



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Determinación de iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* var. chaucha rosada provenientes de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Autores:

Antonio Javier Sagbay Orellana

CI: 0705716694

Correo electrónico: antosab091@gmail.com

Andrés Fernando Zhiminaycela Guaraca

CI: 0106717978

Correo electrónico: andresfzg38@gmail.com

Directora:

Ing. Verónica Patricia Pinos Vélez PhD.

CI:0103550711

Cuenca, Ecuador

29-noviembre-2021



Resumen:

El uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, se ve reflejado en diferentes investigaciones que han reportado alimentos contaminados con residuos de estos productos. A esto se suma la contaminación del agua y suelo, que muchas veces se encuentran contaminados con metales pesados de origen antropogénico o natural. Por dicho motivo el presente trabajo tuvo como objetivo determinar iones, metales y pesticidas en papa *Solanum tuberosum*. var chaucha rosada. El estudio se realizó en la Granja Experimental Irquis de la Universidad de Cuenca, con un diseño experimental Cuadrado Latino 4 x 4. Se sembró y se aplicó plaguicidas en dosis convencionales y se varió la dosis de fertilizantes, para luego tomar y analizar muestras de agua, suelo y papas. Los metales se analizaron mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente; los pesticidas con Cromatografía Líquida de Alta Resolución y los iones mediante Espectroscopia UV – visible. De los 43 metales analizados todos estaban por debajo de los LMP a excepción del Pb con un valor de 0.1 mg/L, esto no se vio influenciado por la aplicación de fertilizantes o el agua de riego, pero si por la ubicación de las parcelas experimentales, esto debido a que el suelo no presenta una concentración de metales uniforme. La concentración de iones (nitratos y fosfatos) con respecto a las dosis de fertilizantes no presentó diferencias estadísticamente significativas. Los pesticidas se encontraron fuera de los límites de detección, esto puede deberse a que los tubérculos estaban en proceso de germinación.

Palabras claves: Papa. Metales. Iones. Pesticidas. Cromatografía. Espectrometría.



Abstract:

The indiscriminate use of fertilizers and pesticides in agriculture is reflected in different investigations that have reported food contaminated with residues of these products. Added to this is the contamination of water and soil, which are often contaminated with heavy metals of anthropogenic or natural origin. For this reason, this study aimed to determine ions, metals and pesticides in potato *Solanum tuberosum*. var *chaucha rosada*. The study was carried out at the Iquis Experimental Farm of the University of Cuenca, with an experimental design Cuadrado Latino 4 x 4. Pesticides were sown and applied in conventional doses and the dose of fertilizers was varied, to then take and analyze water samples, soil and potatoes. Metals were analyzed by Mass Spectrometry with Inductively Coupled Plasma; pesticides with High Resolution Liquid Chromatography and ions by UV Spectroscopy - visible. Of the 43 metals analyzed, all were below the LMP with the exception of Pb with a value of 0.1 mg/L, this was not influenced by the application of fertilizers or irrigation water, but by the location of the experimental plots, This is because the soil does not have a uniform concentration of metals. The concentration of ions (nitrates and phosphates) with respect to fertilizer doses did not show statistically significant differences. The pesticides were found outside the detection limits, this may be because the tubers were in the process of germination.

Keywords: Potato. Metals. Ions. Pesticides. Chromatography. Spectrometry.



INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
2.1. Objetivo General:	20
2.2. Objetivos Específicos:	20
2.3. Hipótesis:	20
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. Cultivo de papa	21
3.2. Descripción	21
3.2.1. Importancia económica mundial y en Ecuador	22
3.2.2. Plagas y enfermedades que afectan la producción	22
3.2.3. Pesticidas usados en el cultivo de papa.....	23
3.2.4. Fertilización en papa	23
3.2.5. Fertilizantes más usados en el cultivo.....	24
3.3. Fuentes de contaminación en el cultivo de papa.....	25
3.3.1. Contaminación por fertilizantes.....	25
3.3.2. Contaminación por metales	26
3.3.3. Contaminación por pesticidas.....	28
3.4. Marco legal sobre la contaminación en Ecuador.	29
3.4.1. Límites máximos de residuos (LMR):	29
3.4.2. Normas TULSMA	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1. Materiales.....	29
4.2. Métodos	30



4.2.1.	El área de estudio	30
4.3.	Metodología para la investigación experimental del objetivo 1.	31
4.3.1.	Aplicación de tratamientos.	31
4.3.2.	Recolección de muestras de tubérculos, suelo y agua.	33
4.4.	Metodología para la investigación experimental del objetivo 2.	33
4.4.1.	Digestión de muestras de tubérculos, suelo y agua.	33
4.4.2.	Análisis estadísticos	35
4.4.3.	Análisis de pesticidas	36
4.5.	Metodología para la investigación experimental del objetivo 3.	36
4.5.1.	Procesamiento de las muestras para determinación de iones	36
4.5.2.	Relación entre Iones y dosis de fertilización.....	38
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1.	Análisis de metales en papa, suelo y agua.	38
5.1.1.	Contenido de metales pesados y trazas en tubérculos.....	38
5.1.2.	Contenido de metales en tubérculos.	40
5.1.3.	Contenido de metales pesados en el suelo.	41
5.1.4.	Contenido de metales tóxicos en el agua	42
5.2.	Análisis de componente principales para metales en tubérculos.	42
5.3.	Detección de pesticidas en tubérculos. suelo y agua.	51
5.4.	Análisis de Iones	51
5.4.1.	Nitratos y fosfatos en tubérculos	51
5.4.2.	Nitratos y fosfatos en el agua	53
5.4.3.	Nitratos y fosfatos en el suelo	54
6.	CONCLUSIONES.....	57



7. RECOMENDACIONES.....	58
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	59
9. ANEXOS	69



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales físicos, químicos y biológicos utilizados en el presente estudio.....	30
Tabla 2 Fórmula de la curva de calibración para nitratos	37
Tabla 3 Fórmula de la curva de calibración para fosfatos (880 nm).....	38
Tabla 4. Metales pesados y trazas en tubérculos de papa mg/L	39
Tabla 5 Contenido de metales en tubérculos mg/Kg.	40
Tabla 6 Contenido de metales pesados y trazas en el suelo mg/Kg.....	41
Tabla 7 Contenido de metales tóxicos y trazas en el agua mg/L.....	42
Tabla 8. Concentración de nitratos mg/Kg de muestra fresca.	52
Tabla 9. ANOVA de nitratos.	52
Tabla 10. Concentración de fosfatos mg/Kg de muestra fresca.	52
Tabla 11. ANOVA de fosfatos.	53
Tabla 12. Concentración de nitratos mg/L en el agua de riego.....	52
Tabla 13. Concentración de fosfatos mg/L en el agua de riego.....	52
Tabla 14. Nitratos y fosfatos en el suelo mg/Kg.....	54
Tabla 15. Prueba de Wilcoxon para nitratos en el suelo	55
Tabla 16. Prueba de Wilcoxon de los fosfatos del suelo antes y después de la siembra.	55



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Límites máximos de residuos de metales en papa	69
Anexo 2: Límites máximos de residuos de pesticidas en papa.....	69
Anexo 3: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.	69
Anexo 4: Parámetros de los niveles guía de la calidad de agua de riego	71
Anexo 5: Factores indicativos de contaminación del suelo.....	72
Anexo 6: Criterios de calidad del recurso suelo	73
Anexo 7: Criterios de remediación o restauración del suelo	74
Anexo 8: Requerimiento nutricionales del cultivo de papa según varios países	77
Anexo 9: Contenido de metales en los tratamientos	77
Anexo 10: Contenido de metales en el suelo	79
Anexo 11: Contenido de metales en el agua de riego	80



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	9
Ilustración 1: Mapa de la granja experimental Irquis.....	31
Ilustración 2. Diseño experimental Cuadrado Latino 4x4.....	32
Ilustración 3. Proporción de varianza de cada componente	43
Ilustración 4. Contribución de las variables en las componentes 1, 2 y 3.....	44
Ilustración 5. Contribución de variables en la componente 1	46
Ilustración 6. Contribución de variables en la componente 2.....	45
Ilustración 7. Contribución de variables en la componente 3.....	46
Ilustración 8. Correlación de variables en la componente 1 y 2	47
Ilustración 9. Representación conjunta de las variables de la 1 y 2	48
Ilustración 10. Resultados clustering del método CLARA para metales en tubérculos de papa...48	
Ilustración 11. Dendrograma de clúster para metales en papa.	49
Ilustración 12. Resultados clustering del método CLARA para los metales del suelo, agua y tubérculos de papa.....	50
Ilustración 13. Dendrograma para los metales del suelo, agua y tubérculos de papa.	50



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

- C.A.: Carbón Activado.
- C.V: Coeficiente de Variación.
- DAP: Fosfato diamónico.
- EPA: Environmental Protection Agency.
- HNO_3 : Ácido nítrico.
- ICP – MS: Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente.
- KCl: Muriato de potasio.
- KNO_3 : Nitrato de potasio.
- LMR: Límite Máximo de Residuos.
- PCA: Análisis de Componentes Principales.
- Mg SO_4 : Sulfato de magnesio,
- NPK: Nitrógeno – Fósforo – Potasio.
- PO_4^{3-} : Ion fosfato.
- WQI-DGI: Water Quality Index.
- kg/ha: Kilogramo por hectárea.
- mg/kg: Miligramo por hectárea.
- t/ha: Tonelada por hectárea.
- nm: Nanómetros.
- ppm: Partes por millón.



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Antonio Javier Sagbay Orellana en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* var. chaucha rosada proveniente de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de Noviembre de 2021

Antonio Javier Sagbay Orellana

C.I: 0705716694



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Andrés Fernando Zhiminaycela Guaraca en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación de iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* var. chaucha rosada proveniente de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de Noviembre de 2021

Andrés Fernando Zhiminaycela Guaraca

C.I: 0106717978



Cláusula de Propiedad Intelectual

Antonio Javier Sagbay Orellana, autor del trabajo de titulación "(Determinación de iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* var. chaucha rosada proveniente de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas)", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 29 de Noviembre de 2021

Antonio Javier Sagbay Orellana

C.I: 0705716694



Cláusula de Propiedad Intelectual

Andrés Fernando Zhiminaycela Guaraca, autor del trabajo de titulación “(Determinación de iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* var. chaocha rosada proveniente de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas)”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 29 de Noviembre de 2021

Andrés Fernando Zhiminaycela Guaraca

C.I: 0106717978



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi madre Fanny Orellana y a mi familia que ha estado acompañándome a lo largo de mi vida universitaria, motivándome y apoyándome para cumplir una meta más en mi vida. Al Ing. Luis Minchala, a mis docentes que me han guiado en este proceso de aprendizaje transmitiéndome sus conocimientos. También agradezco a mis compañeros de clase que al pasar el tiempo se volvieron amigos incondicionales y hemos compartido grandes momentos en el transcurso de toda la carrera.

A la Ing. Veronica Pinos Ph. D por su valiosa guía y colaboración en el desarrollo de este proyecto.
Antonio J. Sagbay Orellana

En este largo proceso de vida universitaria el contar con el apoyo de las personas que nos rodean es de suma importancia, es por eso, que quiero agradecer de manera muy sincera a todos los docentes quienes con su conocimiento inculcaron una vida llena de aprendizaje y entusiasmo por la carrera. Agradecimiento en especial a nuestra tutora de tesis Ing. Veronica Pinos Ph. D por la confianza y paciencia depositada.

A mi familia un agradecimiento muy especial por brindarme su apoyo en todo momento.

Andrés F. Zhiminaycela Guaraca.



DEDICATORIA

Dedico a mi madre Fanny Orellana, a mi familia en especial a mi tío Vicente Carrión, aunque ya no se encuentra con nosotros siempre estuvo apoyándome a lo largo de mi vida universitaria, también dedico a mi hija Genesis Anthonella y mi esposa Silvana Paredes por su compañía y motivación para salir adelante y concluir una meta más en mi vida.

Antonio J. Sagbay Orellana

Este trabajo de investigación va dedicado con mucho cariño a todos mis familiares que me brindaron su apoyo en tiempos de flaqueza, en especial a mi madre Luz Cenaida Guaraca, por su infinita comprensión y confianza depositada en mí.

Andrés F. Zhiminaycela Guaraca



1. INTRODUCCIÓN

La papa, llamada *Kausay* (sustento de vida) forma parte indispensable de nuestra alimentación desde la época de nuestros ancestros (Viteri, Camino, Robayo, Moreno, & Ramos, 2020). El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador es una de las principales actividades agrícolas con gran importancia social y económica, dado que su proceso productivo vincula a miles de productores y representa un 3.5 % del PIB agrícola del país (Pantoja & Cuasapaz, 2017). A nivel mundial, el cultivo de la papa es una de las actividades agrícolas que más consume pesticidas por área sembrada, debido a que se siembra al aire libre y está propenso al ataque de numerosos patógenos, plagas y malezas. Un estudio en Cartago, Costa Rica determinó el uso de pesticidas de tipo fungicida con un total de 30 kg i.a. ha/ciclo, el 98.1% de los productores aplica mancozeb, 88,5% clorotalonil, 76.9 % cimoxanil y 65.4 % propineb (Ramírez, Fournier, Ruepert, & Hidalgo, 2014). Debido al uso irracional de estos pesticidas, las enfermedades han aumentado su nivel de resistencia a dichos productos, llevando al productor a aumentar su catálogo de pesticidas y agravando más el problema (Mora, 2015). En el país, el aumento en el uso de pesticidas se ve reflejados en las cifras de la empresa UN COMTRADE que reportó que del año 2006 al 2015 al país ingresó 291.783 toneladas de pesticidas; el 6.4 % de estos productos son usados en el cultivo de la papa (Naranjo, 2017).

El uso de fertilizantes a nivel mundial tiene cifras alarmantes, ya que estas alcanzan 181.9 millones de toneladas al año, divididas en 102.5 millones en consumo de nitrógeno, 45.9 millones en el uso de fósforo, y con un consumo de potasio de 33.5 millones (González, 2019). En el Ecuador según el INEC (2014) para la producción de papa se usan fertilizantes químicos en un 75.55 % y tan solo un 11.98 % de fertilizantes orgánicos. Según Wang, Zhang & Wang (2018), el uso excesivo de estos fertilizantes químicos empleados en el cultivo resulta alarmante debido a que las plantas poseen la cualidad de absorber solo el 30 a 50 % de fertilizante, lo demás, se queda en el suelo, generando toxicidad tanto en el suelo como en las aguas subterráneas, lo que conlleva a una disminución de la biodiversidad del ecosistema, eutrofización y muchos problemas más (González, Mosquera & Trujillo, 2015). A pesar del peligro que representa el uso de pesticidas y fertilizantes (iones) en la producción de alimentos en dosis más allá de las recomendadas por los



técnicos, en el país existen escasos estudios. Otro estudio realizado en 320 parcelas monitoreadas en la provincia con mayor producción de papa (Carchi), se demostró que los agricultores realizaban más de 7 aplicaciones usando una media de 2.46 pesticidas de tipo insecticida y fungicida en cada aplicación y algunos agricultores registraron el uso de hasta 7 productos dentro de una misma mezcla (Crissman, Espinosa & Barrera, 2002).

El uso de fertilizantes y pesticidas en dosis más allá de las recomendadas han sido empleadas con el fin de generar mayores producciones, dichas producciones están destinadas a la comercialización en mercados locales y en menor cantidad para semilla y el autoconsumo (Pallo, Guapi, & Mullo, 2020). La aplicación en dosis exageradas ha generado problemas no solo a los consumidores de manera directa al ingerir estos productos, sino también de manera indirecta ya que este exceso produce problemas en la salud animal y vegetal que luego son destinados para el mismo consumo humano. Por ejemplo, se han dado varios casos por el uso en dosis altas de fertilizantes y pesticidas tales como el aumento de defectos de nacimiento, anomalías en los órganos sexuales, fallas reproductivas, puede aumentar el riesgo de cáncer en los órganos reproductivos, los resultados resumidos en la Declaración de Praga en el 2005 reforzaron estas preocupaciones acerca de las consecuencias a largo plazo de la exposición de seres humanos y la vida silvestre.

Se suma a esto una característica importante del cultivo de papa, ya que al ser un tubérculo presenta una peculiaridad de ser un cultivo propenso a absorber metales pesados de suelos contaminados y lo depositan en diferentes partes del tubérculo (Feka, Musa, Musa, & Behrami, 2017), es decir, el suelo y el agua vienen a convertirse en fuentes de contaminación en el caso de que estos presenten dichas anomalías o excesos de contaminantes. La presencia de metales especialmente de metales pesados resulta problemático debido a que estos generalmente poseen un alto grado de toxicidad, causando daños a la salud humana, en base al metal que se encuentre va a depender el daño producido, es decir estos daños pueden ser desde afección a los órganos vitales como también desarrollo de cancerígenos (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, González, 2016). Por ejemplo, en ciertas áreas de la ciudad de Varanasi, India, la aplicación continua de aguas de desecho por más de 20 años ha conducido a una acumulación de metales pesados en el suelo y las concentraciones de Cd, Pb y Ni han rebasado los límites seguros para el consumo humano en todas



las verduras (Singh, Sharma, Agrawal, & Marshall, 2010). La contaminación por metales en el sistema suelo es un problema cada vez mayor que enfrenta el mundo moderno, por lo que el acceso a datos confiables y rápidos a cerca de concentraciones es fundamental en el monitoreo y la remediación del suelo y por consiguiente para los alimentos que se produzcan en dicho suelo (Shi, Chen, Liu, & Wu, 2014).

Teniendo en cuenta la importancia económica del cultivo de papa y la importancia de la salud de los consumidores, debido al mal uso e indiscriminado de pesticidas y fertilizantes, se propone determinar los iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum*. var chaucha rosada provenientes de tres dosis diferentes de fertilización y la aplicación convencional de plaguicidas.



2. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo General:

- Determinar los iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum*. var chaucha rosada provenientes de tres dosis diferentes de fertilización y la aplicación convencional de plaguicidas.

2.2. Objetivos Específicos:

- Reproducir la capacidad de absorción de iones provenientes de fertilizantes en parcelas controladas, usando varias dosis de fertilizantes.
- Caracterizar la presencia de metales y pesticidas en muestra de papas sembradas, agua y suelo de cultivo.
- Determinar la relación entre la presencia de iones provenientes de fertilizantes en papas, en base a la dosis diferente de fertilización.

2.3. Hipótesis:

- Los fertilizantes y el agua de riego y los pesticidas aplicados convencionalmente al cultivo de papa generan residuos en los tubérculos por encima de los LMR y la normativa TULSMA.



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cultivo de papa

Según Devaux, Ordiola, Hibon & Flores (2010) después de los cereales, a la papa se considera el cultivo más importante a nivel mundial, tanto es así, que para el 2007 este cultivo rompió el récord de producción mundial, llegando a 320 millones de toneladas, por este motivo y al ser considerada un alimento valioso contra el hambre y la pobreza en países en vías de desarrollo la ONU decidió declarar en 2008 como el Año Internacional de la papa.

3.2. Descripción

La papa es una planta cuyo hábito de crecimiento es erecto, al mismo tiempo que rastrero, por lo general, son plantas que normalmente alcanzan alturas entre los 60 cm hasta los 150 cm. Pertenecen a la familia de las solanáceas, por ende, se encuentran entre las especies dicotiledóneas presentando tallos herbáceos, de forma angular y con entre nudos cortos, su clasificación taxonómica según Huamán (1990) es la siguiente:

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Serie: Tuberosa

Especie: Tuberosum



3.2.1. Importancia económica mundial y en Ecuador

La producción de papa cada vez toma mayor importancia debido a su distribución en los 5 continentes, su demanda es mundial, tanto así que datos de la FAO (2008) nos dicen que los mayores consumidores de papa son Asia – Oceanía, seguidos por Europa, América del Norte, África y finalmente América del Sur.

Los mayores productores de papa en nuestra región latinoamericana son principalmente Brasil seguido por Perú, Colombia, Argentina, México, Chile, Bolivia y Venezuela, Guatemala, Ecuador, Cuba, obteniendo un mejor rendimiento en producción la Argentina con 28,7 t / ha (FAOSTAT, 2007).

En Ecuador, la papa, debido a su origen andino es producida a todo lo largo de la Cordillera los Andes, resaltando en la actualidad la provincia de Pichincha, siendo esta la mayor productora de papa a nivel nacional (MAG, 2017).

3.2.2. Plagas y enfermedades que afectan la producción

La papa por lo general es un cultivo que diariamente es atacado por un sin número de factores que afectan directamente la producción de este, destacando según el International Potato Center (CIP) (2015) las siguientes enfermedades: *Globodera pallida* y *rostochiensis*, *Phytophthora infestans*, *Ralstonia solanacearum* y *Alternaria solani*.

En cuanto a plagas las que comúnmente se encuentran en el cultivo de papa son Gusanos blancos (*Premnotrypes vorax* Hustache), *Leptinotarsa decemlineata*, *Phthorimaea operculella*, *Liriomyza huidobrensis*, también, varias polillas minadoras y pulgillas como *Epitrix* sp (Chirinos, Castro, Cun, Castro, Peñarrieta, Solis & Geraud-Pouey, 2020).



3.2.3. Pesticidas usados en el cultivo de papa

El uso de fungicidas para controlar enfermedades del suelo y del cultivo de papa en especial *P. infestans* es habitual, los más usados en el país son: Cymoxanil, Metalaxil, Propanocarb, Fosetil – Aluminio, Ofurace y Oxadixyl (Pumisacho & Sherwood, 2002).

En cuanto se refiere al uso de insecticidas para el control de plagas, los más usados son: Pitetroides (cipermetrina, lambda cihalotrina), Neonicotinoides (tiametoxan), Carbamatos (carbofuran), Organofosforados (metamidofos, profenofos) (Chirinos et al, 2020).

3.2.4. Fertilización en papa

Este factor va a depender mucho de la fertilidad de los suelos, siendo este un elemento fundamental en la productividad del cultivo de papa. En caso de que exista una deficiencia de nutrientes, se debe realizar una fertilización adecuada y de esta manera asegurar una buena producción (INIAP-CONSUDE, 2009).

Dicho esto, muchos documentos señalan que la papa es uno de los cultivos con mayor consumo de fertilizantes por unidad de superficie (**Anexo 8**), con dosis que oscilan entre 1000 y 2000 kg/ha, en las relaciones de N-P-K existe una predominancia alta del P en las relaciones 1:3:1, 2:4:1 y en menor escala la relación 1:2:2, estas dosis varían en base a la altitud y las dosis aumentan a medida que esta se incrementa (Ramírez, 2010). Con relación al Ecuador, el INIAP (2011) afirma que el requerimiento de papa a nivel nacional varía de acuerdo a cada provincia, en donde como referencia se toma el requerimiento del cultivo, el mismo que equivale a 300 – 100 – 500 kg/ha de N-P-K respectivamente. La unidad de validación y transferencia del INIAP (Barrera et al. 2004) hace sus recomendaciones en base a la magnitud del productor, es decir, que para un pequeño productor la dosis de fertilización es de 100 – 300 – 50 kg/ha de N-P-K respectivamente, mientras



que para productores medianos y grandes su dosis de fertilización aumenta a 200 – 300 – 100 – 30 de N-P-K-S respectivamente.

3.2.5. Fertilizantes más usados en el cultivo

Se define a los fertilizantes como composiciones elaboradas con el fin de suplir las necesidades de los suelos, de esta manera el MAG (2020) describe a un fertilizante como una sustancia de origen natural o sintética, que se puede aplicar por la vía foliar, por el suelo o disuelta en agua, con el fin de suministrar los elementos esenciales en forma disponible y aprovechable para la planta.

En el caso del cultivo de papa el uso de fertilizantes es indispensable para alcanzar altos niveles de producción, por ello el uso de fertilizantes a base de nitrógeno son fundamentales, debido a que este elemento es el que interfiere directamente en el rendimiento, así como también la calidad del tubérculo.

Otro fertilizante importante es aquel que contenga en su estructura el elemento fósforo, este es el que promueve un buen desarrollo radicular, por ende, una aceleración en el desarrollo de los tubérculos (Gaitán, González, Ñústez, Saldaña & Cotes, 2013). Su uso en altas cantidades se debe a que este elemento posee una eficiencia que rodea solamente el 20 %, es por eso el elevado costo en las aplicaciones fosfóricas en los cultivos (Ñústez, Santos & Cotes, 2006).

El potasio es el elemento que actuará directamente en el nivel de productividad, debido a que este es el que permite un balance nutricional del tubérculo, actuando como un translocador y almacenador de azúcares, permitiendo así una gran producción y una alta calidad del tubérculo, por todo esto es que es indispensable el uso de fertilizantes que contengan este elemento en su estructura (Flores, Flores, Mora & Mora, 2018).



3.3. Fuentes de contaminación en el cultivo de papa

3.3.1. Contaminación por fertilizantes

Para que el fertilizante cumpla con su función en sus formulaciones vienen a la par otros elementos, en muchos de los casos estos elementos son metales pesados en bajas cantidades. Si bien estos, en soledad, no presentan peligro alguno, algunos de estos metales pesados tienen tendencia a acumularse en el suelo o el agua, produciéndose así que estos valores superen los límites permitidos (Giemno, Andreu, & Boluda, 2001).

Los fertilizantes son fuentes de iones entre los que destacan los nítricos, que, si bien no son tóxicos en dosis pequeñas, la acumulación de estos en alimentos los convierte en peligrosos. Los nitritos provenientes de fertilizantes se mantienen en los alimentos como lo demuestran estudios al respecto. Por ejemplo, se ha determinado la acumulación de nitratos y nitritos en tomates de invernadero, solares y campo; encontrando un rango de concentración de nitratos entre 82.21 y 116.75 mg/Kg (Mohammad-Makki & Ziarati 2015). Los fertilizantes estructurados a base de nitrógeno resultan problemáticos, debido a que estos, para que sean asimilables por las plantas deben estar en forma de nitratos o de amoníaco, debido a que porque estos iones poseen una alta solubilidad en el agua (Pinedo, Olivas, Rodríguez & Castro, 2020)

En base a lo mencionado, se concluye que las fuentes de contaminación por estos iones pueden deberse a dos razones, una de origen natural, que va de la mano con el ciclo natural del nitrógeno, mientras que el otro motivo es por las acciones humanas, debido al uso de fertilizantes en exceso para la producción agrícola (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

En cuanto a fertilizantes a base de fósforo, generalmente tienen como base al ácido fosfórico (H_3PO_4) y sus sales de fosfato amónico, fosfato de potasio y el súper fosfato tripe (Mixquititla &



Villegas, 2016). Su aceptación en el mercado se debe a que en su estructura solo contiene P, pero hay que tomar en cuenta que este también puede producir problemas ambientales. Un ejemplo de ello es cuando se incrementó drásticamente la concentración de ion fosfato en el lago Erie en la época de los 70 produciendo la muerte de las especies acuáticas que habitaban sus aguas (Baird, 2001).

3.3.2. Contaminación por metales

Se puede decir que los metales y su efecto tóxico son conocidos por el hombre desde la antigüedad, metales como el plomo y el arsénico que fueron descubiertos por el hombre hace cientos de años y otros más recientemente como el cadmio y talio, producen un efecto tóxico en la salud humana; los metales están en contacto con el hombre ya sea por el medio ambiente (agua, suelo, polvo), por su ingestión a través de la comida; los metales tienen la peculiaridad de alterar la forma bioquímica de los elementos (Nava & Méndez, 2011).

Generalmente, se considera que los que generan toxicidad son los metales pesados y las trazas, los metales pesados son alrededor de 59 elementos y son aquellos que como característica primordial tienen el peso atómico mayor al del hierro (55.85 g/mol), mientras que algunos metales menores resultan con frecuencia contaminantes es el caso del Vanadio (V), Cromo (Cr) y Manganeso (Mn), y otro más que no son metales por ejemplo Arsénico (As), debido a esto es preferible en este caso de hablar de contaminación por “elementos trazas”, estos se encuentran con normalidad en pequeñas cantidades en el suelo, primordiales para el crecimiento de plantas, animales y humanos, pero que cuando se da una acumulación excesiva a los límites permitidos pueden producir graves problemas de salud (Galán & Romero, 2008).



Estudios realizados a nivel mundial para determinar metales en suelos han encontrado cantidades considerables de metales tóxicos en suelos destinados a la producción de alimentos. Este es un hecho preocupante ya que el consumo de alimentos cultivados en ambientes contaminados con metales tóxicos ha sido detectado como la mayor fuente de exposición de las personas a estos metales (Khan et al. 2008).

La presencia de estos metales en el suelo se relaciona con la presencia de estos en los alimentos, por ejemplo, en un estudio chino en arroz cultivado en ese país y en el agua y el suelo usados para ese cultivo, se encontraron dosis altas de cadmio, plomo, cromo, cobre, zinc y níquel en las muestras mencionadas (Li et al. 2012). Un estudio sobre la bioacumulación de metales en calabaza, zanahoria, papa en varias ciudades de Polonia encontró en estos productos niveles más altos de lo permitido de cadmio y plomo (Dziubanek et al. 2015). Estos resultados son preocupantes puesto que el suelo y sus nutrientes son fundamentales para la cadena de producción de alimentos no solo de vegetales, sino también animales. Lo grave es que los metales tóxicos no solo se han encontrado en los suelos, sino también en tejidos foliares y en plantas (Burger & Gochfeld 2004; Dziubanek et al. 2015; Annadurai, Juang, & Lee 2003).

El estudio de la presencia de metales en verduras, ubicados en dos sitios (Koka y Wonji Gefersa) menciona que el repollo verde obtuvo el valor más alto del índice de contaminación por metales y el frijol el más bajo. A pesar de esto, el índice de peligro de todas las verduras fue inferior a la unidad, por ende, es poco probable que estos vegetales representen un peligro para la salud (Eliku & Leta, 2017). Una proporción considerable de los niveles totales de muchos metales residía en fracciones no residuales en Vertisol y Fluvisol a excepción del V (Vertisol), Pb y Zn (Fluvisol) podrían representar una amenaza para la salud (Fitamo, Itana, & Olsson, 2007). Las acumulaciones



de Cr en las raíces de vegetales superan un nivel crítico para la nutrición humana, sin embargo, no se encuentra tendencia similar en la parte comestible de las plantas (Ličina, y otros, 2017). Especies de plantas de *Agrostis* crecen en tierras de Escocia, estos suelos tienen altos niveles de Pb, Zn, Cu y Ni, la tolerancia hacia los metales pesados puede deberse a que estas plantas tienen la capacidad de descartar estos metales (Smical, Hotea, Oros, Juhasz, & Pop, 2008).

3.3.3. Contaminación por pesticidas

Un pesticida se lo puede considerar un sinónimo de plaguicida, debido a que comparten definiciones muy similares en cuanto a su significado, la U.S Environmental Protection Agency (EPA) define a un pesticida como toda sustancia que se utiliza con el fin de controlar, prevenir y ahuyentar diversas plagas, así como también vectores transmisores de enfermedades, se dice los pesticidas son utilizados en la agricultura debido a su amplio campo de funcionamiento, ya que estos pueden funcionar como insecticidas, fungicidas, acaricidas, desinfectantes. El uso de estos pesticidas para controlar y proteger los cultivos resulta problemático debido a que su uso sin un manejo técnico apropiado está llevando a repercutir en la salud de los suelos, el agua y el aire (Castillo, Ruiz, Manrique & Pozo, 2020).

La contaminación que se da en los suelos agrícolas destinados a la producción se da principalmente por el pesticida que se use y la forma en que se aplique su tratamiento (del Puerto Rodríguez, Suárez & Palacio, 2014). En cuanto a lo que se refiere a peligrosidad por el uso de pesticidas, según la Comisión Europea (2006), nos dice que se puede dar efecto negativo en la salud humana cuando hay una exposición directa a los pesticidas o de manera indirecta la cual viene siendo aquellos consumidores que adquieran productos agrícolas y pecuarios que hayan sido expuestos o sometidos al uso de pesticidas.



3.4. Marco legal sobre la contaminación en Ecuador.

3.4.1. Límites máximos de residuos (LMR):

El (Codex Alimentarius, 2019) define a los Límites Máximos de Residuos (LMR) como “nivel máximo de residuos de un plaguicida que se permite legalmente en los alimentos o piensos (tanto en el interior como en la superficie). Los valores máximos de metales pesados presentes en los alimentos son controlados por diversas instancias (**ver Anexo 1 y 2**). El método de toma de muestras y criterios de realización de los métodos de análisis se basan en el Reglamento 333/ 2007 (Union Europea, 2019), (Codex Alimentarius, 2019).

3.4.2. Normas TULSMA

Estas son un conjunto de normas que rigen para el control de diferentes criterios de calidad, como es el contenido de ciertos metales o iones, tanto como de suelo agrícola y del agua, sirviendo de base para referenciar con diferentes estudios en estos campos, dichas normas son las siguientes:

- Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (**Anexo 3**).
- Parámetros de los niveles guías de la calidad de agua de riego (**Anexo 4**),
- Factores indicativos de contaminación del suelo (**Anexo 5**).
- Criterios de calidad del recurso suelo (**Anexo 6**).
- Criterios de remediación o restauración del suelo (**Anexo 7**).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

En esta área del documento vamos a citar los materiales utilizados en el desarrollo de nuestra tesis y el tipo de material al cual pertenecen.

Tabla 1. Materiales físicos, químicos y biológicos utilizados en el presente estudio

Biológico	Físicos	De laboratorio
<ul style="list-style-type: none">– Abono– Semillas de papa– Bocashi	<ul style="list-style-type: none">– Azadillas– Palas– Fertilizantes– Sacos– Etiquetas– Estacas de madera– Fundas plásticas– Libreta de campo	<ul style="list-style-type: none">– Vasos de precipitación– Erlenmeyer– Tubos de ensayo– Pipeta– Piseta– Balón de aforo– Gradillas

Equipos	Reactivos	Programas
<ul style="list-style-type: none">– Balanza analítica– Balanza mecánica– Estufa– Refrigeradora– Autoclave– ICP-MS– HPCL– Espectrofotómetro UV – visible.	<ul style="list-style-type: none">– Agua destilada– Agua desionizada– Ácido nítrico (HNO₃)– Ácido sulfúrico– Tartrato de antimonio y potasio– Molibdato de amonio– Ácido ascórbico	<ul style="list-style-type: none">– Software Excel– R y R studio

Fuente: Autores.

4.2. Métodos

4.2.1. El área de estudio

El área de estudio de la investigación se encuentra ubicada en la región sur del país, en el sector ganadero de Victoria del Portete del cantón Cuenca, provincia del Azuay, en la Granja Experimental Irquis, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. La altitud que presenta el área de estudio es de 2 761 m s. n. m. (Ilustración 1) con temperaturas promedio que varían entre 7° C y 12 ° C.

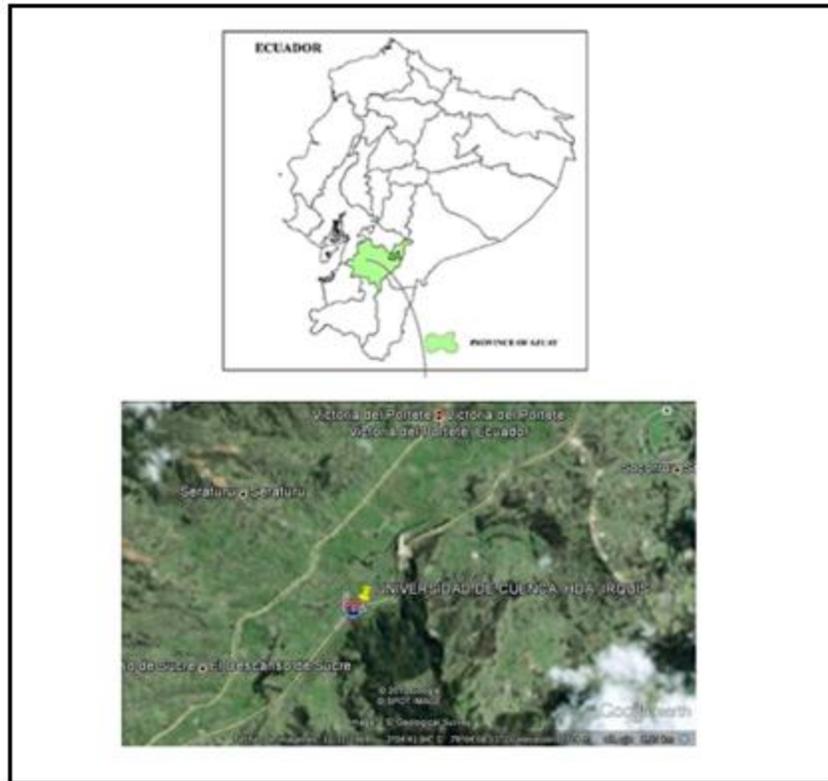


Ilustración 1: Mapa de la granja experimental Irquis.

Fuente: GoogleMaps.

4.3. Metodología para la investigación experimental del objetivo 1.

4.3.1. Aplicación de tratamientos.

Los tratamientos fueron aplicados mediante diferentes dosis de fertilizantes usando la distribución del cuadrado latino, en total se aplicaron 4 tratamientos con 4 réplicas cada uno. Por tanto, se establecieron 16 parcelas, las cuales estaban organizadas en 4 filas y 4 columnas respectivamente, las dimensiones de cada parcela fueron de 3.9 m de ancho y 4 m de largo, siguiendo el diseño estadístico de Cuadrado latino. Cada parcela estaba separada con una distancia de 1.50 m entre filas y 2 m entre columnas. El número de surcos que correspondía a cada parcela fueron 6, en donde 2 hicieron la función de borde de protección, dando al final solo 4 surcos de parcela neta (Ilustración 2).

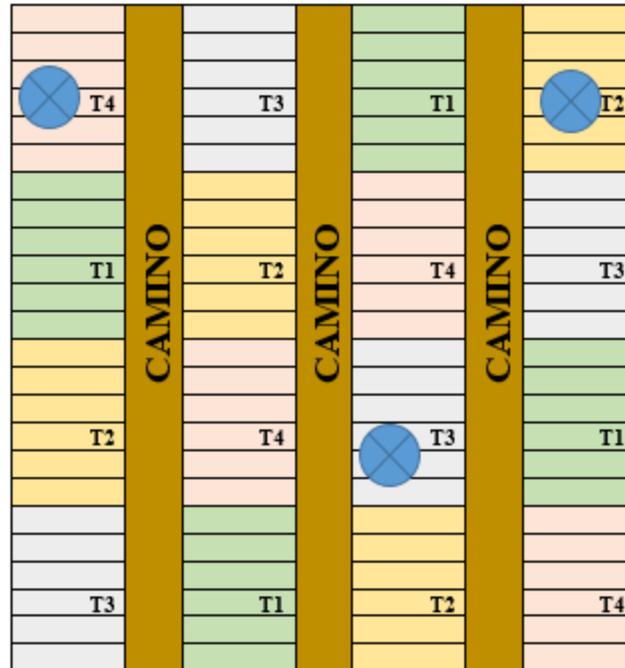


Ilustración 2. Diseño experimental Cuadrado Latino 4x4

Fuente: Autores



Toma de muestras de suelo

- T1 *Tratamiento 1 (control)*
- T2 *Tratamiento 2*
- T3 *Tratamiento 3*
- T4 *Tratamiento 4*

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: tratamiento 1 o tratamiento control (T1), este no contuvo ninguna dosis de fertilizante, tratamiento 2 (T2) este contuvo una dosis de fertilizante de 100 kg/ha de N, 150 kg/ha de P, 50 kg/ha de K y 10 kg/ha de Mg, el tratamiento 3 (T3) tuvo una dosis de fertilización de 200 kg/ha de N, 300 kg/ha de P, 100 kg/ha de K y 20 kg/ha de Mg, mientras que el tratamiento 4 (T4) se utilizó una dosis de 400 kg/ha N, 450 kg/ha P, 150 kg/ha K y 30 kg/ha Mg. Los fertilizantes que se utilizaron en las parcelas netas y que suministraban todas las dosis mencionadas fueron: Muriato de Potasio (KCL), Urea, Sulfato de Magnesio (Mg SO₄) y Fosfato di amónico (DAP).

La aplicación de estos fertilizantes se lo realizó en 3 etapas fenológicas de la planta, la primera dosis se aplicó en el momento de la siembra, en donde el 80 % del DAP y el 10 % de Urea fue aplicado. La segunda dosis se la aplicó a las 5 semanas después de la siembra, esta dosis constó del 80 % Urea, 15 % de KCl, 10 % de DAP, y 30 % de MgSO₄, mientras que la dosis final se



aplicó en el momento de realizar el aporque de la planta, en donde se suministró 10 % de Urea, 75% de KCl, el 70 % de $MgSO_4$ y el 10 % de DAP.

Cabe recalcar que el control de plagas mediante la aplicación convencional de plaguicidas no fue una variable a controlar, debido a que se aplicó la misma dosis de pesticida en todas las parcelas experimentales con el fin de controlar de manera eficiente las plagas. Así mismo, el riego y el encalado es una variable no controlada debido a que se suministró de manera conjunta a todas las parcelas.

4.3.2. Recolección de muestras de tubérculos, suelo y agua.

Para el muestreo se procedió a la cosecha de los tubérculos en cada parcela neta de manera separada, con el fin de no mezclar las muestras. La cosecha se realizó de manera aleatoria de las plantas de las papas que se encontraban dentro de la parcela neta, hasta obtener una muestra representativa y aproximada de 2 kg de tubérculos por parcela neta. Luego de haber obtenido esta muestra de 2 kg esta se la colocó en bolsas plásticas, se las etiquetó respectivamente a la parcela que pertenecían, en total se obtuvieron 16 muestras las mismas que fueron llevadas al laboratorio para mantenerlas en refrigeración hasta su posterior procesamiento.

Para el suelo se realizó dos tomas de muestras, la primera muestra se la tomó antes de introducir los cultivos a las parcelas y la segunda toma de datos se la realizó una vez ya cosechado y libre de algún rastro del cultivo de papa. En cada toma de muestras se tomó 3 muestras de suelo debido a la ausencia de uniformidad del terreno. En total se analizaron 6 muestras de suelo, 3 al inicio y 3 al final del cultivo. El muestreo se lo realizó en 3 puntos representativos de la parcela experimental, estos 3 puntos fueron los mismos para la primera y la segunda toma de muestras (Ilustración 2).

Se tomaron dos muestras de agua, una muestra pertenecía a la tubería principal de riego, mientras que la segunda muestra pertenecía a la toma lateral del sistema con la cual se efectuó el riego de las parcelas. Una vez tomada las muestras tanto de agua como de suelo al laboratorio para su respectivo análisis. Dichas muestras fueron tomadas en botellas Ámbar de 750 ml, y guardadas en base al protocolo correspondiente.

4.4. Metodología para la investigación experimental del objetivo 2.

4.4.1. Digestión de muestras de tubérculos, suelo y agua.

a. Muestras de papas

Las 16 muestras de papa fueron lavadas con agua de grifo por unos 5 minutos hasta dejar libre de suelo e impurezas en los tubérculos, enseguida de esto se sometió a un segundo lavado con agua



destilada, acabado este proceso los tubérculos fueron cortados lo más pequeño posible (cuadrados de 3 x 3 mm aproximadamente) con cuchillos de zirconio, todo esto de manera separada de cada muestra.

Se procedió a pesar 400 g de cada muestra digerida en bandejas de aluminio previamente pesadas, posteriormente se realizó el secado de las muestras en la estufa a 105 °C por 24 horas, dejando las 16 muestras listas para ser sometidas a análisis de metales y aniones respectivamente.

Luego, se pesó los crisoles (16 en total uno por cada muestra) en la balanza analítica, luego se pesó en balanza mecánica el crisol con 5 gramos de muestra secada anteriormente en la estufa. Los crisoles fueron llevados a la mufla para realizar la calcinación de la muestra por 4 horas a 500 °C; posteriormente, se los dejó enfriar en la mufla sin abrir por 24 horas, luego de esto, se pesó los crisoles con sus cenizas en la balanza analítica. Cuando se detectó calcinación incompleta, se repitió el proceso.

Una vez calcinadas las muestras, se colocó en cada una, 5 gotas de ácido nítrico (HNO_3) para disolver las cenizas pegadas en las paredes del crisol. Luego, se filtraron las muestras y se aforaron a 50 ml con agua destilada, luego, estos 50 ml fueron colocados en frascos plásticos, para ser llevados al ICP-MS del laboratorio de Recursos Hídricos de la Universidad de Cuenca.

En el ICP-MS, se analizaron las muestras tanto de papas, suelo y agua utilizando el método 200.8 EPA (United States Environmental Protection Agency), en donde para mayor precisión y exactitud de los resultados se realizó la lectura de dos de los datos estándares utilizados en la curva de calibración cada 20 muestras.

b. Muestras de Suelo

Las muestras se las dejaron reposar para que pierda humedad a temperatura ambiente por 72 horas, luego de esto se procedió a desmenuzar las muestras hasta que queden partículas pequeñas de suelo, luego se secaron las muestras con el mismo proceso de los tubérculos.

Para el análisis de metales en el suelo, se realizó el mismo proceso anterior de crisoles, para el suelo se pesó 5 g y se lo calcinó con el mismo proceso mencionado anteriormente. Las cenizas resultantes se las diluyó y se las aforó a 50 ml con agua destilada, dejándola listas para el ICP-MS.

c. Muestras de agua

Se tomó 50 ml de cada muestra por separado y se las filtró con C.A. para eliminar impurezas, luego de eso se las colocó cada una en su frasco de plástico y se los llevó al ICP – MS.



4.4.2. Análisis estadísticos

Para el análisis de metales en tubérculos se realizó análisis de componente principales (PCA), análisis de clúster, análisis de K-medias y dendrogramas. En el análisis de clúster utilizamos el algoritmo CLARA para encontrar el número óptimo de clúster y agrupar todas las observaciones de la base de datos.

CLARA es un algoritmo para encontrar clusters (grupos) dentro de un set de datos. Requiere que el usuario ponga de antemano el número de clusters y además es un método no supervisado debido a que ignora la variable respuesta a que grupo pertenecen realmente. El término distancia se usa como cuantificación de la similitud o diferencias entre datos. CLARA escoge una muestra al azar de un tamaño determinado y aplica el algoritmo PAM (K-medoids) para determinar el número de clusters óptimos para dicha muestra y con esos medoids se clasifican todos los demás datos. Finalmente, los clusters finales son los que tienen medoids con menor suma total de distancias. CLARA es utilizada para set de datos grandes (Amat, 2017).

K-medoids clustering (PAM), método muy similar a K-means con la diferencia que en K-medoids cada cluster es representado por una observación presente en el cluster (medoid) y K-means cada cluster es representado por su centroide. El término medoid hace referencia al elemento más representativo dentro de un cluster, cuya distancia promedio entre él y los demás elementos del mismo cluster es lo menor posible. Por esta razón este método es más eficiente que K-means, y además se ve menos afectado por ruido o outliers. Es una analogía entre media y mediana (Gómez, Rebrij, & Merino, 2018).

Con el número de clúster obtenidos del método CLARA, se procedió a realizar un dendrograma, que nos permite agrupar nuestras parcelas experimentales según características similares que tengan entre cada miembro del clúster. El dendrograma además nos permite generar de 1 a n clúster, por lo que el número óptimo de clúster se puede valorar de forma visual, para lo cual se debe identificar las principales ramas en base a las alturas donde se unen los clúster (Amat, 2017).

Para elegir el número de componentes principales, se consideró las componentes que sumadas acumulen al menos el 50% de la varianza en sus propios valores (Lozares & Lopéz, 1991). El objetivo del PCA es reducir la dimensionalidad, el interés es utilizar el número mínimo de componentes para explicar los datos debido a que no existe una respuesta ni un método para determinar el número óptimo de componentes. Una de las mejores formas es seleccionar el número de componentes mínimo donde el incremento deja de ser sustancial (Amat, 2017).

Para el análisis de componentes principales se utilizó la representación conjunta de las variables de la componente 1 y 2 que nos permitió tener una mejor visión de la dirección y longitud de cada variable. Y a su vez nos permitió observar la ubicación de cada parcela experimental respecto a los metales. Se hizo el gráfico de la contribución de varianza acumulada para cada



variable de la componente 1,2 y 3. También se realizó la prueba K-medias para poder determinar el % de varianza acumulada de cada variable con respecto a las componentes 1 y 2. Cabe recalcar que el mismo procedimiento se realizó para analizar los metales del suelo y del agua.

4.4.3. Análisis de pesticidas

Para la detección de pesticidas se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), la cual por su alto rango de eficiencia para el análisis de analitos en compuestos orgánicos se ha venido utilizando en análisis ambientales, debido a que consiste en la separación de analistas mediante dos fases una móvil y otra estacionaria (Romero, Escalada, Bregliani & Pajares, 2016).

Al principio las muestras de papa fueron sometidas a 40°C en el equipo modelo SER 148 de marca Velp Científica, se utilizó metanol a 210 °C como solvente para la extracción de los analitos con periodo de tiempo de 3 horas, el HPLC Thermo Scientific Ultimate 3000 fue el equipo usado para medir estos analitos. El tiempo total de corrida entre la fase inicial y la final fue de 50 minutos. Las relaciones metanol/agua fueron 70:30 y 100:0 al inicio y al final respectivamente.

4.5. Metodología para la investigación experimental del objetivo 3.

4.5.1. Procesamiento de las muestras para determinación de iones

a. Muestra de papas

Luego del secado de las muestras en la estufa, se tomaron 10 g de cada muestra y se las aforó a 50 ml en un Erlenmeyer con agua destilada, se agitó hasta lograr la disolución de las muestras. Una vez diluidas se las filtró con C.A. hasta purificar la muestra, por consiguiente, se tomó 1ml y se aforó a 100 ml con agua destilada para cada muestra.

b. Muestras de suelo

Culminado el secado, se pesó un gramo de suelo de cada muestra, cada una se lo aforó en 50 ml con agua destilada en el Erlenmeyer. Pasados 15 minutos de agitación de las muestras se procedió a filtrarlas las muestras.

c. Muestras de agua

Aquí nuevamente se tomó 50 ml de cada muestra y se las filtró con C.A., para la obtención de una muestra clara.

4.5.1.1. Nitratos

Para analizar los nitratos en las muestras de suelo, papas y agua se realizó patrones para generar una curva de calibración (tabla 2), estos patrones se obtuvieron de una solución madre de



KNO₃ de 1000 ppm, a partir de ella obtuvo patrones de 0.1 ppm, 0.25 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm y de 2.5 ppm de KNO₃.

Una vez obtenidos los patrones, se los analizó a través del espectrofotómetro UV – visible de manera ascendente, desde el de menos concentración (0.1 ppm) hasta el de máxima concentración (2.5 ppm). Acabado de procesar los patrones se procedió a analizar todas las muestras en el espectrofotómetro, el cual trabaja en longitudes de onda de 207 nm y 270 nm para la detección de nitratos en soluciones. Cuando los resultados se encuentran fuera del rango de la curva de calibración, se procede a diluir la muestra hasta que esté dentro de la curva.

Tabla 2 Fórmula de la curva de calibración para nitratos

Fórmula de regresión	R ²
$y = 0.1609x + 0.0071$	0.9989

Fuente: Autores.

En la tabla anterior se visualiza la fórmula de regresión utilizada para la transformación de los datos de los diferentes tratamientos. La fórmula de calibración se obtuvo con los datos de la resta del valor de la longitud de onda 207 nm menos la longitud de onda 270 nm.

4.5.1.2. Fosfatos

Para el análisis de fosfatos en las muestras se realizaron patrones de PO₄³⁻ para obtener la respectiva curva de calibración (tabla 3), estos patrones fueron de 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 2.5 ppm, 5 ppm.

La detección de fosfatos se obtuvo generando una solución combinada, la cual constaba de 50 ml de ácido sulfúrico, 5 ml de tartrato de antimonio y potasio, 15 ml de molibdato de amonio, 30 ml de ácido ascórbico.

Al finalizar los patrones y la solución combinada, se los mezcló en tubos de ensayo, tomando 5 ml de cada patrón y 2 ml de la solución combinada, se esperaron 15 minutos con las muestras colocada en un sitio oscuro con el fin de que las muestras en los tubos tomen coloración.

Pasado el tiempo acordado se analizó las muestras por el espectrofotómetro UV – visible, comenzando por los patrones del menor al mayor, con el fin de establecer los rangos máximos y mínimos en los cuales puede entrar las muestras, una vez corrido los patrones se procede a colocar las muestras de papa, suelo y agua respectivamente en el espectrofotómetro.

Tabla 3 Fórmula de la curva de calibración para fosfatos (880 nm).

Fórmula de regresión	R ²
$y = 0.1352x - 0.0093$	0.9937

Fuente: Autores.

En la tabla 3 se observa la fórmula de regresión y R² obtenidos a partir de patrones de PO₄⁻³ utilizados para la transformación de los resultados de los tratamientos.

4.5.2. Relación entre Iones y dosis de fertilización

Para establecer una relación entre fosfatos y nitratos con la dosis de fertilizante aplicado, se realizó pruebas de ANOVA respectivamente, con el fin de encontrar significancia entre estas variables. En el ANOVA se comparó la influencia de las hileras, tratamientos y columnas del Cuadrado Latino (4x4) sobre la concentración de los iones nitratos y fosfatos en los tubérculos de papa.

Para analizar los resultados de iones en las muestras de suelo antes y después de la siembra, se realizó un procedimiento diferente. Primero se realizó la prueba de normalidad de datos de Kolmogorov Smirnov y la prueba de Levene para ver la homogeneidad de varianzas, estas pruebas nos ayudaron a determinar si los datos eran paramétricos o no paramétricos. Para nuestro caso resultaron datos no paramétricos, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, que compara las medianas para dictaminar si los valores de toma de datos 1 es igual o no a la toma de datos 2. Esta prueba se usa como alternativa de la prueba t de Student para datos no paramétricos.

En el caso de las muestras del agua de riego solo se utilizó la media aritmética y la desviación estándar, para representar los resultados obtenidos. El por qué solo se utilizó las dos fórmulas se debe a que las muestras de agua eran dos y además no tenía tratamientos ni factores a analizarse.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de metales en papa, suelo y agua.

5.1.1. Contenido de metales pesados y trazas en tubérculos.

Tomando en cuenta metales cuyo peso molecular este entre 63.55 u y 200.59 unidades de masa atómica unificada o Dalton. Las concentraciones elevadas en alimentos se consideran tóxicos, como por ejemplo Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016), muchos de estos encontrados en este estudio.

Tabla 4. Metales pesados y trazas en tubérculos de papa mg/L

Metal		T 1	T 2	T 3	T 4
	LMP (mg/Kg)	Media(SD)	Media(SD)	Media(SD)	Media(SD)
As		0.004(0)	0.007(0.004)	0.007(0.003)	0.004(0.001)
Cd	0.1	0.004(0.004)	0.008(0.006)	0.003(0.003)	0.008(0.005)
Co		0.015(0.008)	0.025(0.001)	0.018(0.013)	0.023(0.01)
Cr		0.006(0.006)	0.014(0.011)	0.017(0.007)	0.011(0.007)
Cu		0.839(0.821)	1.223(0.149)	0.632(0.648)	1.208(0.72)
Ni		0.042(0.007)	0.062(0.015)	0.04(0.025)	0.069(0.032)
Pb	0.1	0.003(0.003)	0.004(0.003)	0.002(0.002)	0.002(0.002)
Zn		1.407(1.391)	2.765(0.379)	1.783(1.734)	2.638(1.49)

Fuente: Autores.

Tratamiento 1: Sin fertilizante.

Tratamiento 2: Dosis baja de fertilizante.

Tratamiento 3: Dosis recomendada de fertilizante.

Tratamiento 4: Dosis alta de fertilizante.

En cuanto a metales tóxicos encontrados en las muestras de papa en lo que se refiera a Cd y Pb, se puede observar en la tabla 4 que estos elementos no exceden el límite permitido por la Unión Europea (2019) y el Codex Alimentarios (2019) en donde el valor referencial es de 0.1 mg/kg tanto para Pb como para Cd, para nuestro estudio estos metales alcanzaron valores de 0.004 (Cd) y 0.003 (Pb), los cuales no resultan peligroso en estas cantidades para la salud, ya que no exceden dichos límites. Valores similares se presentaron en un estudio realizado en tres variedades de papa, en el mercado mayorista de Santa Ana, Lima-Perú, se tomaron 15 muestras al azar de cada variedad en 15 puestos del mercado, donde se encontró que las concentraciones de los metales variaron entre 0.0073 a 0.0287 mg/Kg de Cd; 0.0600 a 0.1018 mg/Kg de Pb y 0.0003 a 0.0004 mg/Kg de As (López, y otros, 2020).

Por otro lado, en tubérculos del centro de abastos de Tunja (Boyacá-Colombia) se encontró que la concentración promedio del Pb y del Cd se encuentra entre 0,085 a 0,150 mg/kg y 0,210 a

0,440 mg/kg de papa fresca respectivamente (Moreno, García, & Chaparro, 2016). (Camas & Valqui, 2016) reportaron concentraciones de Cd en tubérculos de papa, máximo 0,44 ppm y mínimo 0,00 ppm. Por otro lado, la concentración de Pb varió entre 0.133 a 0.141 ppm entre 3 variedades de papas en los mercados de Huánuco y el Hg entre 0.0003 a 0.001 ppm (Vincula & Jacha, 2020).

En cuanto al elemento Zn en nuestro estudio el valor alcanzado fue de 1.407 mg/Kg, lo cual nos dice que con este contenido los tubérculos de papa estudiados no presentan peligro alguno en su ingesta debido a que en la dieta diaria humana es recomendable una ingesta de alimentos rica en zinc, para una mujer adulta 12 mg/kg y para un hombre adulto 15 mg/kg (IZA & LATIZA, 2011).

5.1.2. Contenido de metales en tubérculos.

En nuestro estudio el contenido de K fue de 2269.3(1311.2) mg/Kg, dichos valores coinciden con otros estudios desarrollados por Gómez, Magnitskiy, & Rodríguez, (2017), mencionan que los valores en la savia del tallo después de la floración, que más se relacionan con los rendimientos más altos de papa son de 3280 mg/kg para K^+ y de 1281 mg/kg para NO_3^- . Por lo cual se recomienda tener una relación K^+/NO_3^- , 2:1 en estados iniciales y 3:1 en estados de producción, porque existe una relación directa del N y K en la savia del tallo con el rendimiento (Gómez, Magnitskiy, & Rodríguez, 2017). Por otro lado, un estudio realizado en el Centro Técnico de la Papa y la Alcachofa, Saida - Manouba, tomaron muestras de suelo entre 0 y 60 cm y encontraron P y el K en cantidades de 74 y 880 mg/kg respectivamente (Marouani & Harbeoui, 2015).

Tabla 5 Contenido de metales en tubérculos mg/Kg.

	T1	T2	T3	T4
Metal	Media(SD)	Media(SD)	Media(SD)	Media(SD)
K	2269.3(1311.20)	2032.2(1250.6)	1556.5(1238.8)	2409.7(1439.2)
Ca	36.1(10.6)	51.6(12.9)	41.7(22.8)	39.8(3.5)
Mg	144.5(20.8)	150.6(32.3)	105.2(58.9)	148.2(23.4)
Fe	3.5(2.9)	5.8(7.2)	2.1(1.63)	4.0(3.3)
Mn	1.6(1.1)	2.4(1)	1.9(1.5)	2.4(1.3)
Na	17.7(1.1)	21.7(7.6)	20.3(9.4)	16.3(3.4)

Fuente: Autores.

Los resultados encontrados en nuestras parcelas experimentales para los metales Na, Ca, K y Mg fueron de 17.7(1.1); 36.1(10.6); 2269.3(1311.2) y 144.5(20.8) respectivamente, mismos que son inferiores a los descritos por (González, 2013) y para el caso del Fe y Mn nuestros resultados presentan valores más altos. (González, 2013) evaluó tubérculos de 10 variedades de papas

seleccionadas aleatoriamente en los mercadillos, supermercados y huertas de los productores de diferentes zonas de la isla Tenerife, donde la concentración media para todas las variedades fueron: de Na es de 136.6(78.8) mg/Kg, de K es de 4154(1590) mg/Kg, de Ca es de 66.38(56.5) mg/Kg, de Mg es de 276.5(149.8) mg/Kg, de Cu es de 1.289(0.649) mg/Kg, de Fe es de 4.672(1.291) mg/Kg, de Mn es de 1.590(0.790) mg/Kg, de Zn es de 3.396-80.985) mg/Kg, de Cr es de 0.018 (0.007) mg/Kg, de Ni es de 0.054(0.054) mg/Kg, de Cd es de 0.010(0.010) mg/Kg y de Pb es de 0.014(0.012) mg/Kg.

5.1.3. Contenido de metales pesados en el suelo.

En nuestros resultados no se encontraron residuos de cadmio antes ni después de la siembra. eso quiere decir que en relación a los límites establecidos en la normativa (TULSMA, 2017) para “*Criterios de calidad del recurso suelo*” (Anexo 6) están por debajo del límite admisible, por ende, no presentan peligro alguno. A diferencia de la localidad de Cohechan-Perú que presentaron concentraciones de cadmio: 6.48 ppm como máximo y 0.27 ppm como mínimo. Estos valores son atribuidos al manejo agrícola y al uso de agroquímicos fosfatados que podrían incrementar el cadmio en el suelo (Camas & Valqui, 2016).

Tabla 6 Contenido de metales pesados y trazas en el suelo mg/Kg.

Metal	LMP (mg/Kg)	Suelo Antes		Suelo Después	
		Media	SD	Media	SD
As	5	0.000	0.000	0.000	0.000
Cd	0.5	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	2.5	0.083	0.007	0.131	0.032
Cu	30	0.013	0.005	0.005	0.000
Fe	-	0.476	0.017	0.634	0.136
Pb	25	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	10	0.000	0.000	0.001	0.000
Zn	60	0.013	0.011	0.000	0.000

Fuente: Autores.

En nuestro caso nuestro el As se presentó la misma situación con respecto al Cd en relación al Anexo 6. Sin embargo, en el municipio de Poopó, Bolivia sucede un acontecimiento contrario donde las parcelas agrícolas de las 3 microcuencas evaluadas están contaminadas con As superando en ocasiones los 55 mg/kg de suelo (Chambi, Orsag, & Niura, 2012). (Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán, & Castro, 2011) reportaron concentraciones de As, Pb, Mn, Cu y Fe que variaron entre 0.302 a 1.243 mg/kg; 9.88 a 22.11 mg/kg; 98.17 a 440.39 mg/kg; 49.66 a 114.88 mg/kg y 4174.16 a 39550.51 respectivamente.

5.1.4. Contenido de metales tóxicos en el agua

En la tabla 7 se observan que para la mayoría de estos metales tóxicos (As, Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Zn, Pb) ninguno de estos presenta peligro alguno en su uso agrícola, debido a que todos estos están por debajo de límite establecido en la normativa (TULSMA, 2017) para “*Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola*” (Anexo 3). Resultado similares se presentó en el agua de riego estudiado por (Mancilla, y otros, 2012), en donde determinó que los ríos, embalses y manantiales de Puebla y Veracruz en México, presentan contenido de metales (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, As y Zn) por debajo de los límites máximos permisibles, por lo tanto, se recomienda para el uso agrícola e urbano a excepción del Hg que el 3.26% de las muestras están por encima de 0.01 mg/L y se restringe para riego agrícola. (Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán, & Castro, 2011) reportan concentraciones de Na. K. Ca. Mg y B son de 35 a 180 mg/L; 6.9 a 54.2 mg/L; 26.5 a 245 mg/L; 2.7 a 58.1 mg/L y 0.35 a 0.45 mg/L respectivamente.

De igual manera, (Pérez, Peña, López, & Hernández, 2016) reportaron resultados parecidos a nuestro estudio, debido a que no encontraron concentraciones de Cd, Cu y Ni en el agua residual utilizada para el riego, así como también reportaron valores inferiores de Zn y Cr (0.10 y 0.05 mg/L respectivamente) con referencia a la normativa (TULSMA, 2017); Mientras que para el Pb su concentración fue de 0.1 mg/L, excediendo los límites establecidos por la normativa en donde establece un máximo de 0.05 mg/L.

Tabla 7 Contenido de metales tóxicos y trazas en el agua mg/L.

Metal	LMP	Agua	
Metal	(mg/Kg)	Media	SD
As	0.1	0.002	0.000
Cd	0.01	0.000	0.000
Cr	0.1	0.000	0.000
Cu	2	0.023	0.002
Fe	5	0.819	0.045
Pb	0.05	0.000	0.000
Co	0.05	0.000	0.000
Zn	2	0.012	0.001

Fuente: Autores.

5.2. Análisis de componente principales para metales en tubérculos.

En la Ilustración 3, se muestra la proporción de la varianza acumulada en cada componente principal. Como se puede observar, que sumando los 2 primeros componentes principales tenemos 66.4 % de la varianza acumulada y sumando los 3 primeros tendríamos 77.9 % de la varianza total acumulada.

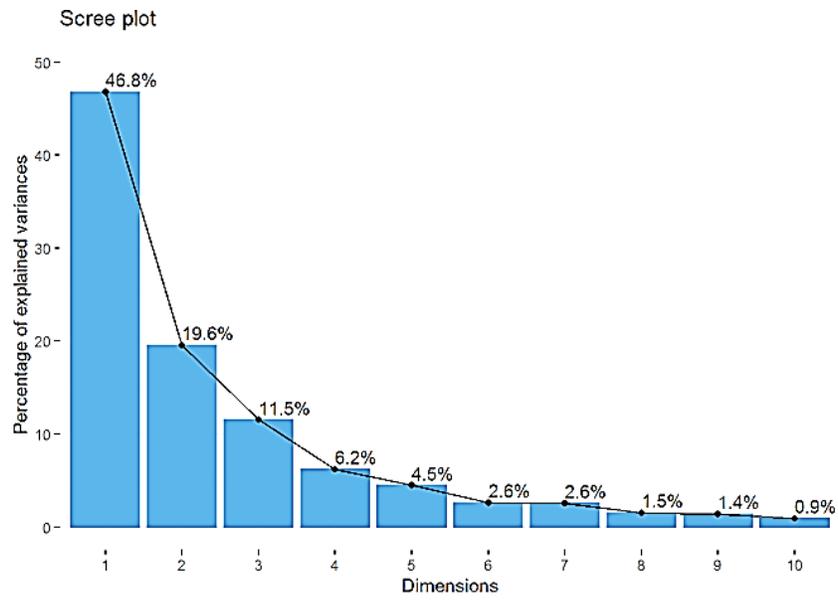


Ilustración 3. Proporción de varianza de cada componente.

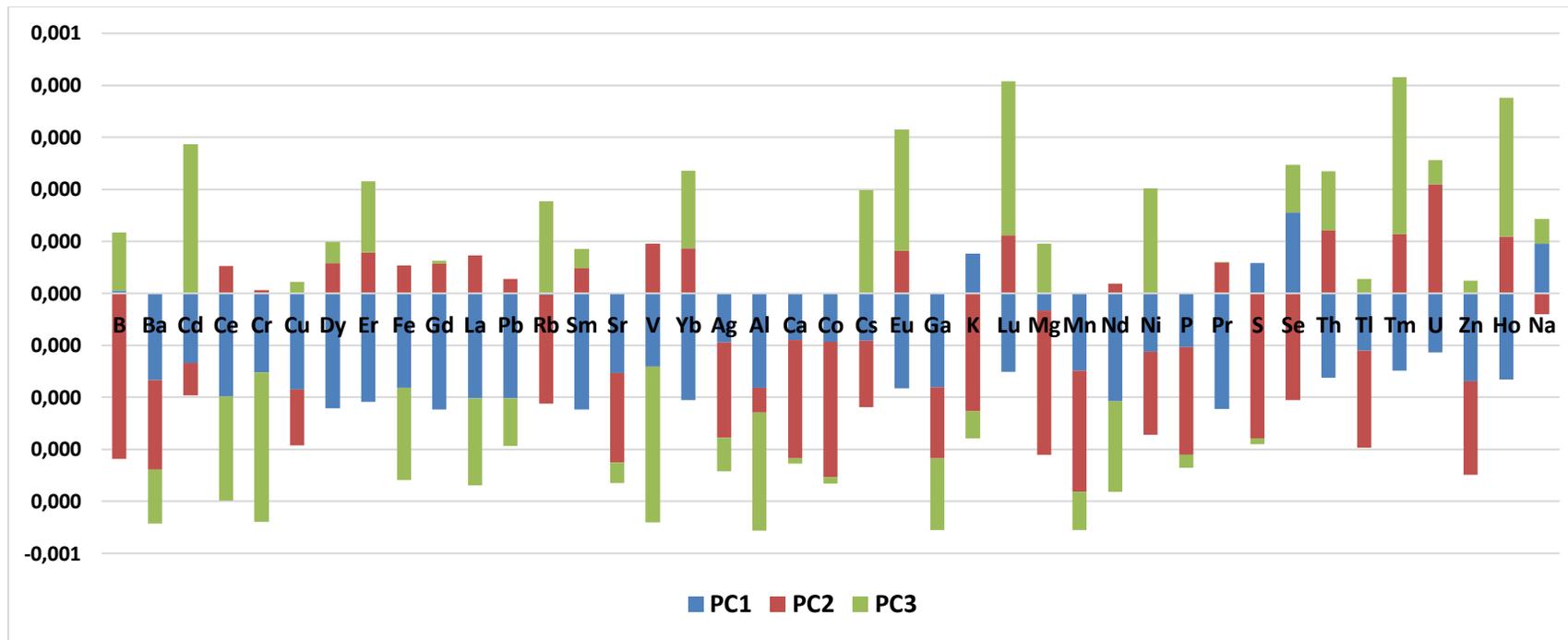


Ilustración 4. Contribución de las variables en las componentes 1, 2 y 3

En la gráfica anterior se puede observar la contribución de cada variable (metal), en las componentes principales: PC1 (Componente Principal 1), PC2 (Componente Principal 2) y PC3 (Componente Principal 3).



En la Ilustración 5, de contribución de variables para la componente 1, se observa que los metales Samarium (Sm), Gadolinio (Gd), Praseodimio (Pr), Disprosio (Dy) aportan un 5% aproximadamente de varianza cada uno y Erbium (Er), Neodimio (Nd), Iterbio o Yterbio (Yb), Plomo (Pb), Lantano (La) y Cobalto (Co) aportan un 4% de varianza aproximadamente cada una de las variables.

Para la componente 2, se visualiza una contribución mayor del Boro (B) con un 10%, seguido del Azufre (S), Magnesio (Mg) y Cobalto (Co) que aportan un 7.5 % de varianza. Los demás Manganeseo (Mn), Calcio (Ca), Potasio (K), Uranio (U), Rubidio (Rb) y Fosforo (P) aportan un 5 % de varianza cada uno aproximadamente (Ilustración 6).

En la componente 3 (Ilustración 7) se observa que la contribución de las variables está liderada por Tulio (Tm), Vanadio (V), Lutecio (Lu), Cromo (Cr) y Cadmio (Cd) que aportan un 7.5 % de varianza aproximadamente. Mientras que el Holmio (Ho), Europio (Eu), Aluminio (Al), Níquel (Ni) y el Cerio (Ce) aportan varianza en un rango entre 3 a 7 %.

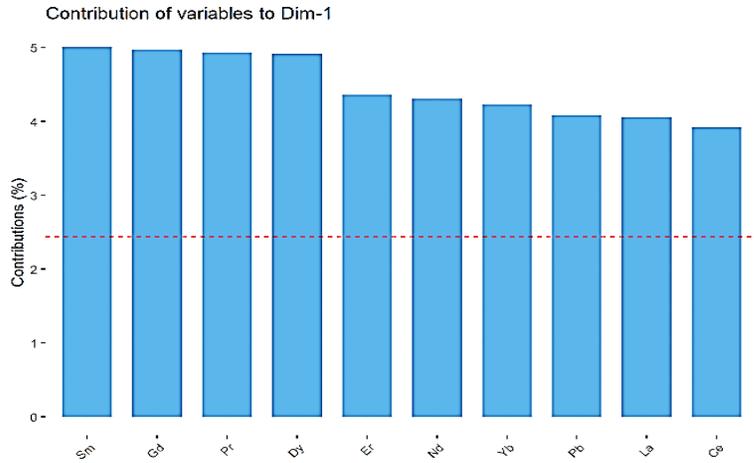


Ilustración 6. Contribución de variables en la componente 2

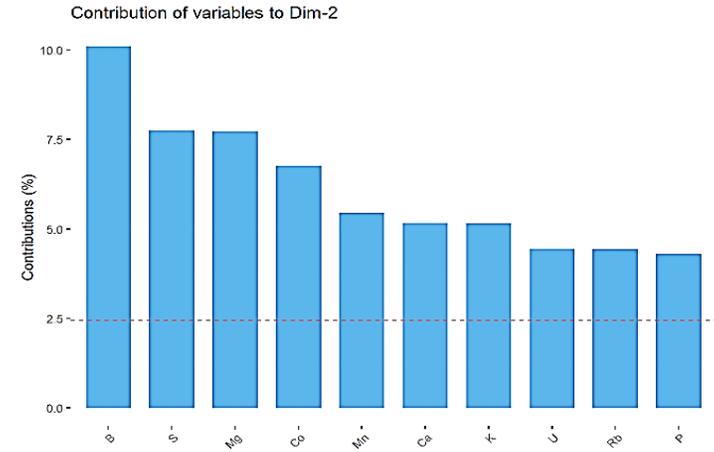


Ilustración 5. Contribución de variables en la componente 1

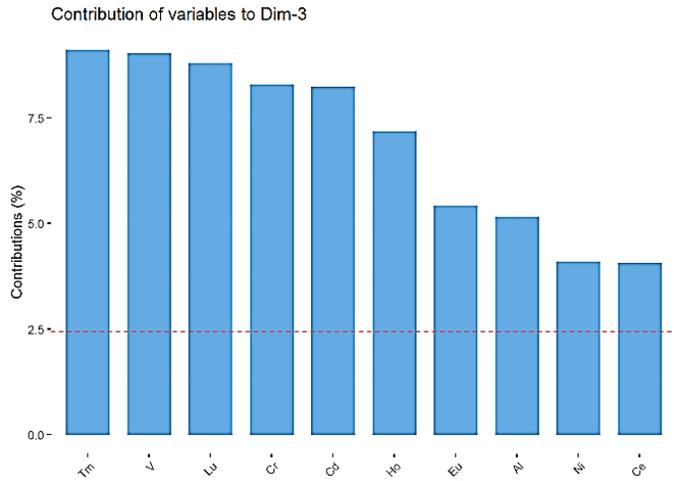


Ilustración 7. Contribución de variables en la componente 3



En la ilustración 8 de correlación de variables nos ayuda entender el porcentaje de varianza en la componente 1 (Dim 1) y componente 2 (Dim 2). Donde las variables con correlación positiva están juntas o próximas entre sí. Por el contrario, las variables que tienen correlación negativa se posicionan en lados opuestos del origen. También se debe tener en cuenta que la distancia entre el origen y las variables entre más cercano este al círculo de correlación mayor contribución tiene en las 2 primeras componentes. Estas contribuciones se miden con el valor al cuadrado del coseno del ángulo del triángulo formado entre el punto del origen, la observación y su proyección sobre el componente (Gil, 2018).

Se puede observar el comportamiento de los metales respecto a las parcelas experimentales tomados de manera individual (Ilustración 9). Se formaron grupos con variables de características similares. grupos como las parcelas 1, 2 del tratamiento T1 y T2 respectivamente; 14, 11 del T2 y T3; 15, 9 y 12 del T3, T1 y T4. Las demás parcelas presentan variabilidades normales o extremas respecto a las demás parcelas.

Además, podemos observar que los metales como el Boro (B), Azufre (S), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Cobalto (Co) se encuentran perpendicular al eje de la componente 1 (PC1). Lo que significa que tiene poca o nula aportación de varianza acumulada a la PC1, a su vez, presenta una alta aportación para la PC2 como lo pudimos ver en la (Ilustración 7).

Un caso similar sucede con los metales Samarium (Sm), Gadolinio (Gd), Praseodimio (Pr) y Disprosio (Dy) que están perpendicular a la PC2, donde no aportan mucha varianza acumulada, con la diferencia que en la PC1 son los metales que más aportan varianza acumulada, como pudimos observar en la (Ilustración 6).

También se puede observar que los metales que se encuentra en sentidos contrarios presentan una correlación negativa. el ejemplo más claro es el Uranio (U) y el Selenio (Se).

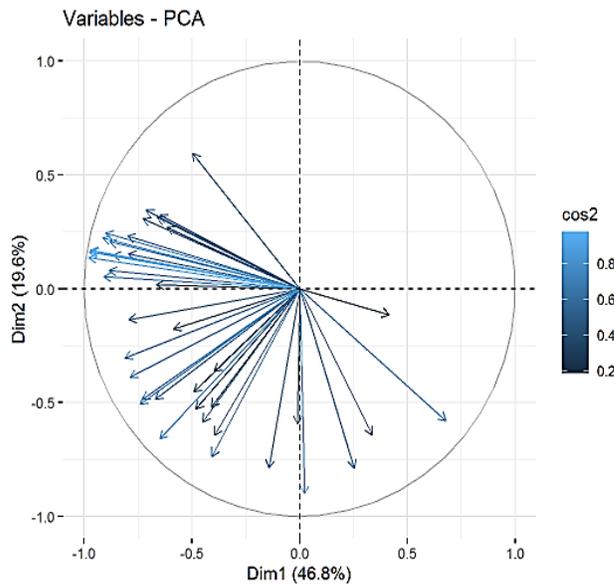


Ilustración 8. Correlación de variables en la componente 1 y 2.

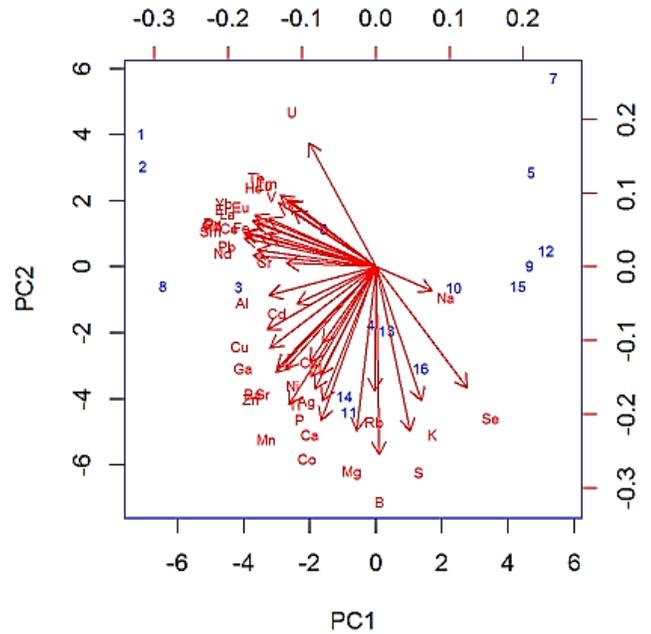


Ilustración 9. Representación conjunta de las variables 1 y 2.

En la ilustración 10 podemos observar que se grafican dos clústers. Esto se debe al algoritmo PAM (K-medoids) para encontrar el número óptimo de clúster y agrupar todas las observaciones de la base de datos (Amat, 2017). El método CLARA solo nos permite identificar el número de clúster mediante representación gráfica, pero no se puede identificar claramente que tratamiento se encuentra dentro de cada clúster. Para esta identificación se utiliza el dendrograma de clusters, que nos permite evidenciar los tratamientos pertenecientes a cada cluster y de esta manera dar una mejor explicación a nuestros resultados.

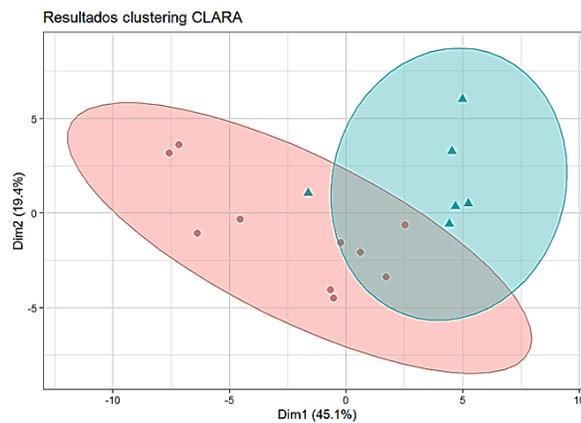


Ilustración 10. Resultados clustering del método CLARA para metales en tubérculos de papa.

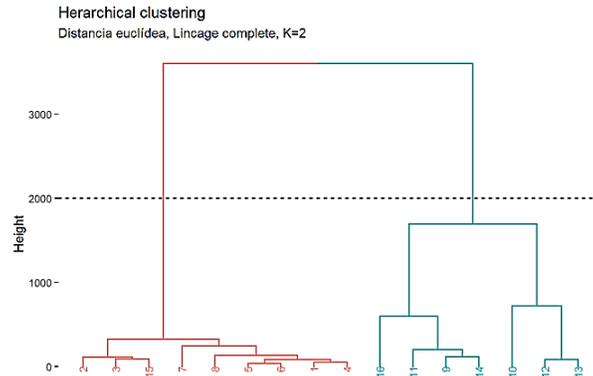


Ilustración 11. Dendrograma de clúster para metales en papa.

El gráfico del dendrograma de clúster presenta de una manera similar y más ordenada lo dicho en el gráfico “Representación conjunta de las variables de las componentes 1 y 2, donde las parcelas experimentales están agrupadas en 2 clúster y cada clúster contiene parcelas que tienen características similares.

En el clúster número 1 está la parcela 16, 11, 9, 14, 10, 12, 13 pertenecientes a los tratamientos T4, T3, T1, T2, T2, T4 Y T1 respectivamente. Podemos observar que todos los tratamientos tienen 2 réplicas excepto el tratamiento T3, por lo que se puede determinar que los tratamientos aplicados no afectaron significativamente, sin embargo, esto podría ser influenciado por el suelo debido a que las parcelas pertenecen a los bloques 3 y 4 que están uno a lado del otro dentro del lote experimental. Por otro lado, las demás parcelas experimentales pertenecen al bloque 1 y 2 que también están uno junto al otro, con excepción de la parcela 15 que pertenece al bloque 3.

La altura de corte cumple la misma función que el valor de K en K-means-clustering que es controlar el número de clúster que se obtienen. El dendrograma nos permite generar de 1 a n clúster, por lo que el número óptimo de clúster se puede valorar de forma visual, para lo cual se debe identificar las principales ramas en base a las alturas donde se unen (Amat, 2017). Además, se utilizó los resultados de clustering del método CLARA.

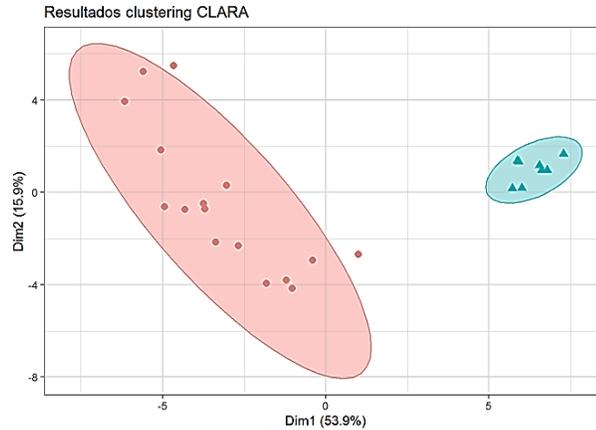


Ilustración 12. Resultados clustering del método CLARA para los metales del suelo, agua y tubérculos de papa.

El método CLARA nos estima un número de 2 clúster como óptimos para realizar los respectivos análisis estadísticos.

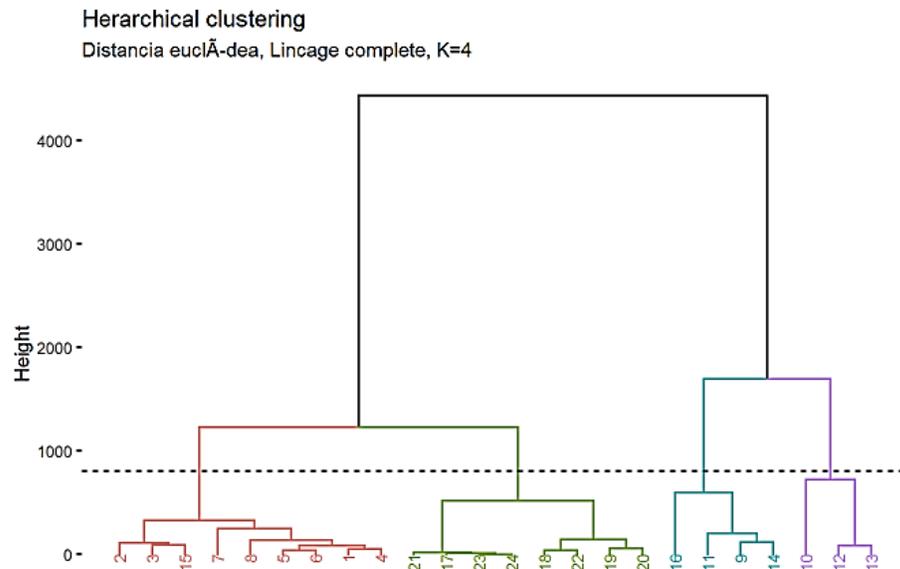


Ilustración 13. Dendrograma para los metales del suelo, agua y tubérculos de papa.

El método CLARA recomienda realizar como mínimo 2 clúster. Sin embargo, para obtener una mejor representación acerca del comportamiento de los tratamientos entre sí, se procedió a realizar un dendrograma de 4 clúster, debido a la cantidad de tratamientos realizados en nuestra investigación.

Con el dendrograma de clúster podemos observar que dentro del clúster número 1 están las parcelas 2, 3, 15, 7, 8, 5, 6, 1 y 4 pertenecientes a los tratamientos T2, T3, T4, T3, T4, T1,



T2, T1 y T4 donde cada tratamiento tuvo 2 repeticiones a excepción del T4 que tuvo 3 repeticiones. Todas las parcelas pertenecen al bloque 1 y 2 que están uno junto al otro a excepción de la parcela 15 que pertenece al bloque 4, por lo tanto. se puede determinar que no hubo influencia significativa de los tratamientos con diferentes dosis de fertilización. Por otro lado. podríamos decir que este comportamiento del contenido de metales no está relacionada con las dosis de fertilización más bien está relacionado directamente con la ubicación de las parcelas experimentales como lo podemos evidenciar en nuestro caso.

En el clúster número 2 están agrupadas las muestras de suelo y agua, lo que demuestra que tienen características similares. Donde las muestras 23 y 24 pertenecen al agua de riego; 22. 21 y 20 pertenecen al suelo después de la cosecha y las muestras 19. 18 y 17 pertenecen al suelo antes de la siembra.

En los clústers 3 y 4 están agrupadas las parcelas pertenecientes al bloque 3 y 4, esto indica que el contenido de metales se vio reflejado por la ubicación de las parcelas más no por la aplicación de fertilizantes o por la aplicación del agua de riego.

5.3. Detección de pesticidas en tubérculos. suelo y agua.

En cuanto se refiere al contenido de pesticidas, tanto en las muestras de tubérculos, el agua y el suelo los resultados obtenidos estuvieron fuera de los límites de detección (LDD), posiblemente debido a que los análisis fueron realizados de manera tardía, debido a situaciones anómalas por pandemia COVID 19. Siendo esto un motivo para que no haya presencia de pesticidas en todas las muestras, tal como se reporta en un estudio en donde después de 12 aplicaciones de fungicidas y 9 aplicaciones de insecticidas el autor encontró valores menores a los límites de concentración (<LC) y en algunos casos sin presencia de pesticidas (ND). A excepción de los organofosforados que se encontró 0.008 mg/Kg en la variedad Diacol-Capiro (Colcha. 2009).

5.4. Análisis de Iones

5.4.1. Nitratos y fosfatos en tubérculos

En la tabla 8 se observa la media de los valores de la concentración de nitratos expresados en ppm provenientes de 1 Kg muestra fresca (MF) de las diferentes dosis de fertilización, en donde resalta el T2 y T4 con valores de concentración de 339.85 y 382.64 mg/Kg respectivamente.

*Tabla 8. Concentración de nitratos mg/Kg de muestra fresca.*

TRATAMIENTO	NITRATOS
T1	264.35
T2	339.85
T3	177.86
T4	382.64

Fuente: Autores.

En la tabla 3 se asemejan mucho a los resultados arrojados en un estudio realizado en los estados de Queensland, Victoria y New South Wales donde se mostró que el 27% de las muestras de hortalizas de hoja estaban por encima de 700 mg/kg de peso fresco que es el límite de tolerancia para nitratos en China y 560 mg N-nitrato/kg (Parks, 2008). Algo parecido con (Moreno, Soto, & González, 2015) los cuales mencionan que el contenido de nitrato mg/kg de masa fresca para la papa presenta índices menores a 200 mg/kg de nitratos.

En un estudio similar en Puno-Perú a 3867 m s.n.m. obtuvieron una mayor concentración de nitratos (19.28 mg/0.5 g) con una fertilización química de NPK 160-140-100 kg/ha, en los tubérculos de la variedad Imilla Negra (Cutipa. 2007). Para establecer la relación de los nitratos con la dosis de fertilización se realizó un ANOVA.

Tabla 9. ANOVA de nitratos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamiento	3	101814	33938	0.304	0.822
Hilera	3	147149	49050	0.439	0.733
Columna	3	528076	176025	1.577	0.290
Residuals	6	669659	111610		

Fuente: Autores.

En la tabla anterior podemos observar que no existen diferencias estadísticamente significativas de la acumulación de nitratos en las diferentes dosis de fertilización. Además, no se encontró diferencias significativas entre las columnas e hileras del cuadrado latino.

Tabla 10. Concentración de fosfatos mg/Kg de muestra fresca.

TRATAMIENTO	FOSFATOS
T1	675.67
T2	482.59
T3	860.66
T4	797.80

Fuente: Autores.

En la tabla 10 podemos apreciar el contenido de fosfatos por cada tratamiento, en donde se observa que el tratamiento control T1 mostró mayor contenido de fosfatos que el T2, el cual, si contó con la aplicación de fertilizantes, algo parecido se puede observar con el tratamiento T3 y el T4, en donde el tratamiento con menos dosis de fertilización mostró mayor contenido de fosfatos, dándonos a entender que no existe una relación entre la dosis de fertilización con el contenido de fosfatos. Esto se demostró estadísticamente mediante la prueba del Anova (tabla6).

Tabla 11. ANOVA de fosfatos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamiento	3	332662	110887	0.221	0.878
Hilera	3	970822	323607	0.646	0.613
Columna	3	1990974	663658	1.325	0.351
Residuals	6	3005193	500866		

Fuente: Autores.

En la tabla 11 podemos observar que no existe diferencia estadísticamente significativa tanto para tratamientos. así como también entre filas y columnas del Cuadrado Latino debido a que todos los valores $P > 0.05$.

En base a esto y tomando en cuenta el dato más alto de contenido de fosfatos en los tubérculos que es el tratamiento 3, podemos aseverar que los contenidos de fosfatos encontrados no resultan perjudiciales para la salud, debido a que según (Wiener. y otros. 2001) el consumo diario por persona de fosfatos y sin que estos causen daños a la salud es de 70 mg/kg por peso corporal. es decir, una persona promedio de 70 kg puede consumir diariamente 4900 mg de fosfatos. el IICA (2020) reportan que el consumo diario de papa por persona es de 24 kg al año en el Ecuador, el contenido de fosfato que aporta la papa es de 450 mg/kg (Reyes. Gómez-Sánchez & Espinoza. 2017). en base a todos estos datos podemos observar que se estaría ingiriendo 29.5 mg de fosfatos, muy por debajo del límite mencionado anteriormente.

5.4.2. Nitratos y fosfatos en el agua

El contenido de nitratos encontrado en nuestras muestras de agua (tabla 12) alcanzó el valor promedio de 5.891 mg/L, que según la normativa (TULSMA, 2017) la califica como de ligera restricción. Estos resultados se contradicen con los encontrados por (Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán, & Castro, 2011) donde realizaron un estudio de la calidad de agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí donde encontraron la concentración de nitratos entre 3 a 32.3 mg/L. El contenido de nitratos en el agua utilizada para el riego de las parcelas experimentales. supera los parámetros de los niveles guía de la calidad de agua de riego establecidos por el TULSMA 2017, siendo (<5 mg/l ninguna restricción), (5 mg/l ligera restricción). (30 mg/l moderada restricción) y (>30 mg/l severa restricción) (TULSMA, 2017).

En la tabla 13 podemos observar que el valor de los fosfatos encontrados en el agua de riego que se utilizó para la irrigación de las parcelas de papa tiene un valor de 71.58 mg/L. Un estudio enfocado en el análisis de la calidad del agua de riego del río Mendoza – Argentina, mediante el monitoreo de canales que se utilizan para irrigación de parcelas productivas arrojaron contenidos de fosfatos similares al presentado en la tabla 12, debido a que el contenido de fosfatos más elevado fue de 70.62 mg/L, lo cual en cuanto a calidad de agua de agua de riego según el Water Quality Index (WQI-DGI). índice utilizado en dicho estudio (Ilustración 13), lo califica como aceptable (Morábito. y otros. 2013).

Tabla 12. Concentración de nitratos mg/L en el agua de riego.

TRATAMIENTO NITRATOS	
AGUA	5.891

Fuente: Autores.

Tabla 13. Concentración de fosfatos en el agua de riego.

TRATAMIENTO FOSFATOS	
AGUA	71.58502203

Fuente: Autores.

5.4.3. Nitratos y fosfatos en el suelo

En nuestro estudio inicialmente se encontró 709.92 mg/kg, posterior a la siembra se encontró una mayor cantidad de nitratos 990.77 mg/Kg (Tabla 14), esto es posible que se deba a la mayor movilidad y disponibilidad de nitratos en suelo gracias a la fertilización convencional. (Acevedo & Hipólito, 2014) menciona que, dentro del suelo. el amonio y el nitrato al estar en forma de iones son más solubles y más móviles lo que indica que son fácilmente removidos y redistribuidos en el suelo. en su estudio vio que los nitratos mostraron un (C.V=81%) en el manejo convencional y (C.V= 54%) en el manejo orgánico.

Tabla 14. Nitratos y fosfatos en el suelo mg/Kg

TRATAMIENTO	NITRATOS	FOSFATOS
Suelo Antes	709.92	1679.3909
Suelo Después	990.77	1922.06535

Fuente: Autores.

Tabla 15. Prueba de Wilcoxon para nitratos en el suelo

Nitratos_S.Antes and Nitratos_S.Despues	
V:	3
p-value:	1
alternative hypothesis:	true location shift is not equal to
0	

Fuente: Autores.

Sin embargo, la diferencia que existe entre la concentración de nitratos antes y después, resultaron no significativos, debido a que en la prueba de Wilcoxon el valor fue $p > 0.05$. Algo parecido sucedió en un estudio realizado por (Cusanguá, 2021) obtuvo 4.70 mg/kg de nitrato inicial en el suelo y dicha cantidad fue incrementando en el tiempo sin presentar diferencias significativas entre tratamientos, la mayor concentración fue a los 90 días 106.50 mg/kg y luego se mantuvo en 83.71 mg/kg en la etapa final del cultivo (180 días). Por esta razón menciona, que la alta concentración de nitratos en el suelo es probable que sea parte de la desnitrificación de la urea en forma de amonio. que genero nitratos. que al no ser asimilados por las plantas de papa quedaron retenidos en el suelo. Esto indica que la concentración de nitratos tiende a aumentar en función del tiempo.

En esta tabla 14 se observa los datos de fosfatos encontrados en las muestras de suelo, que fueron tomadas antes de la siembra y después de la cosecha de papas, el contenido no muestra acumulaciones de fosfatos por la fertilización, debido a que antes de la siembra se tenía 1679, 3 mg/kg y al finalizar el cultivo este contenido de fosfatos fue de 1922, 06 mg/kg. Estadísticamente se comprobó que no existía relación alguna entre la dosis de fertilización con la concentración de fosfatos, debido a que no hubo diferencia significativa mediante la prueba de Wilcoxon (tabla 16) con valor $p > 0.05$.

Tabla 16. Prueba de Wilcoxon de los fosfatos del suelo antes y después de la siembra.

Fosfatos_S.Antes and Fosfatos_S.Despues	
V:	2.00
p-value:	0.75
alternative hypothesis:	true location shift is not equal to
0	

Fuente: Autores

En cuanto a las concentraciones de fosfatos en las muestras de suelo estudiadas con valores de 1679.3 y 1922 mg/kg, en comparación con otros estudios realizados, nuestros resultados están en concentraciones muy elevadas. Por ejemplo, (García & Ballesteros, 2006) en sus resultados de análisis de suelo en tres zonas de Colombia, arrojaron como concentración más alta 111.06 ppm de P, que transformados a fosfatos toma un valor de 339.84 ppm, mediante



el factor 3.06 de conversión. Algo parecido sucedió en un estudio realizado en Yucatán - México, en donde analizaron 16 muestras de suelo y el valor máximo de fósforo fue de 33.8 mg/Kg, transformado a fosfatos da una concentración de 101.4 mg/Kg (Borges, Soria, Casanova, Villanueva & Pereyda, 2008).



6. CONCLUSIONES

En la presente trabajo de investigación, en donde se midieron diferentes variables y en base a los resultados que se obtuvieron se llegó a la conclusión de que los contenidos de metales pesados y trazas en el estudio en comparación con la normativa (TULSMA, 2017) en lo que hace referencia a papas, suelo y agua, en general no presentan valores mayores a los LMP haciéndolos adecuados para ejercer su empleo en la actividad agrícola; salvo ciertos casos excepcionales como el Pb en las muestras de agua, en donde este elemento superó el límite máximo permitido en la normativa ambiental vigente.

- Además, podemos concluir también que el contenido de metales en los tubérculos de papas no se vio influenciado por la aplicación de fertilizantes, pesticidas o agua de riego, pero sí se observó diferentes concentraciones según la ubicación de las parcelas experimentales, esto debido a que el suelo no presentó concentraciones uniformes de metales a lo largo del lote experimental.
- Con respecto al contenido de pesticidas, los valores registrados por Cromatografía Líquida de Alta Resolución se encontraron por debajo de los límites de detección, es posible que la germinación de los tubérculos influyera en el contenido de los mismos. Este retraso en el análisis de las muestras se debió principalmente a factores anómalos causados por la pandemia COVID 19.
- En cuanto a los tubérculos se puede decir que su contenido de iones (nitratos y fosfatos) no se ve afectado por las dosis de fertilizantes que se aplicó, esto se deduce debido a que la dosis más alta de fertilizante aplicado no mostró diferencia con el tratamiento control ni los demás tratamientos aplicados.
- No se pudo observar acumulación de los iones nitratos y fosfatos en el suelo a pesar de la aplicación de fertilizantes y agua de riego con alto contenido de iones, esto puede darse por diferentes factores como: la lixiviación, desnitrificación o escorrentía del agua lluvia o de riego.
- Se puede concluir además que el agua utilizada para el riego de las parcelas tuvo poca influencia en los contenidos de iones tanto en el suelo como en los tubérculos debido a sus bajos niveles de nitratos y fosfatos.



7. RECOMENDACIONES

Al finalizar este trabajo de investigación en donde obtuvimos resultados destacables, en donde en base a esta experiencia se pudo hacer algunas recomendaciones, una de ellas respecto al contenido de metales pesados y trazas en algunos casos excedían los LMP, se recomienda realizar estudios profundizando las causas que provocan la concentración de estos elementos tanto en el suelo como en el agua que son usados para la agricultura de la zona.

- En lo que se refiere al análisis de pesticidas se recomienda realizarlo antes que los tubérculos empiecen el proceso de germinación y que el tiempo entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio no sea superior a los 15 días. De esta manera se obtendría una mejor aproximación real al contenido de pesticidas en los tubérculos de papas.
- En cuestión de acumulación de iones en el suelo, se recomienda realizar estudios en suelos donde se haya llevado la producción de este cultivo por un lapso más largo de tiempo. debido a que podría darse que estos iones se vayan acumulando luego realizar la misma practica de fertilización por muchos años.
- También se recomienda enfocar estudios para analizar el arrastre y depósito de iones que se pueda estar dando en los ríos. quebradas o cualquier otro cuerpo de agua aledaño a las parcelas experimentales.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo. C.. & Hipólito. C. (Octubre de 2014). Nitrógeno en el suelo despues de 10 años de manejo orgánico y convencional . *División III. Aprovechamiento del Recurso Suelo*. México.
- Amat. J. (2017). *Clustering y heatmaps: aprendizaje no supervisado*. Obtenido de RPubS: https://rpubs.com/Joaquin_AR/310338
- Baird. C. (2001). *Química ambiental*. España: Reverté. S.A
- Barrera. V.. León-Valverde. C.. Grijalva. J.. Chamorro. F. (2004). Manejo del sistema producción “Papa-Leche” en la sierra ecuatoriana. INIAP-CIP-PROMSA. Editorial ABYA-YALA. Pp. 196.
- Bolaños. J.. Cordero. G.. & Segura. G. (2017). Determinación de nitritos. nitratos. sulfatos. fosfatos en agua potable. *Tecnología en Marcha*.
- Borges-Gómez, Lizette, Soria-Fregoso, Manuel, Casanova-Villarreal, Víctor, Villanueva-Cohuo, Eduardo, & Pereyda-Pérez, Gaspar. (2008). Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia*, 42(1), 21-27. Recuperado en 06 de julio de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000100003&lng=es&tlng=es
- Burger. Joanna. and Michael Gochfeld. (2004). Mercury in Canned Tuna: White versus Light and Temporal Variation. *Environmental Research* 96 (3): 239–49. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2003.12.001>.
- Camas. D.. & Valqui. X. (2016). Evaluación de la concentración de cadmio en áreas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) de la Localidad Cohechán; Distrito de Conila. Provincia de Luya. Departamento Amazonas.
- Categorías de calidad de aguas en función del WQI (CCME. 1999).
- Castillo. B., Ruíz. J., Manrique. M & Pozo., C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista ESPACIOS*. ISSN 0798 1015



- Cutipa. Z. (2007). Efecto de excreta de lombriz y biol vs fertilizantes químicos sobre rendimiento y calidad de tubérculos de papa nativa (*Solanum tuberosum* spp andigena)". Puno – Perú. 2007.
- Chambi. L.. Orsag. V.. & Niura. A. (2012). Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas entre micro-cuencas del municipio de Poopó. *Revista Boliviana de Química*. 29(1).
- Chirinos. Dorys. Castro. Rossana. Cun. Jorge. Castro. Jessenia. Peñarrieta Bravo. Soraya. Solis. Leonardo. & Geraud-Pouey. Francis. (2020). Los insecticidas y el control de plagas agrícolas: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 21(1). 84-99. Epub December 30. 2019. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1276.
- Crissman. Ch.. Espinosa A.. P.. y Barrera. V.H. (2002). El uso de plaguicidas en la producción de papa en Carchi. En Ch. Crissman. D. Yanggen. y P. Espinosa (Eds.). *Los plaguicidas: Impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi*. Ecuador (pp. 9-24). Quito. Ecuador: CIP/INIAP.
- Codex Alimentarius. (2019). Legislación de metales pesados. Revisión Febrero 2019. Obtenido de <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- Colcha. E. (2009). Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para producción de papa (*Solanum tuberosum*) con alternativas al uso de plaguicidas peligrosos en Tiazo San Vicente. Provincia de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/341/1/13T0634%20.pdf>
- Comisión europea.(2006). La política comunitaria para un uso sostenible de los plaguicidas. Origen de la estrategia. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Cusanguá. C. (2021). Evaluación del efecto de la cianamida cálcica en la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. super chola. en la Finca La Carolina. Tulcan. Carchi. *Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte*. Ibarra. Ecuador.



CCME. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'eau. 1999. [en línea]
<http://www.ec.gc.ca/ceqgrcqe/English/ceqg/water/default.cfm#agr.19/09/2008>.

del Puerto Rodríguez. Asela M. Suárez Tamayo. Susana. & Palacio Estrada. Daniel E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 52(3). 372-387. Recuperado en 30 de junio de 2021. de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S156130032014000300010&lng=es&tlng=es.

Devaux. A. ; Ordinola. M. ; Hibon. A. ; Flores. R. (eds.). 2010. El sector papa en la region andina: Diagnostico y elementos para una vision estrategica (Bolivia. Ecuador y Peru). Lima. Perú). Centro Internacional de la Papa (CIP). ISBN 978-92-9060-384-9. 385 p.

Dziubanek. Grzegorz. Agata Piekut. Monika Rusin. Renata Baranowska. & Ilona Hajok. (2015). "Contamination of Food Crops Grown on Soils with Elevated Heavy Metals Content." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 118 (August): 183–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>.

Eliku. T.. & Leta. S. (2017). Heavy metals bioconcentration from soil to vegetables and appraisal of health risk in Koka and Wonji farms. Ethiopia. *Environmental Science and Pollution Research*.

FAO. (2008). Año internacional de la papa. Recuperado de <http://www.fao.org/potato2008/es/mundo/index.html>.

FAOSTAT. (2007). Producción y consumo de papa en América Latina.

Feka. F.. Musa. F.. Musa. A.. & Behrami. S. (2017). Investigation on heavy metal contaminations of potato tubers grown in different production sites in vushtrri. kosovo. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM*. 17(52). 581–588. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/52/S20.074>



- Fitamo, D., Itana, F., & Olsson, M. (2007). Total contents and sequential extraction of heavy metals in soils irrigated with wastewater. Akaki, Ethiopia. *Environmental Management*.
- Flores Gutiérrez, Francisco Xavier, Flores López, Román, Mora Herrera, Martha Elena, & Franco Mora, Omar. (2018). Respuesta del clon mexicano de papa 99-39 a potasio en hidroponía e invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 9(6). 1123-1135. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1578>
- Gaitán Moreno, Ángela P., González Mogollón, M. P. A., Núñez López, C. E., Saldaña Villota, T. M., & Cotes Torres, J. M. (2013). Análisis Funcional de Crecimiento y Desarrollo de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* subsp. andigena). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*. 9(2). 172-185. <https://doi.org/10.18359/rfcb.344>.
- García, J & Ballesteros, M. (2006). Evaluación de los parametros de calidad para la determinación de fósforo disponible en los suelos. *Revista colombiana de Química*. Volumen 30. N°1 de 2006.
- Galán, E & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071.
- Giemno, E., Andreu, V., & Boluda, R. (2001). Impacto de la actividad agrícola sobre el aporte de metales pesados en suelos agrícolas del parque natural de la Albufera de Valencia. *Dossier Agraris ICEA-Sóls contaminants*. 177-186.
- Gil, C. (2018). Análisis de componentes principales (PCA). Obtenido de RPubs: https://rpubs.com/Cristina_Gil/PCA
- Gómez, J., Rebrij, R., & Merino, D. (06 de 2018). Análisis comparativo de diferentes métodos de agrupación para el tratamiento de datos de expresión genética. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/82006/7/jgomezsanchezTFM0618memoria.pdf>



- Gómez. M., Magnitskiy. S., & Rodríguez. L. (2017). Diagnóstico de K⁺ y NO₃⁻ en savia para determinar el estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L. subsp. andigena). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 11(1). 133-142.
- González. G. (2013). Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife. Evaluación toxicológica.
- Gonzalez. R. (2008). Fotodegradación de productos plásticos elaborados con polietileno lineal de baja densidad. Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología. Centro de Investigaciones en Óptica A. C.
- González. J. D., Mosquera. J. D., & Trujillo. A. T. (2015). Efectos e impactos ambientales en la producción y aplicación del abono supermagro en el cultivo de sandía. *Ingeniería y Región*. (13). 103 – 111.
- González. P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN. Asesoría Técnica Parlamentaria.
- Gutiérrez. C & Droguet. M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. *Boletín INTEXTER (U.P.C) N° 122* Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/39426710>.
- Huamán. Z. (1990). Botánica sistemática y morfología de la papa. 2 ed. Lima, Perú.. Centro Internacional de la Papa.. Boletín de información técnica. n° 6. 20 p.
- IICA. (2020). Día Nacional de la Papa. Recuperado de <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/organizaciones-promueven-consumo-de-papa-por-la-salud-del-ecuador>.
- INEC. (2014). Uso y Manejo de Agroquímicos en la Agricultura. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/plaguicidas/Plaguicidas-2014/Modulo_Uso_y_Manejo_de_Agroquimicos.pdf.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Ec). (2011). Ficha técnica fripapa 99. Santa Catalina. Quito. Ecuador. 76 p.



- INIAP-COSUDE. (2009). Manual de cultivo de papa para pequeños productores. Quito. Ecuador.
- International Potato Center. (2015). Plagas y enfermedades de la papa. International Potato Center. <https://cipotato.org/es/lapapa/plagas-y-enfermedades-de-la-papa>.
- IZA y LATIZA . (2011). La contribución a la solución de un problema nutricional mundial. *Zinc en los fertilizantes*.
- Khan. S.. Q. Cao. Y.M. Zheng. Y.Z. Huang. and Y.G. Zhu. (2008). Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Wastewater in Beijing. China. *Environmental Pollution* 152 (3): 686–92. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>.
- Li. QuSheng. Yan Chen. HongBo Fu. ZhiHong Cui. Lei Shi. LiLi Wang. and ZhanFei Liu. 2012. “Health Risk of Heavy Metals in Food Crops Grown on Reclaimed Tidal Flat Soil in the Pearl River Estuary. China.” *Journal of Hazardous Materials* 227–228 (August): 148–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.023>.
- Ličina. V.. Akšić. M.. Tomić. Z.. Trajković. I.. Antić. S.. Marjanović. M.. & Rinklebe. J. (2017). Bioassessment of heavy metals in the surface soil layer of an opencast mine aimed for its rehabilitation. *Journal of Environmental Management*.
- López. L.. García. M.. Madueño. F.. Bautista. N.. Marín. G.. & Olórtegui. D. (2020). Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita(Lima-Perú). *Ciencia e Investigación* 2020. 23(1). 25-30. doi:<http://dx.doi.org/10.15381/ci.v23i1.18719>
- Lozares. C.. & Lopéz. P. (1991). El Análisis de Componentes Principales: Aplicación al Análisis de Datos Secundarios. Barcelona. España.
- MAG. (2017). Ficha del cultivo de papa: Tungurahua. MAG. Ecuador.
- MAG. (2020). Manual técnico para el registro y control de fertilizantes. enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola. Edición No. 5



- Mancilla. Ó., Ortega. H., Ramírez. C., Uscanga. E., Ramos. R., & Reyes. A. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz. Mexico. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 28(1).
- Marouani. A., & Harbeoui. Y. (2015). Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Acta Agronomica* . 65(2). 164-169.
- Mixquititla. G., & Villegas. Ó. (2016). Importancia de los fosfaatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. Cuernavaca.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG. (2020). Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola. Edición N° 5.
- Mohammad-Makki. Fatemehsadat Mir. and Parisa Ziarati. (2015). Nitrate and Nitrite in Fresh Tomato and Tomato Derived Products. *Biomedical and Pharmacology Journal* 8 (1): 115–22.
- Mora. E. (2015). Manejo de plaguicidas e impacto en la salud de los trabajadores que cultivan cebolla. Jubones. cantón Santa Isabel. 2014. Cuenca – Ecuador.
- Morábito J. Lavié E. Salatino S. Bermejillo A. Filippini M. Campos S. Dediol C. Medina R. Maffei A. Mastrantonio L. Hernández R. Genovese D & Stocco A. 2013. Calidad del agua de riego de los ríos Mendoza y Tunuyán superior. Tendencias y recomendaciones. XXIV. Congreso Nacional del Agua. trabajo 206. San Juan. Argentina
- Moreno. B., Soto. K., & González. D. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. *Revista chilena de nutrición*. 42(2).
- Moreno. Y., García. J., & Chaparro. S. (2016). Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 19(1). 97-104.
- Naranjo. A. (2017). La otra guerra: la situación de los plaguicidas en Ecuador. Quito: Acción Ecológica.



- Nava-Ruíz C. Méndez-Armenta M. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Arch Neurocién. 2011;16(3):140-147.
- Ñústez. C.E.; Santos. M.; Navia. S.L.; Cotes. J.M. (2006). Evaluación de la fertilización fosfórica foliar y edáfica sobre el rendimiento de la variedad de papa "Diacol Capiro" (*Solanum tuberosum* L.). Capiro" (*Solanum tuberosum* L.). Agron. Colomb. 24(1):16-26.
- Pallo Paredes. E. L.. Guapi Auquilla. A. P. & Mullo Paucar. M. V. . (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua . Siembra. 8(1). e2273. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>
- Pantoja. J.. Cuasapaz. P. (2017). VII Congreso Ecuatoriano de la papa. Carchi -Tulcán - Ecuador. ISBN- 978-9942-28-795-3
- Parks. S. (2008). Nitratos y Nitritos en Hortalizas . *Red Hidroponía. Boletín No 39*. Lima. Perú.
- Peréz. J.. Peña. E.. López. R.. & Hernández. I. (2016). Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada. *Idesia*. 34(1).
- Pinedo-Taco. Rember. Olivas-Alvarado. Tulio. Rodríguez-Soto. Gilberto y Castro-Cepero. Viviana. (2020). Efecto de las fuentes de fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín . 73 (3). 9255-9261. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.82624>
- Pumisacho. Manuel. and Stephen Sherwood. (2002). El Cultivo de La Papa En El Ecuador. Primera. Quito: INIAP/CIP.
- Ramírez. D. (2010). Caracterización física, química y nutricional de la papa chaucha (*Solanum phureja*) cultivado en dos suelos edafoclimáticos del Ecuador, como base de estudio para la elaboración de una norma técnica (papa chucha fresca requisitos 2010) por parte del INEN. Universidad Tecnológica Equinoccial. 26-40.



- Raviolo. Andrés. (2008). Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación química*. 19(4). 315-322. Recuperado en 25 de marzo de 2021. de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2008000400012&lng=es&tlng=es.
- Reyes García. M., Gómez-Sánchez Prieto. I., & Espinoza Barrientos. C. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud. Obtenido de <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanasQR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Reyes. Y., Vergara. I., Torres. O., Díaz. M., González. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. Vol. 16 N.º 2. pp. 66-77. Sogamoso-Boyacá, Colombia ISSN Impreso 1900-771X. ISSN Online 2422-4324.
- Romero. A., Escalada. J., Bregliani. M & Pajares. A. (2016). Utilización de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) para determinar consumo de sustrato. ISSN: 1852-4516. Aprobado por Resolución N° 0461/16-R-UNPA.
- Sarabia. I., Cisneros. R., Aceves. J., Durán. H., & Castro. J. (2011). Calidad de agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 27(2).
- Sánchez. Ó., Herzig. M., Peters. E., Márquez. R., & Zambrano. L. (2007). Perspectivas sobre conservación. México.
- Singler & Bauder. (s.f.). Nitrato y Nitrito. Estados Unidos. Universidad Estatal de Montana. [On line] s.f. Disponible en <https://goo.gl/rjwCCB>.
- Singh. A., Sharma. R. K., Agrawal. M., & Marshall. F. M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity. *Tropical Ecology*. 51. 375–387. Retrieved from [http://www.environmentportal.in/files/Risk assessment of heavy metal toxicity.pdf](http://www.environmentportal.in/files/Risk%20assessment%20of%20heavy%20metal%20toxicity.pdf)
- Sosa. P. Conceptos base de la química. México. Colegio de Ciencias y Humanidades. UNAM. 2007.



- Smical. A., Hotea. V., Oros. V., Juhasz. J., & Pop. E. (September de 2008). Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce . Environmental Engineering and Management Journal.
- Vincula. G., & Jacha. J. (2020). Determinación de las concentraciones de plomo y mercurio en la papa Blanca, Amarilla y Huayro que se comercializan en los mercados de Huánuco - 2019.
- Viteri Robayo. C., Camino Naranjo. M., Robayo Poveda. D., Moreno Dávila. T. y Ramos Jácome. M. (2020) Alimentos sagrados en la cosmovisión andina. Ciencia e Interculturalidad. 27(02). pp. 173 - 189. doi: 10.5377/rci.v27i02.10442.
- Wang. Y., Zhu. Y., Zhang. S., & Wang. Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. Journal of Cleaner Production. 199. 882-890.
- Weiner. M. L., Salminen. W. F., Larson. P. R., Barter. R. A., Kranetz. J. L., & Simon. G. S. (2001). Toxicological review of inorganic phosphates. . Food and Chemical Toxicology. 759-786.

9. ANEXOS

Anexo 1: Límites máximos de residuos de metales en papa

Tabla 2 Limite admisible máximo de metales en papa

METALES PESADOS	UNION EUROPEA	CODEX ALIMENTARIUS
	Contenido máximo (mg/Kg peso fresco)	Tolerancia en mg/Kg
Plomo (Pb)	0.1	0.1
Cadmio (Cd)	0.1	0.1

(Union Europea, 2019). (Codex Alimentarius, 2019).

Anexo 2: Límites máximos de residuos de pesticidas en papa

Tabla 3 Límites máximos de residuos de pesticidas en papa

Pesticida	MRL
Aldrin and Dieldrin	0.1 mg/kg
Benalazyl	0.02 mg/kg
Carbendazim	0.1 mg/kg
Carbofuran	0.1 mg/kg
Carbosulfan	0.1 mg/kg
Chlorothalonil	0.3 mg/kg
Clorpyrifos	5 mg/kg
Dimethoate	0.05 mg/kg
Endosulfan	0.05 mg/kg
Glyphosate	15 mg/kg
Glufosinate	
Ammonium	0.01 mg/kg
Iprodione	0.1 mg/kg
Metalaxyl	0.05 mg/kg
Paraquat	0.05 mg/kg

(FAO/WHO, 2020)

Anexo 3: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Tabla 4: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola



Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico (total)	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro (total)	B	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0.1
Cianuro (total)	CN	mg/l	0.2
Cobalto	Co	mg/l	0.05
Cobre	Cu	mg/l	2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.1
Flúor	F	mg/l	1
Hierro	Fe	mg/l	5
Litio	Li	mg/l	2.5
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0.2
Molibdeno	Mo	mg/l	0.01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.001
Níquel	Ni	mg/l	0.2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0.1



Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0.2
Plata	Ag	mg/l	0.05
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	6 - 9
Plomo	Pb	mg/l	0.05
Selenio	Se	mg/l	0.02
Solidos disueltos totales		mg/l	3000
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi		mg/l	mínimo 2 m
Vanadio	V	mg/l	0.1
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Coniformes Totales	nmp/100 ml	mg/l	1000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2

Fuente : (TULSMA, 2017)

Anexo 4: Parámetros de los niveles guía de la calidad de agua de riego

Ilustración 1: Parámetros de los niveles guía de la calidad de agua de riego



PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1): CE (2) SDT (3)	Milimhos/cm mg/l	0,7 450	0,7 450	3,0 2000	>3,0 >2000
Infiltración (4): RAS = 0 – 3 y CE RAS = 3 – 6 y CE RAS = 6 – 12 y CE RAS = 12 – 20 y CE RAS = 20 – 40 y CE		0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,2 0,3 0,5 1,3 2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 <1,3 <2,9
Toxicidad por ión específico (5): - Sodio: Irrigación superficial RAS (6) Aspersión	meq/l	3,0 3,0	3,0 3,0	9	> 9,0
- Cloruros Irrigación superficial Aspersión	meq/l meq/l	4,0 3,0	4,0 3,0	10,0	>10,0
- Boro	mg/l	0,7	0,7	3,0	> 3,0
Efectos misceláneos (7): - Nitrógeno (N-NO3) - Bicarbonato (HCO3)	mg/l meq/l	5,0 1,5	5,0 1,5	30,0 8,5	>30,0 > 8,5
pH	Rango normal	6,5 –8,4			

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

Fuente : (TULSMA, 2017)

Anexo 5: Factores indicativos de contaminación del suelo

Tabla 5: Factores indicativos de contaminación del suelo

Factor de contaminación	Grado de denominación	Denominación
< 1.5	0	Cero perturbación
1.5 – 3	1	Perturbación
3 – 10	2	Perturbación severa
> 10	3	Perturbación muy severa

Fuente : (TULSMA. 2017).

**Anexo 6: Criterios de calidad del recurso suelo***Tabla 6: Criterios de calidad del recurso suelo*

Sustancias	Unidades de concentración en peso seco	Suelo
Parámetros Generales		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Relación de Adsorción de Sodio (Índice SAR)		4
Parámetros Inorgánicos		
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	5
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	30
Cromo Total	mg/kg	20
Cromo VI	mg/kg	2.5
Cianuro (libre)	mg/kg	0.25
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1



Molibdeno	mg/kg	2
Níquel	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60
Parámetros Orgánicos	mg/kg	
Benceno	mg/kg	0.05
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobencenps (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.1
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	mg/kg	0.1

Fuente : (TULSMA, 2017)

Anexo 7: Criterios de remediación o restauración del suelo

**Tabla 7:** Criterios de remediación o restauración del suelo

Sustancias	Unidades de concentración en peso seco	Agrícola
Parámetros Generales		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Parámetros Inorgánicos		
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	500
Bario	mg/kg	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	2
Cadmio	mg/kg	2
Cobalto	mg/kg	40
Cobre	mg/kg	63
Cromo Total	mg/kg	65
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro (libre)	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Mercurio (inorgánico)	mg/kg	0.8
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	50
Plata	mg/kg	20



Plomo	mg/kg	100
Selenio	mg/kg	2
Talio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	130
Zinc	mg/kg	200
Parámetros orgánicos		
Aceites y grasas	mg/kg	500
Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos		
Benceno	mg/kg	0.05
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
Compuestos fenólicos		
Clorofenoles (cada uno)	mg/kg	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	mg/kg	< 2
Pesticidas		
Pesticidas organoclorados y sus metabolitos totales Aldrin Dieldrin Clordano DDT(total) Endosulfan (total)	mg/kg	0.1
Endrin (total)	mg/kg	0.01
Heptacloro	mg/kg	0.01
Hexaclorociclohexano (todos los isómeros)	mg/kg	0.01
Atrazina	mg/kg	0.005



Carbofuran	mg/kg	0.01
Orgánicos Misceláneos	mg/kg	-
Alifáticos Clorinados (cada uno)	mg/kg	0.3

Fuente : (TULSMA, 2017)

Anexo 8: Requerimiento nutricionales del cultivo de papa según varios países

Tabla 5: Requerimiento nutricionales del cultivo de papa según varios países

Rendimiento ton/ha	REQUERIMIENTO (Kg/ha)						PAIS	FUENTE
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S		
20	120	40	250		20	10	Colombia	(Oyazún, y otros, 2002).
40	210	70	430		40	20	Colombia	
50	300	100	600		60	25	Colombia	
17	70	15	140	25	10		Ecuador	(Oyazún, y otros, 2002)
50	220	50	350	95	35		Ecuador	
26.1	140	39	190				Ecuador	(Valverde, Córdova, & Parra, 1998)
50	220	50	350				Ecuador	
50	150	35	219				Argentina	(Suárez, Gileto, Rattín, Echeverría, & Caldiz, 2006)
53.79	300	600	600				Colombia	(Ríos, Jaramillo, González, & Cotes, 2010)

Fuente: Autores

Anexo 9: Contenido de metales en los tratamientos



Tabla 8 Contenido de metales en los tratamientos

Metal	T1		T2		T3		T4	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
As	0.004	0.000	0.007	0.004	0.007	0.003	0.004	0.001
B	0.917	0.126	0.948	0.147	0.975	0.230	1.061	0.017
Ba	0.410	0.289	0.533	0.168	0.371	0.342	0.400	0.192
Cd	0.004	0.004	0.008	0.006	0.003	0.003	0.008	0.005
Ce	0.006	0.007	0.013	0.014	0.007	0.008	0.007	0.006
Cr	0.006	0.006	0.014	0.011	0.017	0.007	0.011	0.007
Cu	0.839	0.821	1.223	0.149	0.632	0.648	1.208	0.720
Dy	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Er	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe	3.544	2.914	5.766	7.186	2.153	1.632	4.003	3.274
Gd	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
La	0.003	0.004	0.006	0.007	0.003	0.004	0.003	0.002
Pb	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
Rb	16.894	3.275	17.052	4.157	20.281	5.581	23.153	4.576
Sm	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
Sr	0.806	0.270	1.180	0.309	0.878	0.533	0.882	0.147
V	0.020	0.010	0.040	0.037	0.042	0.019	0.025	0.014
Yb	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
Ag	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
Al	10.770	11.455	27.498	25.131	23.344	27.766	19.199	12.544
Ca	36.113	10.580	51.582	12.896	41.748	22.780	39.849	3.526
Co	0.015	0.008	0.025	0.010	0.018	0.013	0.023	0.010
Cs	0.034	0.009	0.037	0.015	0.040	0.019	0.046	0.022
Eu	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Ga	0.038	0.028	0.054	0.022	0.036	0.031	0.040	0.021
K	2269.30	1311.20	2032.16	1250.65	1556.52	1238.79	2409.67	1439.24
Lu	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Mg	144.551	20.806	150.599	32.305	105.192	58.921	148.256	23.400
Mn	1.627	1.188	2.450	0.981	1.863	1.540	2.395	1.334
Nd	0.003	0.004	0.007	0.006	0.004	0.005	0.004	0.003
Ni	0.042	0.007	0.062	0.015	0.040	0.025	0.069	0.032
P	170.748	35.161	179.750	18.209	210.495	65.459	228.834	33.106
Pr	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
S	0.487	0.064	0.496	0.058	0.529	0.050	0.539	0.028
Se	0.007	0.002	0.006	0.003	0.007	0.002	0.008	0.001
Th	0.225	0.358	0.069	0.106	0.018	0.019	0.139	0.227
Tl	0.008	0.001	0.008	0.002	0.013	0.008	0.014	0.006



Tm	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
U	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Zn	1.407	1.391	2.765	0.379	1.783	1.734	2.638	1.490
Ho	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Na	17.753	1.090	21.711	7.605	20.293	9.432	16.327	3.464

Anexo 10: Contenido de metales en el suelo

Tabla 9 Contenido de metales en el suelo

Metal	Suelo Antes		Suelo Después	
	Media	SD	Media	SD
As	0.000	0.000	0.000	0.000
B	0.125	0.064	0.223	0.027
Ba	0.061	0.032	0.075	0.028
Cd	0.000	0.000	0.000	0.000
Ce	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.083	0.007	0.131	0.032
Cu	0.013	0.005	0.005	0.000
Dy	0.000	0.000	0.000	0.000
Er	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.476	0.017	0.634	0.136
Gd	0.000	0.000	0.000	0.000
La	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000
Rb	0.023	0.018	0.005	0.002
Sm	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.238	0.028	0.366	0.087
V	0.000	0.000	0.000	0.001
Yb	0.000	0.000	0.000	0.000
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.167	0.117	0.080	0.039
Ca	12.420	1.305	19.991	5.504
Co	0.000	0.000	0.001	0.000
Cs	0.000	0.000	0.000	0.000
Eu	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.010	0.005	0.011	0.004
K	316.298	216.276	281.586	201.331
Lu	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	4.407	0.251	6.335	1.187



Mn	0.025	0.011	0.099	0.038
Nd	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.004	0.001	0.005	0.001
P	0.562	0.524	0.137	0.024
Pr	0.000	0.000	0.000	0.000
S	0.493	0.016	0.539	0.029
Se	0.005	0.002	0.004	0.001
Th	0.000	0.000	0.000	0.000
Tl	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.013	0.011	0.000	0.000
Ho	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	2.151	0.419	2.926	0.498

Anexo 11: Contenido de metales en el agua de riego

Tabla 10 Contenido de metales en el agua de riego

Metal	Agua	
	Media	SD
As	0.002	0.000
B	0.167	0.018
Ba	0.050	0.001
Cd	0.000	0.000
Ce	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000
Cu	0.023	0.002
Dy	0.000	0.000
Er	0.000	0.000
Fe	0.819	0.045
Gd	0.000	0.000
La	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000
Rb	0.023	0.001
Sm	0.000	0.000
Sr	0.130	0.006
V	0.003	0.000
Yb	0.000	0.000



Ag	0.001	0.000
Al	0.758	0.112
Ca	11.192	0.021
Co	0.000	0.000
Cs	0.000	0.000
Eu	0.000	0.000
Ga	0.006	0.000
K	5.662	0.040
Lu	0.000	0.000
Mg	2.793	0.014
Mn	0.009	0.004
Nd	0.000	0.000
Ni	0.004	0.000
P	0.142	0.002
Pr	0.000	0.000
S	0.488	0.002
Se	0.002	0.000
Th	0.004	0.000
Tl	0.000	0.000
Tm	0.000	0.000
U	0.000	0.000
Zn	0.012	0.001
Ho	0.000	0.000
Na	13.864	0.036