

## Baseline survey of anions and metals in potatoes, tomatoes, and onions marketer in Cuenca, Ecuador

### Relación entre dosis de fertilizantes aplicados y su absorción en el producto cultivado: *Solanum tuberosum* L. var. chaucha rosada

Antonio Sagbay<sup>1,2</sup>; Andrés Zhiminaycela<sup>1,2</sup>; Andrés Pérez<sup>3</sup>; Victoria Abril<sup>4</sup>; María Dolores Tonon<sup>5</sup>; Ximena Palomeque<sup>1,2</sup>; Piercossimo Tripaldi<sup>3</sup>; Verónica Pinos-Vélez<sup>1,5\*</sup>

#### ABSTRACT

The indiscriminate use of fertilizers and pesticides in agriculture and the water and soil pollution with metals of natural or anthropogenic origin are reflected in foods that contain these residues. For this reason, this study aimed to determine ions, metals, and pesticides in potato *Solanum tuberosum* var. pink chaucha. The study was carried out at the Irquis experimental farm of the University of Cuenca, using a 4 x 4 Latin Square experimental design. The potatoes were sown, pesticides were applied at conventional doses, and the dose of fertilizers varied. The water, soil, and potato samples were obtained for analysis in the laboratory in each treatment. Metals were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, pesticides with High-Resolution Liquid Chromatography, and ions by UV-visible Spectroscopy. In total, 43 metals were analyzed, and all had low values, which are below the Limit Maximum Permissible. The concentration of ions (nitrates and phosphates) concerning the doses of fertilizers did not present statistically significant differences. Pesticides did not reach the detection limits. The metal content was not influenced by applying fertilizers or water irrigation. Still, there was a location of the experimental plots effect because the soil does not have a uniform concentration of metals.

**Keywords:** potato, metals, ions, pesticides.

#### RESUMEN

El uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, la contaminación del agua y suelo con metales de origen natural o antropogénico se ve reflejado en alimentos que contienen estos residuos. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar iones, metales y pesticidas en *Solanum tuberosum* L. var. chaucha rosada, comúnmente conocida como papa. 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 con un total de cuatro tratamientos. Se analizaron las muestras de agua, suelo y papas obtenidas con cada tratamiento. 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. Todos los 43 metales analizados estaban por debajo de los límites máximos permitidos. 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. El contenido de metales 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 presentó una concentración de metales uniforme.

**Palabras clave:** Papas, metales, iones, pesticidas.

1

---

Recibido 4 de septiembre de 2024 Aceptado 23 de diciembre de 2024

---



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license.

1 Departamento de Recursos Hídricos y Recursos Ambientales, Universidad de Cuenca, Ecocampus Balzay, Cuenca, Ecuador.

2 Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Av 12 abril, Cuenca, Ecuador

3 Grupo de Investigación de Quimiometría y QSAR, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay.

4 Facultad de Ciencias Médica, Universidad de Cuenca, Av 12 abril, Cuenca, Ecuador.

5 IRCMA, Departamento de Biociencias, Universidad de Cuenca, Ecocampus Balzay, Cuenca, Ecuador

\*Autor para correspondencia: email: veronica.pinos@ucuenca.edu.ec

## 1. INTRODUCCIÓN

La papa, llamada Kausay (sustento de vida) forma parte indispensable de la alimentación andina desde épocas ancestrales (Viteri-Robayo et al., 2020). El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador es una de las principales actividades agrícolas pues su cultivo vincula a miles de productores y representa un 3.5 % del PIB agrícola del país (Kromann & Cuasapaz, 2017). Por otro lado, en el país se ha reportado 350 variedades de papas aunque son 24 las de mayor producción (Variedades de Papa – Inventario de Tecnologías e Información Para El Cultivo de Papa En Ecuador, n.d.); en la últimas décadas se han realizado esfuerzos para manipular genéticamente el cultivo de papa, para crear variedades resistentes a plagas y enfermedades (Pallo-Paredes et al., 2021). Pues dada a la gran demanda del cultivo tanto a nivel nacional y mundial, hay una necesidad de incrementar la productividad, y para ello es común acudir al uso de diversos tipos de fertilizantes y pesticidas sintéticos en dosis más allá de las recomendadas y sin estudios previos para ver si efectivamente aumenta la productividad (Crissman et al., 2002; Luis González, 2014; Ordóñez et al., 2019; Villa et al., 2020). Si bien el uso de fertilizantes y pesticidas han sido claves para asegurar productividad del cultivo y estos son propensos a diferentes enfermedades y ataques de insectos, nemátodos y otros (Gandarillas & Ortuño, 2009; Viteri et al., 2020); el uso excesivo de agroquímicos obedece a la falta de formación de muchos agricultores, y por tanto, puede tener efectos tóxicos en el suelo, en el agua, en la biodiversidad (ej. polinizadores) y además puede afectar la salud humana (Haby et al., 2016). El uso de fertilizantes y plaguicidas requiere considerar además de la dosis utilizada, la cantidad de veces que se aplica durante el cultivo, el número de ciclos de cultivo, la rotación de productos que se cultivan y los potenciales efectos que podría tener en los sistemas de producción agrícola (Racines et al., 2021; Scarlato et al., 2022).

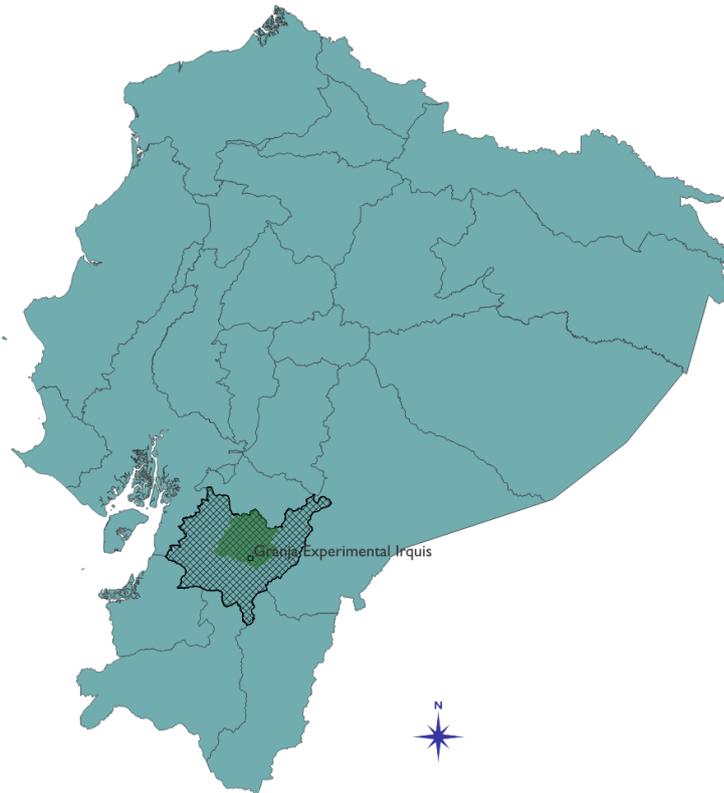
Hay evidencia científica que indica que la sobre dosis del uso de agroquímicos en la agricultura está relacionada con casos de malformaciones congénitas, enfermedades crónicas, neurodegenerativas, riesgo de cáncer, entre otros (Benítez-Leite et al., 2009; Ordóñez et al., 2019). Además, estas prácticas generan toxicidad tanto en el suelo como en agua, afecta a los ecosistemas terrestres y acuáticos, por ejemplo, la eutrofización de cuerpos de agua entre otros (González et al., 2015; Wang et al., 2018). Esto hace que la agricultura convencional esté bajo debate sobre el uso en dosis altas de fertilizantes y pesticidas, en este cuestionamiento están involucrados investigadores, agricultores, consumidores y la sociedad en general.

Los metales en el suelo tienen muchas formas químicas que incluyen solubles e intercambiables, reducibles (unidos a óxidos de Fe/Mn), oxidables (unidos orgánicamente) y residuales donde los dos primeros son susceptibles a ser absorbidos por las plantas (Gholami & Rahimi, 2021). La papa es un cultivo propenso a absorber metales de origen natural o antropogénico y son depositados en diferentes partes del tubérculo (Feka et al., 2017). Por ejemplo, un estudio sobre la genética de la acumulación de Cd en campos agrícolas contaminados con este metal mostraron que el Cd absorbido por la planta muestra un patrón de acumulación diferencial donde los niveles más altos se encontraron en las partes no comestibles (hojas y tallos), y mucho menos (< 7 %) en los tubérculos (Ye et al., 2020). Otro estudio con papas cultivadas en suelo contaminado por Pb y Zn, se encontró que estos metales se acumularon en la cáscara más que en la pulpa (Davies & Crews, 1983). La presencia de metales especialmente de metales tóxicos resulta problemático debido a que causan daños a la salud humana; dependiendo del metal y su concentración los daños pueden ser desde afección a los órganos vitales como también desarrollo de cáncer (Londoño Franco et al., 2016; Reyes et al., 2016).

Teniendo en cuenta la importancia económica del cultivo de papa y la importancia de la salud de los consumidores, se propuso determinar los iones, pesticidas y metales en *Solanum tuberosum* var chaucha rosada provenientes de tres dosis diferentes de fertilización y aplicación convencional de plaguicidas.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en la provincia del Azuay en el sector ganadero de Victoria del Portete del cantón Cuenca, 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. (Fig. 1) con temperaturas promedio que varían entre 7° C y 12 ° C. El estudio se realizó en el 2020.



**Figura 1:** Mapa de la granja experimental Irquis, provincia del Azuay.

Se aplicó la distribución del cuadrado latino, cada tratamiento constaba de la aplicación de una dosis de fertilizante, en total se aplicaron 4 tratamientos con 4 réplicas cada uno. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T1, control sin fertilizante; T2, 100 kg/ha de N, 150 kg/ha de P, 50 kg/ha de K y 10 kg/ha de Mg; T3, 200 kg/ha de N, 300 kg/ha de P, 100 kg/ha de K y 20 kg/ha de Mg; T4: 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 de borde, que suministraban las dosis mencionadas fueron: Muriato de Potasio (KCl), Urea, Sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ) y Fosfato di amónico (DAP). La aplicación de estos fertilizantes se realizó en las 3 etapas fenológicas de la planta, la primera dosis se aplicó en el momento de la siembra (noviembre de 2019), el 80 % del DAP y el 10 % de Urea fueron aplicados. La segunda dosis se aplicó 5 semanas después de la siembra, esta dosis constó del 80 % Urea, 15 % de KCl, 10 % de DAP, y 30 % de  $MgSO_4$ , 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. El control de plagas se dio mediante la aplicación convencional de plaguicidas por igual en todas las parcelas, así mismo, el riego y el encalado se suministró de manera conjunta en todas las parcelas. Las 16 parcelas

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. 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 (Fig. 2).



**Figura 2:** Diseño experimental: Cuadrado Latino 4x4: T1 o control, T2, T3 y T4, en rojo los sitios donde se tomaron las muestras de suelo.

Se procedió a la cosecha de los tubérculos en cada parcela neta de manera separada. La cosecha se realizó aleatoriamente por parcela hasta obtener una muestra representativa de aproximadamente 2 kg de tubérculos. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas y fueron llevadas al laboratorio. Para el análisis de suelo se realizaron dos tomas de muestras, una antes y otra después del cultivo. En cada toma de muestras se tomaron 3 muestras. Los puntos de muestreo fueron los mismos en las dos etapas de muestreo (ver T2, T3 y T4 en rojo en Fig. 2). Se tomaron dos muestras de agua en botellas de vidrio ámbar de 750 ml, 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.

Las 16 muestras de papa fueron lavadas con agua de grifo por unos 5 minutos, a continuación, se realizó un segundo lavado con agua destilada. Posteriormente, los tubérculos se cortaron en pedazos cuadrados de 3 x 3 mm aproximadamente con un cuchillo de zirconio. De manera individual, se pesaron 400 g de cada muestra, a continuación, cada muestra se secó a 105 °C por 24 horas; de cada muestra seca, se pesaron 5 gramos que fueron llevados a calcinación a 500 °C, durante aproximadamente 4 h. Las muestras calcinadas fueron acidificadas con 5 gotas de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). Posteriormente, se filtraron las muestras y cada filtrado se aforó a 50 ml con agua destilada. Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente por 72 horas para posteriormente emplear el mismo proceso usado en las papas, ya mencionado anteriormente. Para las muestras de agua, se tomaron 50 ml y se las filtró para eliminar impurezas. Las muestras procesadas fueron analizadas en el ICP-MS (PERKIN ELMER) de acuerdo al método 200.8 EPA (United States Environmental Protection Agency) (US EPA, 2019, p. 8), 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.

Las muestras de papa fueron secadas en la estufa. De cada muestra se tomaron 10 g y fueron llevadas a 50 ml con agua destilada. Una vez diluidas las muestras fueron filtradas. Finalmente, se tomó 1 ml de muestra y se aforó a 100 ml con agua destilada. Para el suelo, una vez secado se pesó 1 g de muestra que fue aforado a 50 ml con agua destilada, una vez agitado el conjunto se lo filtró. Las muestras de agua fueron filtradas con C.A. Para la medición del contenido de nitratos en las muestras de papa, suelo y agua se empleó un espectrofotómetro UV a longitud de onda de 270 nm. Para ello, se realizó una curva de calibración de 100 ppm de nitrato de potasio, KNO<sub>3</sub>, a partir de ella obtuvo patrones de 0.1, 0.25, 0.5, 1 y 2.5 ppm, la curva obtuvo un R<sup>2</sup> de 0.9989. Para determinar el contenido de fosfatos se usó un espectrofotómetro UV a 880 nm. Para esto, se realizaron patrones de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> desde una solución madre de 100 ppm. Los patrones fueron de 0.1, 0.5, 1, 2.5 y 5. La curva de calibración tenía un R<sup>2</sup> de 0.9937. Para la detección de fosfatos, se preparó una solución combinada que contenía 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. Para el análisis, tanto de patrones cuánto de muestras, se mezclaron 5 ml de cada patrón y 2 ml de la solución combinada, la mezcla se dejaba en reposo 15 min en un sitio fuera del alcance de la Luz.

Se utilizó Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC, Thermo Scientific Ultimate 3000), columna C18 a 210 °C. La fase móvil fue metanol/agua usando modo gradiente que varió durante 50 min desde 70:30 a 100:0.

El diseño experimental aplicado fue un cuadrado Latino (4x4). Para establecer el efecto de la dosis de fertilizantes aplicados: fosfatos y nitratos con el nivel de absorción, se realizaron pruebas de ANOVA en cada caso. Para analizar los resultados de iones en las muestras de suelo antes y después de la siembra, se realizaron las pruebas de normalidad de Kolmogorov Smirnov y de homocedasticidad de Levene con lo que se determinó el uso de pruebas no paramétricas. Se empleó la prueba de Wilcoxon, que compara las medianas en este caso de las muestras de antes y después de la siembra. Para el análisis de metales en tubérculos se realizó análisis de componente principales (PCA), análisis de clúster. 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. 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-Colina & López-Roldán, 1991). El objetivo del PCA es reducir la dimensionalidad, el interés es utilizar el número mínimo de componentes para explicar el conjunto de datos. 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. Se utilizó R y Rstudio para los análisis estadísticos.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Fertilizantes, Iones: nitratos y fosfatos**

En la tabla 1 se observa la media de los valores de la concentración de nitratos en los tubérculos expresados en ppm provenientes de 1 kg muestra fresca (MF) de las diferentes dosis de fertilización, donde se indica que para los cuatro tratamientos de fertilización, los valores de fosfatos son más altos que los nitratos, y el tratamiento 3 tuvo la concentración más alta de

fosfato con 860.66 mg/kg (T3) y 382.64 mg/kg de nitratos (T4).

**Tabla 1:** Concentración de la media (DE) de nitratos y fosfatos en mg/kg de muestra fresca en los tubérculos por tratamiento de fertilización

TRATAMIENTO	NITRATOS	FOSFATOS
T1	264.35 (191.3)	675.67 (250)
T2	339.85 (93.8)	482.59 (218)
T3	177.86 (189.6)	860.66 (418)
T4	382.64 (279.1)	797.80 (380)

Los contenidos de fosfatos encontrados no resultan perjudiciales para la salud (Weiner et al., 2001). La papa se considera un cultivo que acumula un nivel bajo de nitratos, aproximadamente presenta una cantidad menor a 200 mg/kg (Moreno-Mariño et al., 2016), valores semejantes a los obtenidos en el estudio para el tratamiento 3, ver tabla 1. Por otro lado, se ha demostrado que las hojas son las más propensas a la acumulación de nitratos, como por ejemplo, en las hortalizas de hoja verde son las presentan mayores valores de estos (Parks, 2008). Sin embargo, estudios han demostrado que la retención de nitratos en las papas depende de la dosis de fertilizante empleada (Cutipa Chura, 2007), por lo que no se debe exceder en la fertilización. Para establecer la relación de los nitratos con la dosis de fertilización se realizó un ANOVA, se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas,  $p > 0.05$ , con respecto a la concentración de nitratos por localización (hileras o columnas). El mismo resultado fue encontrado para el caso de fosfatos,  $p > 0.05$ . Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas en contracciones de nitratos o fosfatos por tratamiento,  $p > 0.05$ .

En este estudio no se encontraron diferencias entre la producción de papa obtenida con los diferentes grupos de cultivos por dosis de fertilizante, lo cual ha sido similar a lo encontrado en otro estudio en el cual se ha reportado la falta de rendimiento en la producción agrícola a pesar del alto uso de pesticidas y fertilizantes (Scarlato et al., 2022). Lo que indica que no es necesario incrementar la dosis de fertilizantes o pesticidas para obtener mayor productividad, alternativa tampoco recomendable si consideramos los efectos en la salud y el medioambiente. Desde el punto de vista del cultivo la aplicación de agroquímicos provoca la resistencia a ciertas plagas y enfermedades

El contenido de nitratos encontrado en las muestras de agua alcanzó el valor promedio de 5.89 mg/L, que según la normativa nacional la califica como de ligera restricción (TULSMA, 2018). 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, siendo (<5 mg/l ninguna restricción), (5 mg/l ligera restricción), (30 mg/l moderada restricción) y (>30 mg/l severa restricción) (TULSMA, 2018). 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 71.585 mg/L, un valor que se considera aceptable según TULSMA.

Con respecto al suelo, en el estudio inicialmente se encontró 709.92 mg/kg de nitratos y posterior a la siembra se encontró una mayor cantidad 990.77 mg/kg, esto es posible que se deba a la mayor movilidad y disponibilidad de nitratos en suelo gracias a la fertilización convencional (Acevedo et al., 2011). Sin embargo, la diferencia no resultó significativa, de acuerdo a la prueba de Wilcoxon,  $p > 0.05$ . El contenido de fosfatos en el suelo no muestra acumulaciones 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 resultó no significativos.

### **3.2 Pesticidas**

Estos se encontraron en todos los casos bajo los límites de detección del equipo.

### **3.3 Metales**

En la tabla 2 se observan las medias para cada tratamiento de la concentración de los metales tóxicos analizados. Los metales analizados se encontraron en concentraciones bajas. Por ejemplo, metales normados como Pb y Ce no exceden los límites permitidos por Codex Alimentarios (2019) en donde el valor referencial es de 0.1 mg/kg tanto para Pb como para Cd. Valores similares a los encontrados en este estudio, se presentaron en un estudio sobre tres variedades de papa obtenidas en el principal mercado mayorista de Lima, Perú, donde 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 (Leavit et al., 2020). Por otro lado, en tubérculos del centro de abastos de Tunja, Colombia se encontró que la concentración promedio del Pb y del Cd estuvieron entre 0.085 a 0.150 mg/kg y 0.210 a 0.440 mg/kg respectivamente (Moreno C et al., 2015). En estudios en Perú, Camas y Vaqui (2016), reportaron concentraciones de Cd

en tubérculos de papa, máximo 0,44 ppm y mínimo 0,00 ppm (Camas Soplin & Valqui Reina, 2016). 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 Chuquiyaury, 2021).

**Tabla 2:** Concentraciones de metales tóxicos mg/L en tubérculos de *S. tuberosum* bajo los tratamientos de fertilizantes químicos, T1, T2, T3 y T4.

Metal	LMP (mg/kg)	T 1	T 2	T 3	T 4
		Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)
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)

En la tabla 3, observamos el contenido de otros metales, los cuales no representan peligro a la salud. Los resultados encontrados en este estudio para los metales Na, Ca, K y Mg son inferiores a los encontrados en la isla Tenerife, España (Luis González, 2014). Mientras que la concentración media para las variedades de papa estudiadas en Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ni, Cd y Pb son mayores que las medias encontradas en este estudio (Luis González, 2014). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de los metales estudiados por tratamiento, en todos los casos  $p > 0.05$ , lo que indica que los fertilizantes no aportan con metales como es de esperarse.

**Tabla 3:** Concentración de metales mg/kg en tubérculos de *S. tuberosum*, bajo los tratamientos de fertilizantes químicos.

Metal	T1	T2	T3	T4
	Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)

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)

En la tabla 4 se muestran las concentraciones de metales pesados en el suelo, donde no se encontraron residuos de cadmio antes ni después de la siembra. eso quiere decir que en relación con los límites establecidos en la normativa TULSMA para “Criterios de calidad del recurso suelo” están por debajo del límite admisible, por ende, no presentan peligro alguno.

**Tabla 4.** Contenido de metales pesados y trazas en el suelo mg/kg en el cultivo de *S. tuberosum* antes y posterior a la siembra

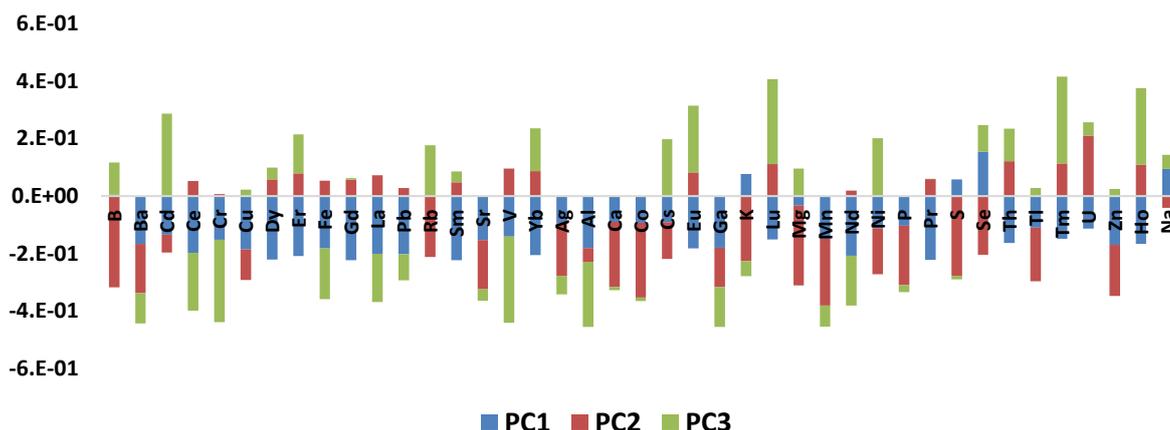
Metal	LMP (mg/kg)	Suelo Antes		Suelo Después	
		Media	DE	Media	DE
As	5	0.000	0.000	0.000	0.000
Cd	0.5	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	2.5	0.083	0.007	0.131	0.032
Cu	30	0.013	0.005	0.005	0.000
Fe	-	0.476	0.017	0.634	0.136
Pb	25	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	10	0.000	0.000	0.001	0.000
Zn	60	0.013	0.011	0.000	0.000

Para el caso del agua, tabla 5, se observan la mayoría de los metales tóxicos (As, Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Zn, Pb) están por debajo de límite establecido en la normativa para “Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola”.

**Tabla 5.** Contenido de metales tóxicos y trazas en el agua mg/L utilizado para el cultivo de *S. tuberosum*

Metal	LMP	Agua	
Metal	(mg/kg)	Media	DE
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

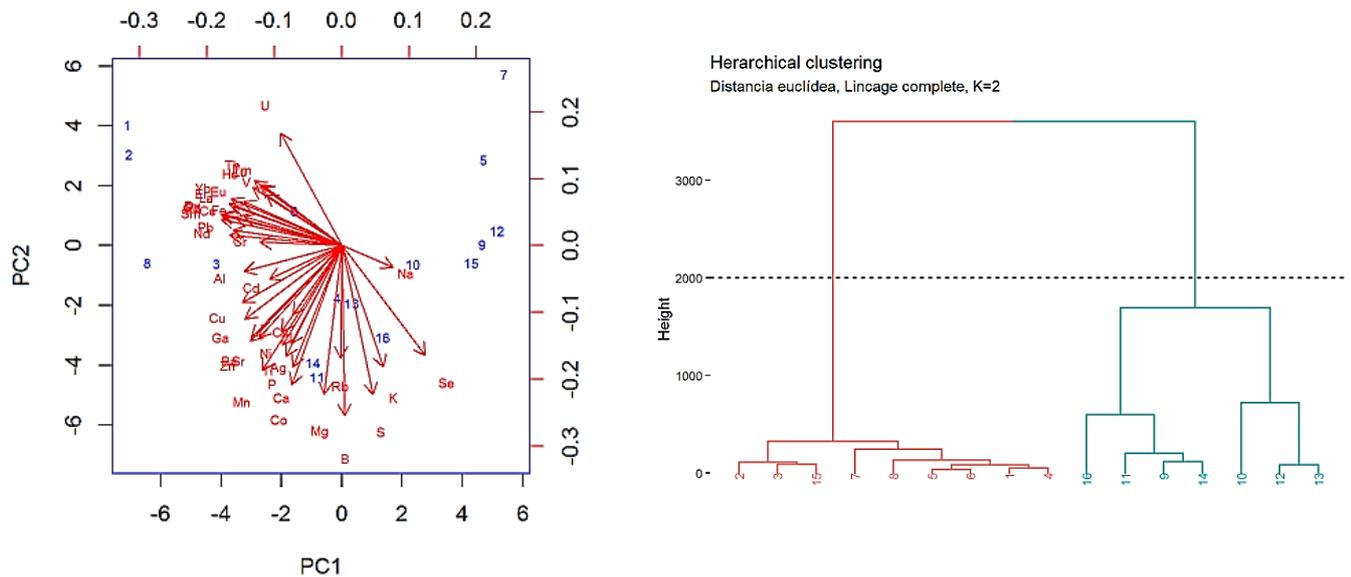
En el análisis de componente principales para metales en tubérculos arrojó que sumando los 2 primeros componentes principales tenemos 66.4 % de la varianza acumulada y sumando los 3 primeros tendríamos 77.9 % de la varianza total acumulada. En la Fig. 3 se puede observar la contribución de cada variable (metal), en las componentes principales (CP): PC1, PC2 y PC3. La 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. En la componente 3 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 %.



**Figura 3:** Contribución de las variables en las componentes 1, 2 y 3

En la Fig. 4 se observa que se forman grupos con variables de características similares. grupos como las parcelas 1, 2 de los tratamientos T1 y T2 respectivamente; 14, 11 de los tratamientos T2 y T3; 15, 9 y 12 de los tratamientos T3, T1 y T4. Además, podemos observar que los metales como el Boro (B), Azufre (S), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Cobalto (Co) se encuentran perpendiculares al eje de PC1, lo que significa que tiene poca o nula aportación de varianza acumulada en este componente, a su vez, presenta una alta aportación para la PC2. Un caso similar sucede con los metales Samarium (Sm), Gadolinio (Gd), Praseodimio (Pr) y Disproseo (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. También se puede observar que los metales que se encuentran en sentidos contrarios presentan una correlación negativa. El ejemplo más claro es el Uranio (U) y el Selenio (Se). La Fig. 4.b del dendrograma de clúster agrupa las parcelas experimentales en 2 clúster, se puede observar que la agrupación se dió por ubicación y no por tratamiento, ej. Las muestras del 1 al 8 están agrupadas en el primer clúster mientras que exceptuando la muestra 15, el resto se encuentran en el clúster 2. Dado estos resultados, se puede indicar que el contenido de metales dependerá del contenido de metales en el suelo. Al buscar diferencias significativas entre metales por posición se encontraron las mismas entre los siguientes metales: As, Ce, Se, U, K, Mg, Na; donde se tienen mayores concentraciones en las parcelas bajas, por lo que se considera que la inclinación del terreno favorece que se de un lixiviado durante lluvias y riego y que este se

deposite en la parte baja del terreno.



**Figura 4:** a. Representación de las componentes 1 y 2 b. Dendrograma de clúster para metales en papa.

#### 4. |CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que el contenido de iones (nitratos y fosfatos) no se ve afectado por las dosis de fertilizantes que se aplicaron. 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. Podemos concluir también que el contenido de metales en los tubérculos de *S. tuberosum* no se vio influenciado por el tratamiento, 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 a pesar que el lote fue homogeneizado a través de arado antes de empezar el estudio y también debido que la topografía del terreno que favoreció que los lixivios fluyan desde la parte superior a la inferior del terreno.

Se recomienda implementar estudios pilotos y monitorear la acumulación de metales a mediano y largo plazo, para contribuir con más evidencia a la toma de decisiones más firmes y direccionar las estrategias que aseguren la producción sostenible y aseguren la salud de las personas. En estas estrategias deben involucrarse varios sectores incluidos las autoridades gubernamentales, la academia y la sociedad civil. Este estudio es el primero realizado al sur de la zona andina del Ecuador con uno de los alimentos de mayor consumo de esta locación. Es necesario realizar otros estudios con otras variedades de papas u otros alimentos que tengan diferentes tiempos de cultivo, a fin de determinar si hay mayor acumulación al aumentar el tiempo y la cantidad de insumos químicos administrados. Además, se recomienda realizar estudios de resiembra para determinar si la explotación continua del mismo suelo de cultivo, conlleva acumulación de estos componentes y por tanto mayor transferencia a los cultivos.

**Contribuciones de los autores:** para artículos de investigación con varios autores, se debe proporcionar un breve párrafo que especifique sus contribuciones individuales. Se deben utilizar las siguientes afirmaciones “Conceptualización, V.P.; metodología, V.P.; software, V.P., A.S. y A.Z. ; validación, A.V., X.P. y MD.T; análisis formal, A.P. y P.T.; investigación, A. S. y A. Z.; recursos, A.V.; curación de datos, A.P. y P.T.; escritura preparación del borrador original, A. S., A. Z. y V.P.; redacción revisión y edición, V.P.; supervisión, V.P, X.P., A.P. y P.T.; administración de proyectos, V.P.; adquisición de fondos, A.V. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.”

**Financiamiento:** "Esta investigación fue financiada por la Universidad de Cuenca y la Universidad del Azuay en marco del proyecto: Levantamiento de línea base en análisis de metales tóxicos, aniones y pesticidas en muestras de tomate, cebolla y papa.

**Declaración de disponibilidad de datos:** Todos los datos están incluidos en el artículo.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## REFERENCIAS

Acevedo, C., Álvarez-Sánchez, M. E., & Hernández-Acosta, E. (2011). *Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional*. 8.

- Benítez-Leite, S., Macchi, M., & Acosta, M. (2009). Malformaciones Congénitas Asociadas a Agrotóxicos. *Revista chilena de pediatría*, 80(4). <https://doi.org/10.4067/S0370-41062009000400010>
- Camas Soplín, D. E., & Valqui Reina, X. de J. (2016). Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* sp.) De la localidad Cohechán, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento Amazonas—2016. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM / Repositorio Institucional - UNTRM*. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1508>
- Crissman, C., Espinosa A., P., & Barrera, V. H. (2002). *El uso de plaguicidas en la producción de papa en Carchi*. Quito, EC: CIP/INIAP, 2002. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3314>
- Cutipa Chura, 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). *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/604>
- Davies, B. E., & Crews, H. M. (1983). The contribution of heavy metals in potato peel to dietary intake. *Science of The Total Environment*, 30, 261–264. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(83\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(83)90018-9)
- Feka, F., Musa, F., Musa, M., Behrami, B., Zeka, H., & Kosovo, P. (2017). *Investigation on heavy metal contaminations of potato tubers grown in different production sites in vushtrri. Kosovo*.
- Gandarillas, A., & Ortuño, N. (2009). *Compendio de enfermedades, insectos, nematodos y factores abióticos que afectan el cultivo de la papa en Bolivia* (PROINPA). <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Plagas%20de%20la%20papa/Otras%20plagas/pdf16.pdf>
- Gholami, L., & Rahimi, G. (2021). Efficiency of CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S–modified biochar derived from potato peel on the adsorption and fractionation of cadmium, zinc and copper in contaminated acidic soil. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100468. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100468>
- 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. <https://doi.org/10.25054/22161325.712>
- Haby, M. M., Chapman, E., Clark, R., & Galvão, L. A. C. (2016). Agriculture, food, and nutrition interventions that facilitate sustainable food production and impact health: An overview of systematic reviews. *Rev Panam Salud Publica*, 9.
- Kromann, P., & Cuasapaz, P. (2017). *Libro de memorias. VII Congreso Ecuatoriano de la Papa. Adaptación al cambio climático*. International Potato Center. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/83309>
- Leavit, L., Mesías, G., Frescia, M., Nelson, B., Gloria, M., & Denisse, O. (2020). Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima-Perú). *Ciencia e Investigación*, 23(1), Article 1. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i1.18719>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

- Lozares-Colina, C., & López-Roldán, P. (1991). El análisis de componentes principales: Aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers. Revista de Sociologia*, 37, 31–63. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1595>
- Luis González, G. (2014). *Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife: Evaluación toxicológica*. Universidad de La Laguna. Servicio de Publicaciones. <https://riull.uill.es/xmlui/handle/915/69>
- Moreno C, B., Soto O, K., & González R, D. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 199–205. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200013>
- Moreno-Mariño, Y. L., Mauricio García-Colmenares, J., & Chaparro-Acuña, S. P. (2016). Cuantificación voltamétrica de plomo y cadmio en papa fresca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.114>
- Ordóñez, V., Frías, M., Parra, H., & Martínez, M. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Rev. Toxicol*, 36, 148–153.
- Pallo-Paredes, E. L. P., Guapi-Auquilla, A. P. G., & Mullo-Paucar, M. V. M. (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua. *Siembra*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>
- Parks, S. (2008). *Boletín informativo 39 de la Red de Hidroponia*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin21/default.htm>
- Racines, M., Cuesta, X., Rivadeneira, J., & Pantoja, J. (2021). *IX congreso ecuatoriano de la papa*. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5746/1/iniapsc407.pdf>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz-Lagos, M., & González-Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Scarlato, M., Dogliotti, S., Bianchi, F. J. J. A., & Rossing, W. A. H. (2022). Ample room for reducing agrochemical inputs without productivity loss: The case of vegetable production in Uruguay. *Science of The Total Environment*, 810, 152248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152248>
- TULSMA. (2018). *Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- US EPA, O. (2019, June 10). *EPA Method 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry [Data and Tools]*. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-2008-determination-trace-elements-waters-and-wastes-inductively-coupled-plasma-mass>
- Variedades de papa – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador*. (n.d.). Retrieved May 16, 2022, from <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/>
- Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Rodrigues, A. C., Márquez, N., & Espinosa, W. (2020). Partition of biomass and nitrogen in a potato crop under three nitrogen fertilization treatments. *Siembra*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2235>

- Vincula Chuquiyauro, G. R. (2021). Determinación de las concentraciones de plomo y mercurio en la papa Blanca, Amarilla y Huayro que se comercializan en los mercados de Huánuco – 2019. *Universidad de Huánuco*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2633>
- Viteri, A., Regalado, H., & Toaza, A. (2020). Identificación de *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas marginalis*, causante del síndrome de desorden del peridermo “PINK EYE” en papa. *ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.108>
- Viteri-Robayo, C., Camino-Naranjo, M., RobayoPoveda, D., Moreno-Dávila, T., & Ramos-Jácome, M. (2020). Alimentos sagrados en la cosmovisión andina. *Ciencia e Interculturalidad*, 27(02), Article 02. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- 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: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 39(8), 759–786. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(01\)00028-x](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(01)00028-x)
- Ye, Y., Dong, W., Luo, Y., Fan, T., Xiong, X., Sun, L., & Hu, X. (2020). Cultivar diversity and organ differences of cadmium accumulation in potato (*Solanum tuberosum* L.) allow the potential for Cd-safe staple food production on contaminated soils. *Science of The Total Environment*, 711, 134534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134534>