 que son números impares. La longitud de los lóbulos varía de 4 a 20 cm, con un diámetro de 1 a 6 cm de ancho y los lóbulos centrales son más grandes que los laterales. Las hojas son altamente nutritivas y también son utilizados en la elaboración de alimentos. Otro aspecto que destaca en las hojas es el color que también está gobernado por la variedad y la edad de las plantas. Los colores de las hojas pueden ser, verde claro, verde oscuro

y también de color púrpura. El peciolo generalmente tiene una longitud de 9 hasta 20 cm, su color puede ser morado o verde y es delgado (Suárez y Mederos 2011).

- **Raíz**

Las raíces de la yuca son fibrosas, puesto que son la parte que acumula la sustancia llamada almidón, razón por la cual tienden a agrandarse, esta característica las denomina como raíces tuberosas. Este tipo de raíz tienen una diferente dirección de crecimiento que las raíces fibrosas normales, es decir en su longitud, así como en la capacidad para absorber almidones. Si se siembra de semilla, en la futura planta primero aparece una raíz tipo pivotante, y después aparecen las raíces secundarias. Ahora si se siembran por estacas, las raíces serán de tipo adventicias diferentes a las antes mencionadas, estas raíces se forman en la parte inferior (base) de la cicatriz de la estaca, por lo que las yemas de donde se originaran los brotes están debajo en el interior de la tierra. En casi todos los casos de siembra, el número de estacas determina el crecimiento máximo de las plantas en el tiempo (Suárez y Mederos 2011).

- **Inflorescencia**

Las inflorescencias de la especie son de tipo paniculadas, también pueden estar agrupadas en racimos o en una combinación entre los dos tipos. Las flores que están formando la inflorescencia generalmente poseen 10 estambres y 5 sépalos. La especie *Manihot esculenta* es una especie monoica como se mencionó anteriormente, por lo tanto, poseen

flores unisexuales o de un solo sexo, es decir flores femeninas y masculinas en una bráctea primaria y una bractéola que están localizadas en una misma planta. Las flores están dispuestas en una estructura común y básico que lleva por nombre el racimo, en donde puede encontrarse las flores femeninas en posición basal a diferencia de las flores masculinas que están más distales del racimo, estas flores son pequeñas, pero son más numerosas en el racimo en comparación con las flores femeninas (Suárez y Mederos 2011).

- **Fruto**

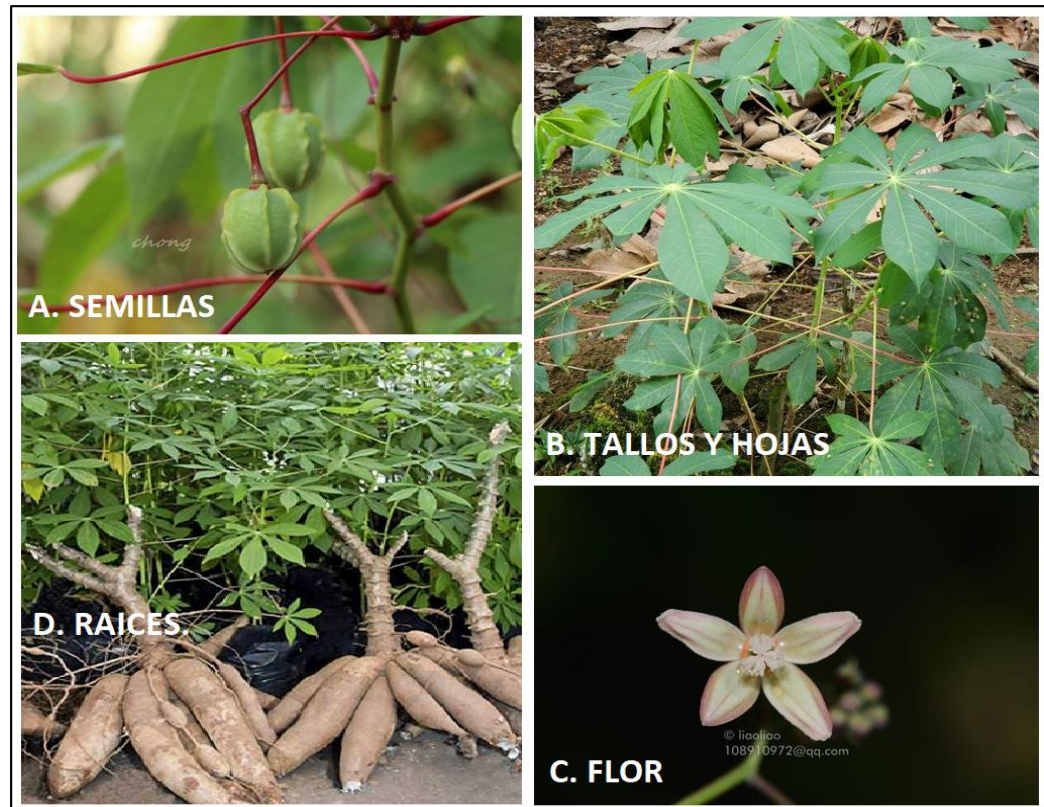
El fruto de la yuca tiene forma de capsula con un diámetro que puede ser de 1 a 2 cm, posee generalmente 6 aristas que son longitudinales las mismas que están estrechas y prominentes, el fruto también puede tener forma semi circular y dehiscente. El pericarpio y el mesocarpio cuando termina el proceso de maduración terminan secos. El endocarpio presenta una textura leñosa, y tiende a abrirse cuando los frutos están completamente maduros para dar lugar a la dispersión natural de las semillas al exterior (Suárez y Mederos 2011).

- **Semillas**

Las semillas representan la vida de reproducción o multiplicación de la especie, puesto que es la forma de propagación en donde se podrá obtener variedades genéticamente mejoradas. Las semillas tienen forma ovalada, y miden 1 cm de largo y 6 mm de ancho, con un espesor de 4 mm. Generalmente la textura es lisa y son de color negro o también

pueden tomar coloraciones grises con moteaduras (Suárez y Mederos 2011).

Figura 2. Características botánicas de la yuca.



Fuente: GBIF, (2023); Naturaliz, (2023); Elicristo, (2023).

1.2.1.3. Valor nutricional de la yuca

La yuca representa uno de los cultivos de mayor interés económico en el grupo de tubérculos y raíces. La parte que se comercializa y que tiene el valor económico es la raíz que es un órgano de reserva que almacena diferentes tipos de sustancias que son fuente de energía, por lo que es utilizada para elaborar diferentes productos para la alimentación de animales y humanos (Suárez y Mederos 2011). Pero no solo las raíces tienen valor nutricional, de la especie también se puede aprovechar las hojas, las cuales tienen un gran valor alimenticio para la alimentación animal y de humanos, que es bastante común en algunas zonas de

África (Rivera, 2004). Las hojas tienen contenidos elevados de proteínas (18 a 22%) y otros compuestos lo cual fue determinado en materia seca, en la tabla 1 se muestra el contenido de minerales de las hojas de yuca.

Tabla 1. Contenido de minerales en las hojas y raíces de la yuca.

Elemento	Contenido en hojas	Contenido en raíces
	(mg/100g peso seco)	(mg/100g peso seco)
	Promedio	Promedio
Fe	94.4	9.6
Mn	67.9	1.2
B	66.1	2.4
Cu	7.3	2.2
Zn	51.6	6.4
Ca	12324	590
Mg	7198	1153
Na	11.4	66.4
K	10109	8903
P	3071	1284
S	2414	273

Fuente: Suárez & Mederos, 2011.

Así mismo se muestra en la tabla 2 se muestra el contenido nutricional de la harina de las raíces de yuca, que tal como se mencionó anteriormente sirven de almacenamiento de sustancias de reserva generalmente almidones.

Tabla 2. Contenido nutricional de la harina de raíces de yuca.

Compuestos	Contenidos (%)	
	Raíz con cáscara	Raíz sin cáscara
Materia seca	100.00	100.00
Carbohidratos	83.8	92.40
Proteína cruda	3.05	1.56
Cenizas	2.45	2.00
Hemicelulosa	1.16	1.45
Extracto etéreo	1.04	0.88

Fuente: Suárez & Mederos, 2011.

1.2.1.4. Propagación de la yuca

La especie *Manihot esculenta* generalmente es propagado por los agricultores en el mundo por medio de la propagación asexual o también llamada vegetativa, donde utilizan como semillas las estacas procedentes de los tallos. Pero estos tipos de propagación pueden traer consigo algunas desventajas como la diseminación de enfermedades y también plagas, por el traslado del material. Los virus son los que pueden propagarse fácilmente, principalmente los que son sistémicos que pueden afectar el rendimiento en campo de las plantas y también su extensión para fines comerciales (Mantilla, 1996; Albarrán & Fuchs, 2003).

Es posible que la yuca también se pueda propagar utilizando las semillas del interior de los frutos, lo cual sería la forma sexual por medio de semilla botánica. Pero como en la anterior forma, está también tiene sus desventajas, ya que la especie es alógama y puede que en la futura plantación sufra de segregación genética (Suárez y Mederos 2011).

Por último, también es posible utilizar técnicas de cultivo *in vitro* en laboratorios especializados, a la cual se le denomina propagación clonal *in vitro*. Esas técnicas han sido muy exitosas en muchos casos, (Suárez y Mederos 2011), y se basan en la separación de un segmento de las plantas, que son producidas en ambientes controlados (asepsia), utilizando un medio que se compone de nutrientes. Esta técnica ofrece muchos beneficios a los productores, puesto que se obtienen plantas vigorosas y con alta productividad, también es posible producir semillas de alta calidad libres de enfermedades. Entre las principales vías de reproducción clonal *in vitro* se tienen el cultivo de meristemos y ápices caulinares, la embriogénesis somática, organogénesis y la microinjertación entre otros más (Suárez y Mederos 2011).

1.2.1.5. Cultivo de la yuca a nivel local, nacional e internacional.

La yuca es importante en la economía mundial gracias a su contenido de almidón, que es materia prima para la producción de derivados como bioplásticos, bioquímicos y el bioetanol, que son aplicados en diferentes industrias (Gao, Song, y Guo 2020). La yuca se diferencia de otras raíces y tuberosas por su característica de rusticidad que le permite adaptarse a diferentes tipos de suelos incluso que presentan baja fertilidad (suelos

ácidos), así mismo es capaz de adaptarse a regiones con sequías prolongadas y bajas precipitaciones (Aristizábal y Sánchez 2007).

Existen en el mundo alrededor de 6000 accesiones de yuca, que involucran semillas, entre las variedades están de sabor dulce que son bajos en su contenido de cianuro (veneno) y que pueden ser consumidos y también están las variedades de sabor amargo, que se utilizan más para elaborar productos de la industria. Aunque cabe mencionar que también existen variedades que cumplen con doble propósito, tanto la para industria y para el consumo (CIAT, 2019).

- **Escenario Local (Ucayali)**

La producción de yuca en la región alcanzo un total de 10,037 toneladas y creció en 12,3%, y en el año 2020, se produjeron 8,940 toneladas (Carhuavilca Bonett 2021). En la región Ucayali se cultiva las siguientes variedades de yuca: amarilla, amarilla del bajo, yuca verde (arahuana rumo), arpón rumo, colombiana, cogollo morado, señorita, enana, hoja nonado (yuca amarilla), hoja morada entre otros, las que son sembradas tanto en lo suelos de altura como en restinga (Inga Sánchez y López Parodi 2001).

- **Escenario nacional**

La producción de yuca a nivel nacional en el año 2021 fue de 1 280,736 Tn, y es referida a todas las regiones donde se produce este cultivo (Carhuavilca Bonett 2021). En el Perú, las principales regiones productoras de yuca son Amazonas, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali (Bravo Cabrera 2018). En la región Amazonas los rendimientos de yuca

alcanzaron buenos promedios de producción, alrededor de 100 Tn/ha de las variedades comerciales y más famosas, como lo son la “tres mesinas” y la “señorita”, este éxito en el rendimiento fue gracias al trabajo en el manejo de los esquejes y las podas apicales de las plantas de yuca. En cuanto a la siembra de las estacas, el secreto de los altos rendimiento se debe a la posición horizontal durante el entierro de las estacas, y también al uso de un solo tallo (Agronoticias, 2023).

- **Escenario internacional**

La mayor producción de yuca a nivel mundial tiene lugar en el continente africano, con un volumen de producción del 62% con respecto a todos los continentes donde se produce yuca. África produjo solo en el año 2018 un promedio de 227 millones de toneladas. Así mismo el resto de la producción mundial de yuca se distribuye entre Asia con un 29% y los países latinoamericanos con un 9% (FAO, 2020). Nigeria es el país africano con mayor rendimiento con un promedio de 9 Tn/ha (Ikuemonisan et al. 2020). El segundo país de mayor producción en África, es la República Democrática del Congo con un promedio de 8 Tn/ha. El tercer país con mayor producción de África es Ghana con un promedio de 14Tn/ha, que así mismo es el país donde el cultivo adquirió gran interés para fines industriales en las pequeñas empresas (Poku, Birner, y Gupta 2018). En el continente asiático, Tailandia es el país que lidera la producción de yuca generalmente orientado a fines industriales, así mismo la yuca en este país representa el cultivo prioritario para su economía. Además, Tailandia es el líder a nivel mundial del mercado de

exportación de la yuca fresca y seca, con un promedio de 26% y 72% respectivamente (FAO, 2020).

En Latinoamérica el país de mayor producción de yuca es Brasil, y el segundo en la lista es Paraguay (FAO, 2020). Brasil posee la industria más implementada en esta parte de mundo y la producción está orientada a la elaboración de harina y almidón generalmente para el consumo local (FAO, 2020). Así mismo Paraguay es el líder en la exportación de almidón en Latinoamérica con el 60% de todas las exportaciones (Díaz, 2019).

1.2.2. Metales pesados en cultivo de yuca.

1.2.2.1. Generalidades

La yuca es considerada como uno de los alimentos energéticos más importantes y básicos, pero es necesario enfatizar que también puede absorber metales pesados del suelo, agua o aire y contaminarse, debido a que cuenta con mecanismos para poder acumular estos elementos que sirven para el normal funcionamiento biológico. Sin embargo, existen metales que son no esenciales es decir no son importantes, los cuales tienen comportamientos electroquímicos, que son parecidos a los nutrientes, los cuales son absorbidos por las plantas cuando estas absorben también los nutrientes (Valle Vega 2000). La yuca puede absorber una gran cantidad de metales pesados como el Pb y Cd que son elementos que pueden encontrarse en la corteza terrestre por acción de las diversas actividades como la minería, industria, agricultura, etc. (Londoño Franco, Londoño Muñoz, y Muñoz Garcia 2016).

El elemento traza o metales pesados son parte de la cadena alimenticia gracias a las plantas que los absorben y los acumulan en sus tejidos, cuando se extrae del suelo o del agua estos elementos. Los metales pesados se biotransforman lo que les permite incluirse en los seres vivos y la naturaleza (Romero González 2020).

En el caso del contenido de Pb permisible en el suelo el ministerio del ambiente (MINAM) en Perú, creo los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos agrícolas, y según ello el valor máximo permitido de Pb es 70 mg/kg. En cuanto a la capacidad de absorción de la yuca, en el inicio (primeros meses de vida), la absorción y la acumulación de metales pesados se realiza de forma lenta, pero al pasar el tiempo se incrementa y se mantiene hasta todo el ciclo de vida de la planta (Aguilar Brenes 2017).

1.2.2.2. Bioacumulación de metales pesados en los tejidos de las plantas de yuca.

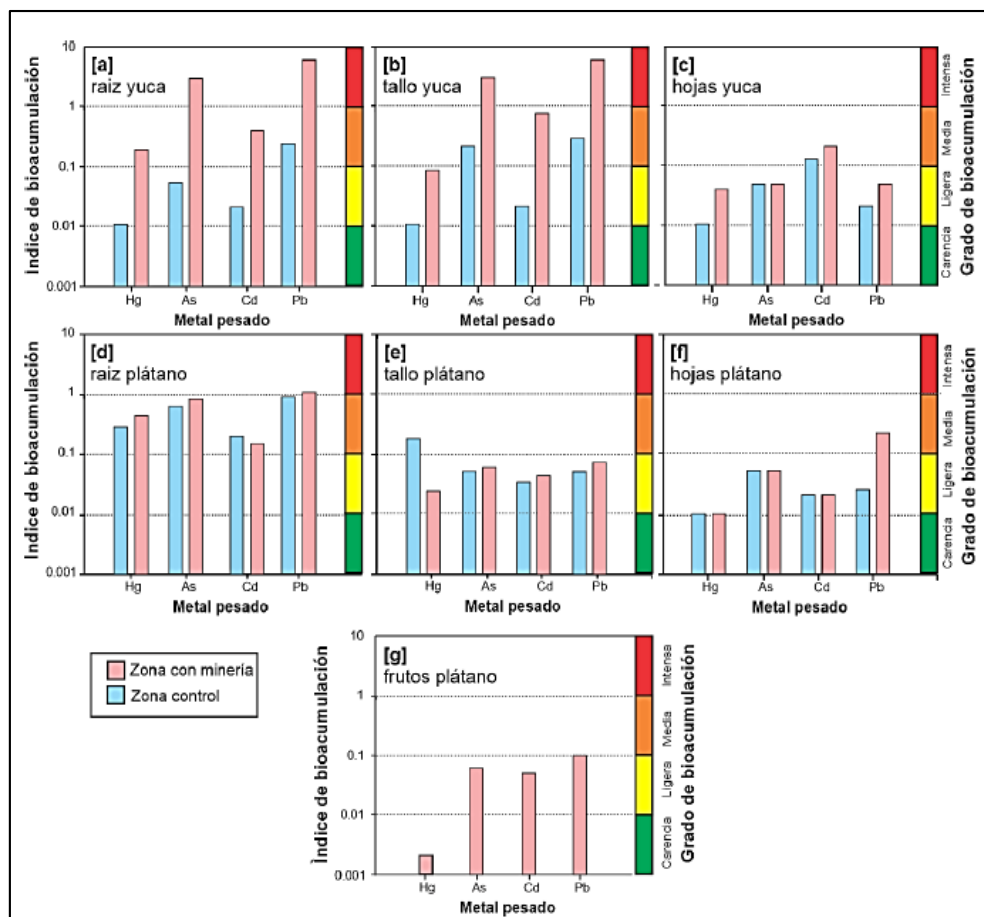
En Perú, específicamente en la región Madre de Dios, se evaluó y determinó la presencia de metales pesados como el Hg, As, Pb y Cd en los cultivos de yuca y plátano. Estos suelos donde se realizó el estudio tuvieron un antecedente de contaminación bastante alto, procedente de la actividad de la minería ilegal en esa región. Los lugares donde se evaluaron el contenido de metales pesados eran áreas abandonadas, donde se sembraron cultivos anuales como es el caso de la yuca. La bioacumulación de metales pesados en los tejidos de las plantas de yuca, se lleva a cabo según los diferentes órganos, en el caso del estudio realizado el orden de mayor a menor acumulación fue: raíces, tallos,

hojas y frutos. Los resultados finales del estudio realizado mostraron que existió una alta concentración de Pb y As en los tallos y en las raíces tuberosas (> 2,9 ppm). El estudio concluyó que las plantas de yuca bioacumularon una buena cantidad de metales pesados del suelo de forma intensa, y los contenidos de As y Pb encontradas en las raíces superaron los límites máximos permisibles estipulados por la FAO y la OMS (Soto-Benavente et al. 2020).

Cabe resaltar que la cantidad de metales pesados que puedan acumular las plantas en sus tejidos también dependen de los antecedentes de esos suelos, puesto que el estudio mencionado, se realizó la evaluación en lugares donde antes existió mucha contaminación por compuestos químicos, y que fue una zona donde se realizaba minería ilegal.

En la figura 3 se muestra la cantidad de metales pesados acumulada en los diferentes órganos de las plantas de yuca evaluadas en el estudio anterior.

Figura 3. Bioacumulación de metales pesados en el cultivo de la yuca y plátano evaluados en antiguas zonas de minería ilegal en madre de Dios, Perú.



Fuente: Soto-Benavente et al., 2020.

Como se puede observar en la figura 3 el contenido acumulado de metales pesados en el cultivo de la yuca es mayor y más intenso que el cultivo de plátano y son las raíces las que acumulan mayor cantidad de estos elementos (Barcelo et al., citado por Soto-Benavente et al., 2020), menciona que la yuca posee un mecanismo especial que le permite excluir metales pesados como el Cd, es decir que los acumula en las hojas. Debido su alta capacidad de acumulación, podemos decir que la yuca es una especie que puede acumular grandes cantidades de metales pesados dependiendo de los tipos de suelos donde crece. Pudiendo acumular más metales pesados en las hojas y en las raíces de

la yuca, por lo que se la considera como una especie bioacumuladora de estos elementos (Kalagbor Ihesinachi, Dighi, y James 2015).

El grado de acumulación en los diferentes órganos de las plantas, en este caso de la yuca, depende de varios factores como la naturaleza de los propios metales pesados y también de la especie que los absorbe (Vig et al. 2003). La acumulación de metales pesados en las raíces de yuca es un problema que puede afectar la salud de los consumidores, ya que las raíces son el producto principal que se comercializa y es consumido por animales y humanos.

En la región Madre de Dios, lugar donde se realizó la investigación, las raíces de yuca son consumidas masivamente por la población, por lo que es la principal razón para generar tanta preocupación para abordar el tema ampliamente. La población en esta región la consume continuamente, es decir de forma regular y constante, puesto que se considera parte de la dieta alimenticia y es comercializada en todos los mercados. El ingreso de los metales pesados a la cadena alimenticia de todos los ecosistemas, se debe el primer lugar a la absorción de estos elementos por las plantas (Kabata Pendias y Mukherjee 2007). Lo que significa que es de suma importancia que en los campos agrícolas exista un control y medidas de mitigación para que las plantas absorban y acumulen menos metales pesados en sus órganos comestibles, puesto que si se consume “n” productos contaminados con metales pesados se puede poner en riesgo la salud de los consumidores a mediano y corto plazo.

1.2.3. Plomo (Pb)

1.2.3.1. Generalidades

El Pb es un elemento químico que está presente en la corteza terrestre principalmente por acción de la actividad minera, donde se extrae el elemento del suelo por medio del empleo de calor. Existen diversas actividades antropogénicas que pueden ayudar a la deposición de Pb en los suelos entre ellas están la combustión, deposición de residuos sólidos urbanos, gases contaminantes de origen urbano y fundición de minerales. Además, también pueden considerarse como fuentes de Pb los vidrios, las cerámicas, suplementos de Ca, etc. Las baterías se fabrican principalmente con Pb, los aditivos para pintura, conducciones, también los antidetonantes para gasolina, fertilizantes y municiones militares (Rodrigues y Formoso 2005).

1.2.3.2. Propiedades

El elemento químico Pb hace parte de los elementos que son llamados metales de bloque y se encuentran ubicados en la tabla periódica junto a los semimetales y los metaloides. Estos elementos presentan propiedades diversas pueden ser blandos con puntos de fusión generalmente bajos. Este elemento es de consistencia sólida en la naturaleza, y tiene un color gris azulado, su número atómico es 82 y su símbolo con el que es conocido es Pb (Rodrigues y Formoso 2005).

1.2.3.3. Efectos del plomo en la salud humana

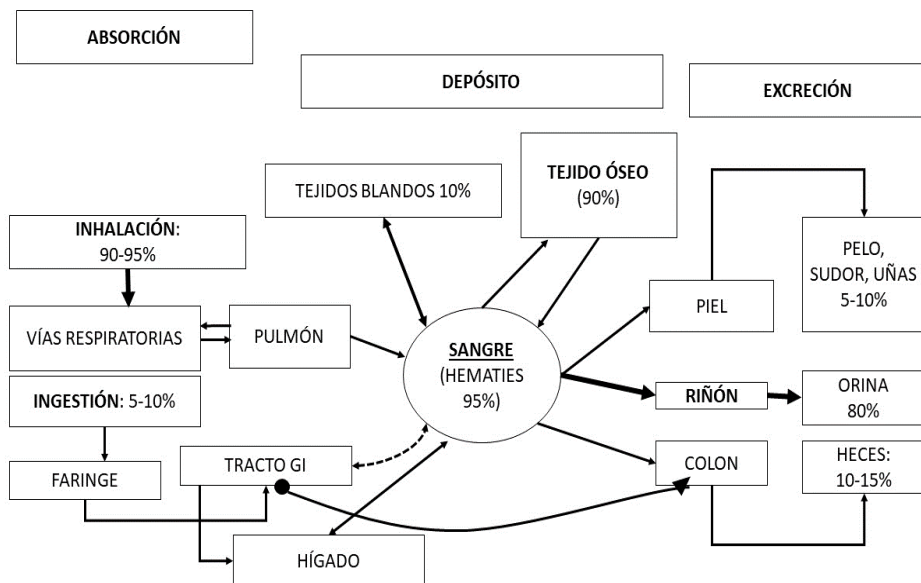
El Pb puede ingresar al organismo humano por medio de la piel, por vía oral y por las vías respiratorias, siendo la más común la vía oral. Un adulto promedio puede absorber en el tracto gastrointestinal más o menos entre 20 y 30% de Pb, pero esto también depende de la solubilidad de este elemento al momento de penetrar en el cuerpo, puesto que en los niños la absorción puede ser mayor llegando a un 50%, que también influyen varios factores como el tamaño de las partículas. El plomo en forma de humo puede ser absorbido por las vías respiratorias fácilmente puesto que son partículas finas y estas son fagocitadas fácilmente los macrófagos alveolares de los pulmones. Una vez que el plomo ha ingresado al torrente sanguíneo este lo lleva hacia todos los órganos del cuerpo humano, pero se acumula más en los huesos y dientes y también pueden encontrarse en grandes cantidades en los riñones, bazo, pulmones e hígado (ver figura 4). El plomo también puede inhibir el proceso de la síntesis de proteínas, y cuando sale del cuerpo lo hace por medio de la excreción normal por las heces y la orina y también puede salir por medio de la saliva (De la O Valenzuela y Quispe Aguirre 2017).

Por otro lado, la exposición excesiva de Pb puede causar muchos problemas a la salud como alteraciones a la hemoglobina, afecciones al sistema nervioso central, causar problemas en el normal aprendizaje de los niños, hipersensibilidad, aumento de la presión sanguínea, daños en el esperma en los hombres, daños cerebrales y de los riñones (Lenntech 2022).

1.2.3.4. Marco legal del contenido de Plomo

El CODEX ALIMENTARIUS estableció que el valor máximo permisible en los alimentos es de 0.1 mg/kg y esto incluye su contenido en las raíces y tubérculos como el caso de la yuca (Codex Alimentarius 2015; Comisión del Codex Alimentarius 2019). Sin embargo, existen otros valores establecidos como el de la (FAO, 2011), que establece un límite máximo de 0.05 mg/kg de plomo para aguas de consumo humano y también doméstico.

Figura 4. Recorrido del plomo en el cuerpo humano.



Fuente: Llobet et al., 2000.

1.2.4. Espectrofotometría absorción atómica

La espectroscopia es la observación y el estudio, o registro, del espectro de una especie, como una molécula, un ion o un átomo, cuando la especie es excitada por una fuente de energía adecuada. Uno de los pioneros de la espectroscopia fue Isaac Newton, quien observó y estudió el comportamiento de la luz solar al pasar a través de un prisma a principios del siglo XVI. En 1831, J.F. Herschel demostró que las sales de diferentes metales producían diferentes colores en la llama cuando las sales disueltas entraban en contacto directo con la llama. Por ejemplo, las sales de calcio dan a las llamas un color naranja, las sales de sodio dan un color amarillo, las sales de cobre dan un color azul verdoso, las sales de potasio dan un color púrpura y las sales de estroncio dan un color amarillo verdoso. Estas observaciones fueron confirmadas posteriormente por otros investigadores y sugirió que este método podría identificar metales formadores de sales en compuestos específicos. (Químicas 2000)

En 1859, Kirschhoff y Bunsen ampliaron el conocimiento de la naturaleza de este fenómeno, donde la luz producida por un metal en llama incide sobre una capa óptica que separaba la radiación emitida por el metal de la luz solar. Este instrumento llamado espectrómetro (espectroscopio = observación espectroscópica), se observa que cada metal emite un color diferente de radiación, le aparecerán líneas en diferentes posiciones de la pantalla o en el campo de visión, esto es independientemente a las condiciones en las cuales se lleva a cabo el experimento, así como las

propiedades de la sal metálica, y depende únicamente del metal.
(Químicas 2000)

Además, la intensidad de la línea está directamente relacionada con la concentración del elemento en la solución. Por lo tanto, hay una manera de clara de identificar el elemto (según la posición de su línea), ya que solo hay una manera de determinar (por la magnitud de las líneas producidas). A inicios del siglo XX no se conocía todos los elementos de la tabla periódica y con frecuencia se cometía el error de suponer que se habían descubierto nuevos elementos cuando en realidad ya se habían descubiertos elementos conocidos.(Químicas 2000)

Gracias al desarrollo de la espectroscopia, se descubría un nuevo elemento, se observaba su espectro. Si ya coinciden con elementos conocidos entonces se descarta la novedad de ese elemento, en cambio si no coinciden con ningún espectro de elementos conocidos entonces la prueba es perfecta y se considera un plus en la lista de elementos químicos. Si bien las aplicaciones de la espectroscopia en el análisis cualitativo fueron casi inmediatas, en el aspecto cuantitativo tuvo que esperar muchos años porque el desarrollo científico y tecnológico de aquel momento no era suficiente.(Químicas 2000)

La espectroscopia molecular a diferencia de la espectroscopia atómica, la espectroscopia molecular se desarrolló antes porque se requería instrumentación menos sofisticada. Bouger, Lambert y Beer hallaron una relación cuantitativa entre el espesor celular y la concentración de absorbentes para una solución que absorbe radiación visible. Originalmente los métodos se limitaban a la región visible del espectro

electromagnético, por lo que este método espectroscópico se le llamo colorimetría la intensidad del color está directamente relacionada con la concentración de las partículas absorbentes.(Químicas 2000)

Posteriormente, se desarrollaron espectroscopia ultravioleta, infrarrojo, rayos X, fluorescencia, etc. Ahora en día ningún laboratorio o proceso industrial puede prescindir de métodos espectroscópicos. Estos métodos pueden ser pruebas colorimétricas simples. Alternativamente, se pueden combinar dispositivos informáticos sofisticados con estos instrumentos para permitir un análisis más preciso con límites de detección más bajos. (Químicas 2000)

1.2.5. Espectroscopia de absorción atómica

Este método está estrechamente relacionado con la fotometría de llama porque se utiliza una llama para atomizar la solución de muestra de modo que los elementos analizados estén en forma de vapores atómicos. Con la absorción atómica, ahora existe una fuente independiente de luz monocromática, específica de cada elemento analizado, que pasa a través de pares de átomos y posteriormente mide la radiación absorbida. (Químicas 2000)

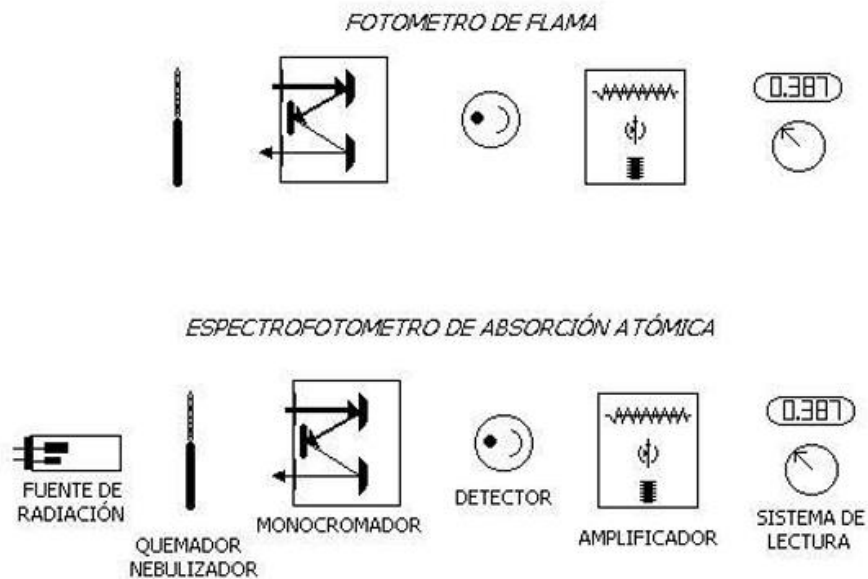
1.2.5.1. Espectroscopia de absorción atómica en llama

La espectroscopia de absorción atómica (AAS) se basa en la absorción de radiación de una longitud de onda específica. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos con niveles de energía cuya diferencia de energía corresponde a la energía del fotón incidente. El número de fotones absorbidos está determinado por la ley de Beer, que

relaciona la pérdida de potencia de radiación con la concentración de la sustancia absorbente y el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbentes. (Químicas 2000)

Partes de instrumentos de equipos espectrofotométricos de absorción. Las mediciones atómicas son similares a los fotómetros de llama o espectrofotómetros excepto EAA requiere una fuente de radiación para excitar los átomos analito. (Químicas 2000)

Figura 5. Componentes de un Fotómetro de Emisión de llama y Espectrofotómetro de Absorción Atómica.



Fuente: (Químicas 2000)

1.2.5.2. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica

- Fuente de radiación que emite líneas espectrales específicas correspondientes a las líneas espectrales necesarias para realizar las transiciones atómicas del elemento que se analiza.
- Un nebulizador que produce pequeñas gotas cuando se inhala una muestra líquida para lograr una atomización más eficiente.
- Un quemador en el que, bajo la influencia de la temperatura alcanzada durante la combustión y por la propia reacción de combustión, la formación de átomos se produce preferentemente a partir de los componentes de la solución.
- Un sistema óptico que combina radiación de las longitudes de onda de interés con todas las demás radiaciones que ingresan al sistema.
- Detector o transductor capaz de convertir, según una relación proporcional, la señal de intensidad de una radiación electromagnética en forma de señal eléctrica o de intensidad de corriente.
- Amplificador o sistema electrónico, como su nombre indica, amplificador de generar señales eléctricas para procesarlas en el siguiente paso con circuitos y sistemas electrónicos comunes.
- Finalmente, se necesita un sistema de lectura donde las señales de intensidad de corriente se conviertan en una señal que puede ser interpretada por el operador (transmitancia o absorbancia). El

sistema de lectura puede ser una escala de agujas, una escala alfanumérica, un gráfico, una serie de datos que pueden ser procesados a su vez por un ordenador, etc.

Hasta la fecha la llama EEA es la técnica más utilizada (aunque compite cada vez más con EEP) para la determinación de elementos metálicos y metaloides. Esta técnica tiene grandes ventajas y es relativamente económica, y dicha técnica se puede aplicar a una amplia variedad de muestras. Al acoplar el dispositivo de absorción atómica a hornos de grafito y generadores de hidruros, se logró un límite de detección de hasta ppb, lo que hace indispensable en campos tales como: investigaciones de contaminación ambiental, análisis de alimentos, análisis de agua potable y agua residual, diagnóstico clínico, etc. (Químicas 2000)

1.2.5.3. Descripción de la técnica de EAA

La técnica de absorción atómica de llama de forma corta incluye lo siguiente: se extrae una muestra de líquido a través de un tubo capilar y se dirige a un nebulizador donde se descompone y forma niebla u otras pequeñas gotas de líquido. Las gotas formadas se dirigen a la llama, donde una serie de eventos provocan la formación de átomos. Estos átomos se absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida depende de su concentración. La señal de la lámpara, al atravesar la llama llega al monocromador con el fin de distinguir todas las señales que acompañan a la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega al detector o transductor

y viaja hasta el amplificador y finalmente al sistema de lectura. (Químicas 2000)

1.3. Definición de términos básicos

Absorción

Es un proceso de asimilación de nutrientes en el caso de las plantas. En el caso de animales y humanos, el proceso sucede cuando una sustancia ingresa en el organismo a través de ojos, piel, estómago, intestinos o pulmones (Green facts, 2022).

Bioacumulación

La bioacumulación es la acumulación neta o total, a través del tiempo, de metales pesados (u otras sustancias persistentes) en un ser vivo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua) (Green facts, 2022).

Codex alimentarius

Es un número de normas, directrices, reglas, códigos y otras sugerencias internacionalmente reconocidas y que controlan la calidad y la producción de alimentos y su inocuidad (Codex Alimentarius, 2020).

Contaminante

Se define como aquella sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o que su contenido excede hasta hacer susceptible a otro cuerpo y que produce efectos tóxicos para el ambiente y seres vivos (Alvarado Ochoa 2018).

Límite máximo permisible

El Límite Máximo Permisible – (LMP), es la medida del contenido o grado de elementos, parámetros físicos, químicos y biológicos y también involucra sustancias, de una emisión o afluente, que si está en grandes cantidades o en exceso causa daños al ambiente y a los seres vivos (MINAM, 2022) .

Metales pesados

Metales pesados son todos aquellos elementos químicos que poseen una densidad cinco veces mayor que la densidad del agua. Son muy utilizados en diferentes procesos donde se producen diversos bienes y servicios (Alvarado Ochoa 2018).

Plomo (Pb)

El plomo cuyo símbolo es Pb es un elemento metálico conocido como metales del bloque p porque ocupan el mismo lugar junto con los metaloides o semimetales en la tabla periódica. En su forma natural es sólido y presenta un color gris azulado. El número atómico del plomo es 82. El símbolo químico del plomo es Pb (Rodrigues y Formoso 2005).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

En las raíces de la yuca (*Manihot esculenta*) ubicadas en una parcela correspondiente a 10 Clones del Centro Experimental Campo Verde, Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, Perú; existe presencia de plomo en niveles superiores a los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius.

2.2. Variables de estudios

- Raíces de Yuca (*Manihot esculenta*) del Centro Experimental Campo Verde: Raíces comestibles nutritivas que contienen carbohidratos con un sabor distintivo y textura consistente.
- Niveles de plomo (Pb): Metales pesados presentes en el suelo y acumulados en las raíces de la yuca.

En la tabla 3, se muestra la operación de cada variable estudiada.

2.2.1. Operacionalización de las variables

Tabla 3. Operacionalización de las variables

Variable	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categoría	Valores de la categoría	Medio de verificación
Raíces de Yuca (<i>Manihot esculenta</i>) del Centro Experimental Campo Verde	Raíces comestibles nutritivas que contienen carbohidratos con un sabor distintivo y textura consistente.	Cualitativa	Clones	Nominal	NAL252 IM361SF MC015 CN025 IM362SF PN207 NB231 SC062 AA063 KM44004	Raíces en buen estado de tamaño.	Reporte de documentos trabajado en el campo.
Niveles de plomo (Pb)	Metales pesados presentes en el suelo y acumulados en las raíces de la yuca.	Cuantitativa	Concentración de Pb en ppm	Continua	Límites Máximos Permisibles (ppm)	0.1	Reporte de constancia de análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Ubicación del estudio

Las muestras de los tubérculos de yuca fueron recolectadas de las parcelas del Centro Experimental Campo Verde, INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), ubicado en el distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo en la Región Ucayali. Geográficamente la estación ubicada a $8^{\circ}22'00''$ de latitud sur y $74^{\circ}34'00''$ longitud oeste, a una altitud de 154 msnm. Las muestras fueron Analizadas en la ciudad de Lima, en el Laboratorio de suelos de la Universidad Agraria la Molina (UNALM). En la figura 6 se muestra el mapa de ubicación donde se realizó en estudio.

Figura 6. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Mapcarta, 2023.

Materiales y equipos

Para desarrollar la investigación tanto en el campo como en el laboratorio se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

Materiales e insumos

1. Bolsas con cierre hermético

2. Alcohol de mano

3. Machete

4. Pala

5. Plumón marcador

Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Cámara fotográfica
- GPS

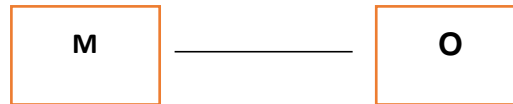
3.1. Tipo y diseño de estudio

3.1.1. Diseño metodológico

El estudio fue de enfoque cuantitativo, con diseño descriptivo no experimental, puesto que el objetivo es determinar el contenido de Pb en las raíces de la yuca de 10 Clones del Centro Experimental Campo Verde, Región Ucayali, Perú. Este tipo de diseño describe específicamente una situación real que sucede en un espacio y tiempo determinado. En este tipo de estudio se realiza la observación, registro

y se realiza preguntas y también se describe los fenómenos que influyen en el problema (Rojas Cairampoma 2015).

El esquema de la investigación descriptiva es el siguiente:



Donde:

M: Muestra

O: Nivel de plomo

3.2. Diseño muestral

3.2.1. Población

La población en estudio fueron todas parcelas agrícolas que se encuentran en el Distrito de Campo Verde. La población es un grupo o también un conjunto de elementos las cuales tienen características específicas, que los convierten en el objeto directo del estudio a realizar (Fuentelsaz Gallego 2004).

3.2.2. Muestra

En la investigación las muestras fueron 10 raíces de los clones de yuca procedentes de la respectiva parcela agrícola del Centro Experimental Campo verde, Región Ucayali, Perú. Se aplicó el tipo de muestreo no probabilístico Intencional, puesto que este muestreo según (Otzen y Manterola 2017), permite seleccionar una población limitando el número de elementos de la muestra a estudiar, por lo que se puede decir que se

deja a la posibilidad o conveniencia del propio investigador, que en caso del presente estudio por temas de presupuesto y medios para realizar las actividades en campo se optó por aplicar este tipo de muestreo.

3.3. Procedimiento de recolección de datos.

3.3.1. Muestreo de raíces

Para el muestreo de raíces de yuca se aplicó la metodología propuesta en la investigación de (Soto-Benavente et al. 2020), para cual se colectó 500 g de raíces de cada punto de muestreo (10) de los clones evaluados, para finalmente colocarlas en bolsas con cierre hermético debidamente rotuladas con la información de la procedencia de la muestra.

3.3.2. Análisis de plomo (Pb)

Esta actividad se realizó en el Laboratorio de suelos de la Universidad Agraria la Molina (UNALM), en la ciudad de Lima. Las muestras de raíces de yuca se secaron en horno a 70 ° C por 48 h. Luego se trituraron para aplicarles la solución nítrico perclórico 4:1 y dejarlas reposar por 24 horas para ser luego ser digeridas siguiendo las pautas del Método EPA 3050 (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1996). Finalmente se determinó el contenido de Pb total por vía húmeda y realizando la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (AOAC International. y Cunniff 1995).

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos del contenido de Pb en las raíces de yuca se procesaron utilizando el software SPSS, 21. Para determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de Plomo (Pb) en los 10 clones (muestras), se realizó el análisis de varianza (ANOVA) al 0.05 y se comparó los promedios con la prueba Tukey.

3.5. Aspectos éticos.

La información que se obtuvo en el presente estudio es confiable y se realizó estrictamente en los 10 clones de yuca de muestreo en el centro experimental del INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), que precisamente esta para realizar estudios a nivel superior científico por lo que no se atentó con el medio ambiente, ni con la producción de ningún otro producto agrícola que exista en la zona. Para el muestreo de las raíces se contó con el consentimiento voluntario de los agricultores de la zona, por lo que el producto que no causó daños de ningún tipo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Contenido de Plomo en las raíces de yuca

En la tabla 4 se observan las repeticiones y los promedios del contenido de Pb en las raíces de yuca de los 10 clones evaluados en el Centro Experimental Campo Verde, INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), que está ubicado en el distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo en el Departamento de Ucayali. Los clones que presentaron el mayor contenido de Pb fueron el NB231, IM362-SF y AA063 con 3.5466, 2.466 y 2.2766 mg/kg de Pb respectivamente. Así mismo los contenidos de Pb menores fueron en las raíces de los clones NAL252, IM361-SF, MC015, CN025, SC062, KM44004, con 1.51, 1.46, 1.87, 1.76, 1.63, 0.8133 mg/kg de Pb respectivamente. (Anexo n° 3)

Tabla 4. Contenido de plomo (mg/kg) en las raíces de yuca de los clones evaluados en el distrito de Campo Verde.

Repeticiones	NAL252	IM361-SF	MC 015	CN025	IM362-SF	PN207	NB231	SC062	AA063	KM44004
1	1.48	1.28	2.08	1.28	2.15	1.6	5.38	1.68	3.28	0.8
2	1.7	1.3	1.65	1.7	1.8	3.28	2.33	1.28	1.85	0.95
3	1.35	1.8	1.88	2.3	3.45	1.45	2.93	1.93	1.7	0.69
Promedio	1.51	1.46	1.87	1.76	2.466	2.11	3.5466	1.63	2.2766	0.8133

Tabla 5. Significación bilateral y desviación estándar entre promedios de Pb en las raíces de los clones de yuca evaluados.

Clones	Contenido promedio de Pb (mg/kg)	Desviación estándar (σ)	Significación Bilateral Tukey ($p < 0.05$)
NAL252	1.51	$\pm 0,17692$	a
IM361-SF	1.46	$\pm 0,29462$	a
MC015	1.87	$\pm 0,21517$	a
CN025	1.76	$\pm 0,51264$	a
IM362-SF	2.466	$\pm 0,86939$	a
PN207	2.11	$\pm 1,01602$	a
NB231	3.5466	$\pm 1,61581$	b**
SC062	1.63	$\pm 0,32787$	a
AA063	2.2766	$\pm 0,87214$	a
KM44004	0.8133	$\pm 0,13051$	a

**Letras iguales no presentan diferencias significativas

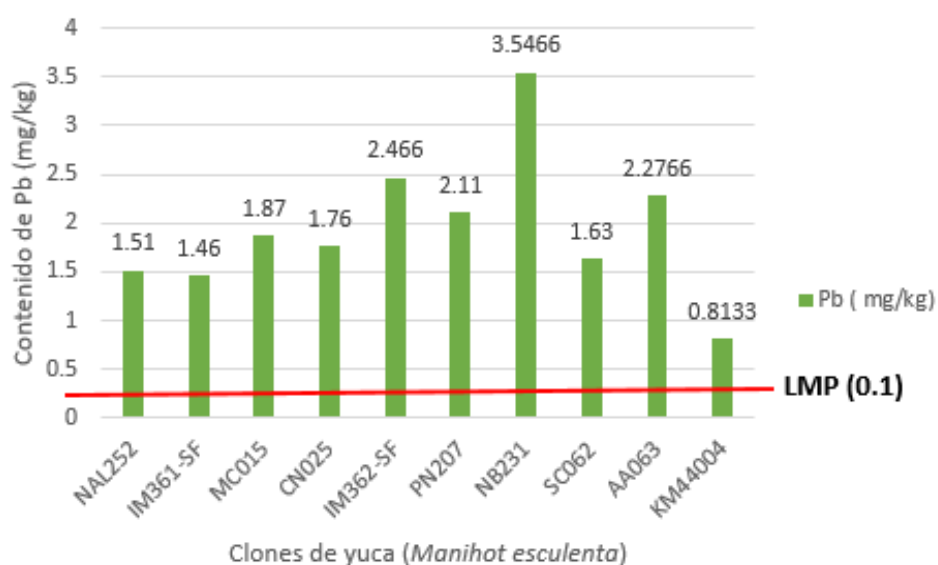
En la tabla 5 se observa las significaciones bilaterales al 0.05 y la desviación estándar de todos los promedios del contenido de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados. En cuanto a la desviación estándar todos los promedios están en un valor aceptable menos de 10 los cuales varían de 0.13 a 1.61, lo que significa que no existe mucha variación entre las muestras tomadas, ya que en cada repetición se tomaron muestras de raíces de diferentes plantas y en sitios distintos de una misma parcela. Por otro lado, el análisis de varianza (Anexo n° 1) que se realizó entre los promedios de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados indica que existen diferencias significativas, por lo que la prueba de Tukey mostro que solo el clon NB231 presentan diferencias en comparación con los demás clones.

Tabla 6. Comparativo de los promedios de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados con los límites máximos permitidos.

Clones	Contenido promedio de Pb (mg/kg)	Límites máximos permisibles (mg/kg) Codex alimentarius	Comparativo (exceso) (mg/kg)
NAL252	1.51	0.1	1.41
IM361-SF	1.46	0.1	1.36
MC015	1.87	0.1	1.77
CN025	1.76	0.1	1.66
IM362-SF	2.466	0.1	2.366
PN207	2.11	0.1	2.01
NB231	3.5466	0.1	3.4466
SC062	1.63	0.1	1.53
AA063	2.2766	0.1	2.1766
KM44004	0.8133	0.1	0.7133

En la tabla 6 se puede observar el contenido promedio de Pb todas las muestras de raíces de yuca de los clones evaluados, comparados con los límites máximos permisibles (LMP) impuestos por el Codex Alimentarius. Todos los promedios de todas las muestras evaluadas sobrepasan los límites permisibles de Pb en alimentos. Los clones de yuca que tuvieron más exceso de Pb en las raíces fueron el NB231, IM362-SF y AA063 con 3.4466, 2.366 y 2.1766 mg/kg de Pb respectivamente. Así mismo los clones que tuvieron menos exceso de Pb fueron el NAL252, IM361-SF, MC015, CN025, SC062, KM44004, con 1.41, 1.36, 1.77, 1.66, 1.53, 0.7133 mg/kg de Pb respectivamente.

Figura 7. Comparativo de los promedios de Plomo en las raíces de yuca de los clones evaluados con los límites máximos permitidos.



En la figura 7 se puede observar claramente el exceso y distancias de los promedios de Pb en las raíces de los clones de yuca evaluados en comparación con los límites permisibles estipulados por el Codex Alimentarius. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede afirmar que las raíces de yuca del centro experimental INIA - Campo Verde no son aptas para el consumo humano puesto que están contaminadas con Pb en niveles mayores a los límites permitidos.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El grado de bioacumulación que presentó la yuca en el centro experimental INIA-Campo verde, está relacionado con la investigación de Soto-Benavente et al., 2020, donde también se encontró concentraciones que sobrepasaron los límites máximos permisibles (0.1 mg/kg) y donde las raíces fueron el órgano donde se acumuló más metales pesados, donde también se incluye el Pb. Así mismo en la investigación realizada por (Calloapaza Valladares 2022), se evidenció que el contenido de Pb fue ligeramente mayor (0.76 mg/kg) a los límites permisibles, aun cuando la concentración en el suelo no fue superior (3.7 mg/kg) a los límites permisibles en suelos agrícolas (70 mg/kg) impuestas por el MINAM. En este caso podemos resaltar dos situaciones, la primera que el grado de bioacumulación también está relacionado al contenido de metales pesados en el suelo, ya que el mismo autor encontró una correlación altamente significativa entre el contenido de Pb en las raíces de yuca y en el suelo. La segunda es que los insumos utilizados para la producción de yuca en el centro experimental también pueden contener grandes cantidades de metales pesados. En el caso del centro experimental INIA de Campo verde se abonan las plantaciones de yuca con guano de isla los cuales también pueden contener altas concentraciones de Pb debido al origen de los residuos con los cuales elaboran esos abonos orgánicos, tal como lo avala la investigación de (Dueñas Rivadeneira y Intriago Flor 2022).

En el estudio desarrollado por (Vera Chica 2022), también se evidencio que el suelo está relacionado con la capacidad de absorción de la yuca, puesto que presentó una gran capacidad de absorción de nutrientes en las que se determinó que esta especie absorbió también los metales pesados del suelo junto con los nutrientes que están junto a estos elementos.

Por otro lado, es importante mencionar que también que el grado de acumulación de metales pesados como el Pb en los diferentes órganos de las plantas, en este caso de la yuca, depende de varios factores como la naturaleza de los propios metales pesados y también de la especie que los absorbe (Vig et al. 2003). En tal sentido tomando en cuenta nuevamente el estudio de (Soto-Benavente et al. 2020) se pudo evidenciar que la misma especie *Manihot esculenta*, absorbe más cantidad de metales pesados que el plátano por lo que Barcelo *et al.*, citado por (Soto-Benavente et al. 2020), menciona que la especie *Manihot esculenta* posee un mecanismo especial que le permite excluir metales pesados como el Cd, es decir que los acumula en las hojas. Debido a su alta capacidad de acumulación, podemos decir que la yuca es una especie que puede acumular grandes cantidades de metales pesados. Pudiendo acumular más metales pesados en las hojas y en las raíces de la yuca, por lo que se la considera como una especie bioacumuladora de estos elementos (Kalagbor Ihesinachi, Dighi, y James 2015). Por todo esto, podemos afirmar que los resultados altos que sobrepasaron los límites permisibles en las raíces de yuca se debieron a una condición fisiológica de la especie.

Existen investigaciones interesantes con la yuca y su gran capacidad para remover metales pesados de suelos y aguas, por lo que se puede afirmar que es una especie que presenta tejidos especializados para tal fin, esto puede observarse en el estudio realizado por (Acosta Arguello, Barraza Yance, y Albis Arrieta 2017) donde se evidencia que las cáscaras de yuca presentan gran capacidad para adsorber partículas de Cr.

Finalmente, la acumulación de los metales pesados en los tejidos de las plantas, también está influenciado por la genética, ya que existen estudios que demuestran que diferentes variedades de plantas que pueden absorber diferentes cantidades de metales pesados, aun así, no estén relacionados con el contenido de estos elementos en los suelos. En el estudio realizado por (Chupillon Cubas et al. 2017), se muestra que los diferentes clones evaluados de la especie cacao (*Theobroma cacao* L.), absorbieron y acumularon distintos niveles de metales pesados y esto se atribuye a los diferentes clones de cacao, que presentan diferencias genéticas con respecto a la bioacumulación. De igual manera en el estudio desarrollado por (Cartagena Cachique 2018) se observó también la diferencia en la acumulación de metales pesados entre los clones de cacao del jardín interclonal de la Universidad Nacional de Ucayali en la ciudad de Pucallpa. Por lo que los resultados del presente proyecto de investigación están relacionados con estos estudios, puesto que según el análisis de varianza (ANOVA) existen diferencias en el contenido de Pb entre los diferentes clones de yuca.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se recomienda no consumir la yuca de esta parcela de ensayo del centro experimental INIA - Campo verde, puesto que no son aptas para el consumo humano por haber excedido los límites máximos permisibles estipulados por el Codex Alimentarius.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- Todos los clones de yuca acumularon concentraciones de Pb mayores a los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius, siendo no aptas para el consumo humano, por lo que podría causar problemas a la salud de los consumidores.
- Existe diferencias significativas entre los promedios de Pb en las raíces de yuca de los clones evaluados, pudiendo destacar que los clones NB231, IM362-SF y AA063 son los que acumularon mayor cantidad Pb y los clones NAL252, IM361-SF, MC015, CN025, SC062, KM44004 fueron los que acumularon menos Pb y debido a la influencia genética serían los más adecuados para sembrarse en la región.
- El clon KM44004 fue el que acumulo menos cantidad de Pb de los 10 clones evaluados, por lo que por la predisposición genética que tiene puede ser utilizado con un clon de referencia para los agricultores.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- Realizar investigaciones con los clones que acumularon menos metales pesados en condiciones de suelo diferentes, para determinar el nivel de contaminación y la influencia que ejercen en ellos.
- Evaluar y analizar los abonos orgánicos que se utilizan para el manejo agronómico de la yuca.
- Realizar investigaciones en los diferentes órganos de la planta de yuca y en las diferentes zonas de producción de la región Ucayali.
- Las organizaciones e instituciones de salud deben realizar estudios epidemiológicos sobre la determinación de los niveles de plomo en los pobladores de Ucayali. Esto permitiría establecer si existe relación entre los altos niveles de plomo encontrados en la yuca y el consumo de este alimento por parte de los pobladores en la región.

CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Arguello, Henry Alexander, Camilo Andrés Barraza Yance, y Alberto Ricardo Albis Arrieta. 2017. «Adsorción de Cromo (VI) Utilizando Cáscara de Yuca (*Manihot esculenta*) como Biosorbente: Estudio Cinético». *Ingeniería y Desarrollo* 35(1): 58-76. <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/7901/8943>.
- Aguilar Brenes, Edgar. 2017. *Manual del Cultivo de Yuca Manihot esculenta Crantz*. www.altdigital.co.
- Alcantara, Hannah Joy P., Augustine I. Doronila, y Spas D. Kolev. 2017. «Phytoextraction potential of *Manihot esculenta* Crantz. (cassava) grown in mercury- and gold-containing biosolids and mine tailings». *Minerals Engineering* 114: 57-63.
- Alvarado Ochoa, Anthony Cesar. 2018. «Evaluación de Parámetros Inorgánicos Establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (D.S. N°011-2017 MINAN); Distrito de Simón Bolívar - Provincia de Pasco». Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- AOAC International., y Patricia. Cunniff. 1995. 78(3) *Journal of AOAC International Official Methods of Analysis of AOAC International*. The Association.
- Aristizábal, Johanna, y Teresa Sánchez. 2007. 163 *Fao Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.
- Berduc, AD., V. Crapanzano, AP. Voitzuk, y GL. Schmidt. 2021. «Intoxicación Crónica con Plomo en Exposición Ocupacional. Características Clínicas y Epidemiológicas Período 2005-2014». *Revista Toxicol*: 94-97.

- Bravo Cabrera, Bruno Román. 2018. «La Producción de Yuca a Partir de la Vigencia del Tratado de Libre Comercio con EE.UU, Perú 2009 - 2017». Universidad César Vallejo.
- Calloapaza Valladares, Carlos Enrique. 2022. «Concentración de Metales en el Suelo y su Relación con el Contenido en Manihot esculenta (Yuca) Cultivada en la Zona de Puerto Almendra Nina Rumi, Loreto». Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Campos Solorzano Fermín, Flores Grandez Cesar E. M., y Díaz Zúñiga Edgar. 2015. «Presencia de Metales Pesados en Suelos de Plantaciones de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Ucayali». : 1-12.
- Carhuavilca Bonett, Dante. 2021. *Perú: Panorama Económico Departamental*.
- Cartagena Cachique, Teofilo Gerardo. 2018. «Determinación de Niveles de Concentración de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en el Suelo, Hojas y Almendras de Ocho Clones de Cacao (*Theobroma cacao*, L.) en el Jardín Inter Clonal de la Universidad Nacional de Ucayali.» Universidad Nacional de Ucayali.
- Chupillon Cubas, J. et al. 2017. «Acumulación de Cadmio en Seis Genotipos de Cacao Utilizados como Patrón». *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*: 1-3.
- Codex Alimentarius. 2015. *NORMA GENERAL PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS*.
- Comisión del Codex Alimentarius. 2019. *Documento de Debate sobre el Establecimiento de Niveles Máximos para Ácido Cianhídrico (HCN) en la Yuca y Productos a Base de Yuca y Presencia de Micotoxinas en estos Productos*.

- Dueñas Rivadeneira, Juan Pablo, y Frank Guillermo Intriago Flor. 2022. «Contenido de Metales Pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en Abonos Orgánicos y las Materias Primas para su Elaboración». *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. 12(1): 62-67.
- Fuentelsaz Gallego, C. 2004. «Cálculo del Tamaño de la Muestra Formación Continuada.» *Matronas Profesión* 5(18): 5-13.
- Gao, Shan, Weiping Song, y Mingxin Guo. 2020. «The Integral Role of Bioproducts in the Growing Bioeconomy». *Industrial Biotechnology* 16(1): 13-25. <https://doi.org/10.1089/ind.2019.0033>.
- Ikuemonisan, Edamisan Stephen, Taiwo Ejiola Mafimisebi, Igbekele Ajibefun, y Kemisola Adenegan. 2020. «Cassava Production in Nigeria: Trends, Instability and Decomposition Analysis (1970–2018)». *Heliyon* 6: 1-9.
- Inga Sánchez, Herminio, y José López Parodi. 2001. «Diversidad de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Jenaro Herrera, Loreto - Perú». 28: 1-47.
- Kabata Pendias, Alina, y Arun B Mukherjee. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. ed. Springer.
- Kalagbor Ihesinachi, A., NK. Dighi, y R. James. 2015. «Levels of some Heavy Metals in Cassava and Plantain from Farmlands in Kaani and Kpean in Khana Local Government Area of Rivers State». *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 19(2): 219-22.
- De la O Valenzuela, Zenaida Olinda, y Jannet Quispe Aguirre. 2017. «Determinación Cuantitativa de Plomo y Cadmio en Diez Tipos de Yuca (*Manihot esculenta*) Comercializadas en el Mercado del Distrito de San Martín de Pangoa, de la Ciudad de Satipo, Departamento de Junín, de Enero - Marzo del 2017». Universidad Wiener.

- Lenntech. 2022. «Propiedades Químicas del Plomo: Efectos del Plomo sobre la Salud y Efectos Ambientales del Plomo.» [https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm#:~:text=Es flexible%2C inelástico%2C se funde,con lentitud en ácido nítrico. \(7 de junio de 2023\).](https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm#:~:text=Es flexible%2C inelástico%2C se funde,con lentitud en ácido nítrico. (7 de junio de 2023).)
- Londoño Franco, Luis Fernando, Paula Tatiana Londoño Muñoz, y Fabián Gerardo Muñoz García. 2016. «Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal». *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2): 145-53.
- Luna Arenas, R, y V Rodríguez Lozada. 2016. «Determinación de la concentración de cadmio y plomo en papa (*Solanum Tuberosum*) cosechada en las cuencas de los rios Mashcon y Chonta-Cajamarca». Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://core.ac.uk/download/pdf/323351175.pdf>.
- Mombo, Stéphane, Camille Dumat, Muhammad Shahid, y Eva Schreck. 2016. «A Socio-Scientific Analysis of the Environmental and Health Benefits as well as Potential risks of cassava Production and Consumption.» *Environmental Science and Pollution Research*: 1-15.
- Narváez Jaramillo, Melba E., Clara E. Pozo Hernández, y Olga M. Alonzo Pico. 2020. «Intoxicación por Plomo y Efectos Neurocomportamentales en la Asociación de Carpinteros Ciudad de Tulcán,2018.» *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos* 12(5): 431-37. <https://orcid.org/0000-0002-2025-2075>.
- Olsen, Kenneth M, y Barbara A Schaal. 1999. «Evidence on the Origin of Cassava: Phylogeography of *Manihot esculenta*». *Proceedings of the National Academy of Sciences (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 96: 5586-91. www.pnas.org.

- Otzen, Tamara, y Carlos Manterola. 2017. «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio». *International Journal of Morphology* 35(1): 227-32.
- Panduro Tenazoa, Nadia Masaya. 2015. «Dinámica de la Absorción de los Nutrientes y Metales Pesados en la Biomasa Estacional del Cultivo de Camu camu (*Myrciaria dubai* HBK) en un Entisols de Yarinacocha». Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Pérez Iglesias, Hipólito, y Irán Rodríguez Delgado. 2018. *Cultivos tropicales de importancia económica en Ecuador (arroz, yuca, caña de azúcar y maíz)*. UTMACH.
- Poku, Adu Gyamfi, Regina Birner, y Saurabh Gupta. 2018. «Is Africa Ready to Develop a Competitive Bioeconomy? The Case of the Cassava Value Web in Ghana». *Journal of Cleaner Production* 200: 134-47.
- Químicas, Facultad de Ciencias. 2000. *Espectrometría de absorción atómica*.file:///C:/Users/mcuev/OneDrive/Escritorio/ESPECTROSCOPIA_DE_ABSORCION_ATOMICA.pdf.
- Rodríguez, María Lucía K, y Milton L L Formoso. 2005. «Exposure to selected heavy metals through water ingestion in an area under the influence of tanneries». *Environmental geochemistry and health* 27: 397-408.
- Rodríguez Vilchez, Ricardo. 2022. «Cuantificación de las Concentraciones de Metales Pesados (Pb,Cd,Cu) por Espectrofotometría de Absorción Atómica de los Peces Pelágico de la Bahía del Callao». Universidad Nacional del Callao.
- Rojas Cairampoma, Marcelo. 2015. «Tipos de Investigación Científica: Una Simplificación de la Complicada Incoherente Nomenclatura y Clasificación». *Revista Electrónica de Veterinaria* 16(1): 1-14. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet2015Volumen16Nº01-> <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115.html>.

- Romero González, Braulio. 2020. «Contaminación por Metales Pesados en Alimentos en Ecuador: Meta -Análisis». Universidad de Guayaquil.
- Soto-Benavente, Margarita et al. 2020. «Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon». *Scientia Agropecuaria* 11(1): 49-59.
- Suárez, Lorenzo, y Víctor R Mederos. 2011. «Revisión bibliográfica APUNTES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA (Manihot esculenta Crantz). TENDENCIAS ACTUALES». *Cultivos Tropicales* 32(3): 27-35. http://www.inca.edu.cu/otras_web/revista/EDICIONES.htm.
- Valle Vega, Pedro. 2000. *Toxicología de Alimentos*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud.
- Vera Chica, Veronica Valeria. 2022. «Evaluación del riesgo potencial por el consumo de yuca (Manihot Esculenta Crantz) a causa de la bioacumulación de metales pesados provenientes del suelo y agua en la parroquia Dayuma». Universidad Técnica de Ambato.
- Vig, K., M. Megharaj, N. Sethunathan, y R. Naidu. 2003. «Bioavailability and Toxicity of Cadmium to Microorganisms and their Activities in Soil: A Review». *Advances in Environmental Research* 8: 121-35.
- Zhang, Qianjin et al. 2019. «Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China». *Scientific Reports* 9(1): 1049. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36582-y>.

ANEXOS

Anexo 1. Pruebas estadísticas realizadas en SPSS.

- Estadísticos descriptivos**

Estadísticos descriptivos			
Variable dependiente: Pb en raíces			
Clones de Yuca	Media	Desv. Desviación	N
NAL252	1,5100	,17692	3
IM361-SF	1,4600	,29462	3
MC015	1,8700	,21517	3
CN025	1,7600	,51264	3
IM362-SF	2,4667	,86939	3
PN207	2,1100	1,01602	3
NB231	3,5467	1,61581	3
SC062	1,6300	,32787	3
AA063	2,2767	,87214	3
KM44004	,8133	,13051	3
Total	1,9443	,94466	30

- Análisis de varianza (ANOVA)**

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Pb en raíces					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	14,457 ^a	9	1,606	2,812	,026
Intersección	113,413	1	113,413	198,575	,000
Clones	14,457	9	1,606	2,812	,026
Error	11,423	20	,571		
Total	139,292	30			
Total corregido	25,879	29			

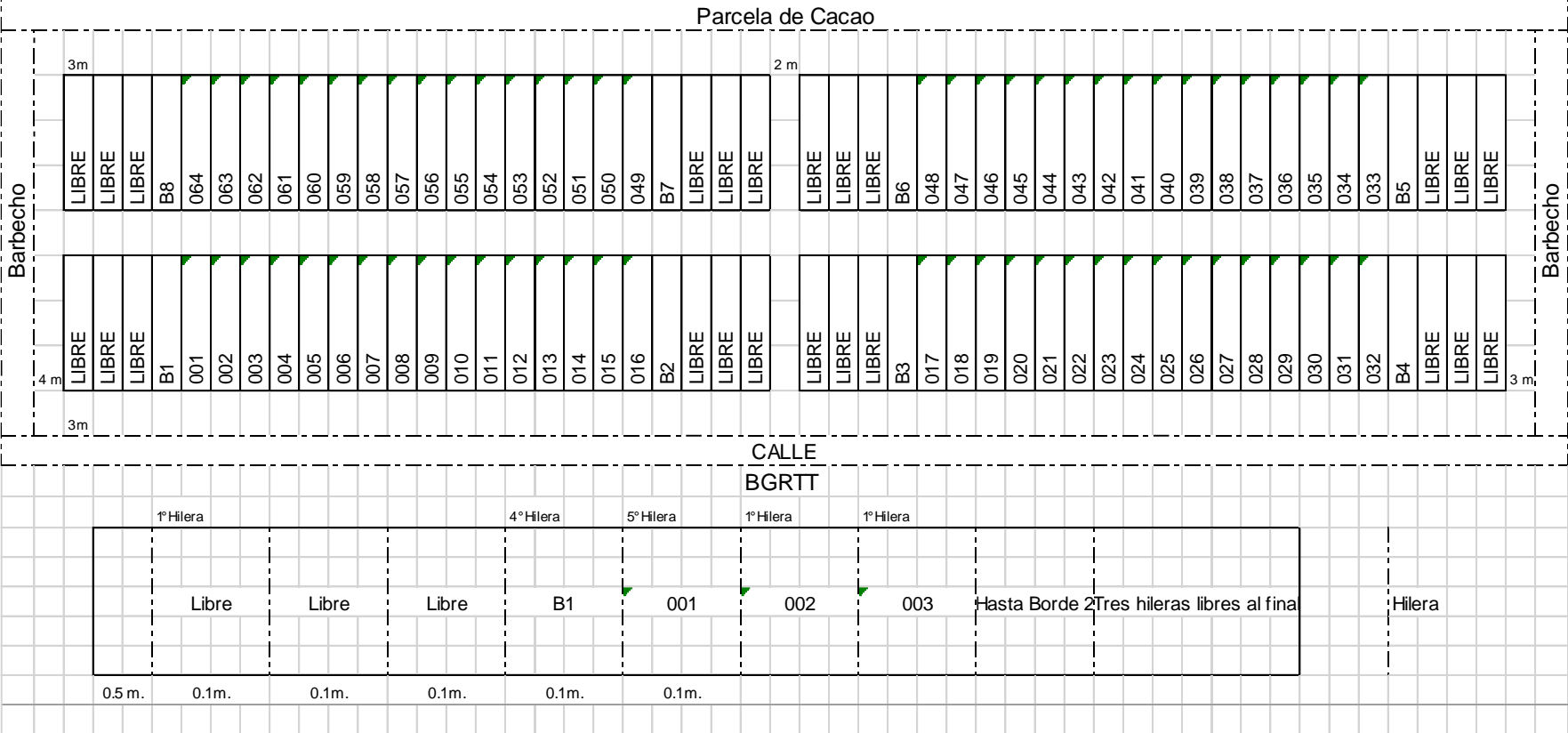
a. R al cuadrado = ,559 (R al cuadrado ajustada = ,360)

- Prueba de Tukey

Pb en raíces			
HSD Tukey ^{a,b}			
Clones de Yuca	N	Subconjunto	
		1	2
KM44004	3	,8133	
IM361-SF	3	1,4600	1,4600
NAL252	3	1,5100	1,5100
SC062	3	1,6300	1,6300
CN025	3	1,7600	1,7600
MC015	3	1,8700	1,8700
PN207	3	2,1100	2,1100
AA063	3	2,2767	2,2767
IM362-SF	3	2,4667	2,4667
NB231	3		3,5467
Sig.		,246	,069
<p>Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.</p> <p>Se basa en las medias observadas.</p> <p>El término de error es la media cuadrática (Error) = ,571.</p>			
<p>a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.</p>			
<p>b. Alfa = .05</p>			

Anexo 2. Croquis de ubicación de los clones de la estación INIA-Campo Verde


Experimento: "Conservación de la variabilidad genética de la colección local de yuca" - 2022
 Ubicación: Anexo Campo Verde (CFB Km 44)
 Fecha de siembra: 23-03-22



Anexo 3. Análisis de Pb en los clones de yuca.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : CLAUDIA MERCEDES MARIN CUEVA

PROCEDENCIA : UCAYALI/ CORONEL PORTILLO/ CAMPO VERDE/ EEA PUCALLPA - CAMPOVERDE KM 44

MUESTRA : RAÍCES DE YUCA


REFERENCIA : H.R. 79429

BOLETA : 5712

FECHA : 02/05/2023

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm
734	NAL252-I	1.48
735	NAL252-II	1.70
736	NAL252-III	1.35
737	IM361SF-I	1.28
738	IM361SF-II	1.30
739	IM361SF-III	1.80
740	MC015-I	2.08
741	MC015-II	1.65
742	MC015-III	1.88
743	CN025-I	1.28
744	CN025-II	1.70
745	CN025-III	2.30
746	IM362SF-I	2.15
747	IM362SF-II	1.80
748	IM362SF-III	3.45
749	PN207-I	1.60
750	PN207-II	3.28
751	* PN207-III	1.45

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm
752	NB231-I	5.38
753	NB231-II	2.33
754	NB231-III	2.93
755	SC062-I	1.68
756	SC062-II	1.28
757	SC062-III	1.93
758	AA063-I	3.28
759	AA063-II	1.85
760	AA063-III	1.70
761	KM44004-I	0.80
762	KM44004-II	0.95
763	KM44004-III	0.69



Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe de Laboratorio

Anexo 4. Fotos del trabajo en campo.



Foto 1. Banco de germoplasma, INIA – Campo verde.



Foto 2. Recorrido germoplasma, INIA – Campo verde.



Foto 3. Toma de muestras de raíces de yuca.



Foto 4. Recolección de datos.

Anexo 5. Nombre de los clones de raíces de yuca.

N°	Clon	Lugar de procedencia	Nombre local
1	NAL252	Nueva Alianza	Amarillo
2	IM361SF	Colonia del Caco	Sachabaca
3	MC015	Mariscal Cáceres	Blanca
4	CN025	Cambio 90	Moradita
5	IM362SF	Colonia del Caco	Dulce
6	PN207	Puerto Nuevo	Amarillo
7	NB231	Nueva Betania	Jusho
8	SC062	Santa Catalina	Huanuqueña Blanca
9	AA063	Ascención de Aguaytillo	Silpe
10	KM44004	KM44/EEAP	Señorita