EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN VARIEDADES DE UN TUBÉRCULO ANDINO

Assessment of metal content in varieties of an Andean tuber

DOI…..

AUTORES: Jorge Alexander Briceño Carrasquel [1]

Carlos Humberto Aguas Changoluisa [2]

Liceña Elizabeth Moposita Llundo [3]

Mónica del Pilar Silva Ordóñez [4]*

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: jbriceno@ueb.edu.ec

Fecha de recepción: 06/ 12/ 2024
Fecha de aceptación: 13/ 12/ 2024

RESUMEN

La evaluación de metales en cultivos agrícolas es importante para garantizar tanto la calidad nutricional como la inocuidad alimentaria. En este estudio, se analizó el contenido de metales en cinco variedades de melloco (*Ullucus tuberosus*), un tubérculo andino importante en la dieta de la población nativa de Ecuador. Se utilizó un espectrofotómetro de PG Instrument con un sistema de doble atomización. Para la determinación de Cu, Fe, K, Mg, Mn y Zn se empleó atomización por llama con una mezcla de aire-acetileno, mientras que, para Cd, Co, Ni, Pb y Sr se usó atomización con horno de grafito. Los resultados se compararon con los valores establecidos por el Codex Alimentarius para tubérculos y raíces, ya que no existe una normativa específica que regule los límites máximos permitidos de metales en el melloco. Se encontraron concentraciones en mg de metal/kg de melloco en base húmeda para Cu (1,3-9,3), Fe (5,9-8,1), K (1549-2600), Mg (80-109), Mn (0,83-1,20), Zn (2,6-3,8), Cd (0,009-0,013), Co (0,025-0,040), Ni (0,290-0,372), Pb (0,041-0,096) y Sr (0,166-0,464), las cuales no excedieron los límites permitidos por las normativas consultadas. Esto sugiere que el consumo de este tubérculo no representa un riesgo de

1Químico, PhD Química Analítica, Universidad Estatal de Bolívar, jbriceno@ueb.edu.ec. https://orcid.org/0000-0002-0692-1228

[2] Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria de Ecuador, Especialidad: Física y Química, Universidad Estatal de Bolívar, caguas@ueb.edu.ec. https://orcid.org/0009-0004-2242-5373

[3]Ing. Bioquímica, Unidad Educativa Atenas, elizabeth.cielo1994@gmail.com. https://orcid.org/0009-0006-2457-3550

[4]Máster en Docencia Universitaria y Administración Educativa Universidad Técnica de Ambato, mdp.silva@uta.edu.ec. https://orcid.org/0000-0001-8887-1553*

exposición a metales pesados, lo que refuerza su valor como alimento seguro y nutritivo para la población. Además, estos resultados respaldan la comercialización del melloco tanto a nivel local como internacional, destacando su potencial en mercados preocupados por la inocuidad alimentaria.
Palabras clave: *cadmio, melloco, níquel, Ullucus tuberosus.*

ABSTRACT

The assessment of metals in agricultural crops is necessary to ensure both nutritional quality and food safety. In this study, the metal content in five varieties of melloco (*Ullucus tuberosus*), an important Andean tuber in the diet of Ecuador's native population, was analyzed. A PG Instruments spectrophotometer with a dual atomization system was used. Flame atomization with an air-acetylene mixture was employed for the determination of Cu, Fe, K, Mg, Mn, and Zn, while graphite furnace atomization was used for Cd, Co, Ni, Pb, and Sr. The results were compared to the values established by the Codex Alimentarius for tubers and root vegetables, as there is no specific regulation governing the maximum permissible metal limits for melloco. Metal contents in mg of metal/kg of fresh melloco were found as follows: Cu (1.3–9.3), Fe (5.9–8.1), K (1549–2600), Mg (80–109), Mn (0.83–1.20), Zn (2.6–3.8), Cd (0.009–0.013), Co (0.025–0.040), Ni (0.290–0.372), Pb (0.041–0.096), and Sr (0.166–0.464). None of these concentrations exceeded the permissible limits set by the consulted regulations. This suggests that consuming this tuber does not pose a risk of heavy metal exposure, reinforcing its value as a safe and nutritious food for the population. Moreover, these results support the commercialization of melloco both locally and internationally, highlighting its potential in markets focused on food safety.
Keywords*: cadmium, melloco, nickel, Ullucus tuberosus.*

INTRODUCCIÓN

La evaluación de metales en cultivos agrícolas es importante para garantizar tanto la calidad nutricional como la inocuidad alimentaria, especialmente en regiones donde los suelos presentan características geológicas particulares o han sido sometidos a actividades antropogénicas que alteran sus condiciones naturales (Briceño et al., 2020). En el caso de los tubérculos andinos, su cultivo y consumo desempeñan un papel clave en la seguridad alimentaria de las comunidades locales, al ser una fuente importante de nutrientes esenciales. Sin embargo, estos cultivos también pueden acumular metales en concentraciones que, si bien son fundamentales en cantidades traza, pueden llegar a ser perjudiciales cuando se exceden ciertos límites (Toledo et al., 2023).

El melloco es un tubérculo andino nativo que se cultiva en toda Sudamérica, extendiéndose desde Venezuela hasta el norte de Argentina. Es el segundo tubérculo más popular en Ecuador, después de la papa (Pacheco et al., 2020). Forma parte del inventario de plantas

utilizadas en la medicina andina para preparaciones, entre bebidas, gachas, guisos, sopas y platos envueltos que se convierten en parte integral de las rutinas diarias, los hábitos alimenticios y las tradiciones festivas ecuatorianas (Artieda-Ponce et al., 2021; Zurita-Gallegos et al., 2024). En cuanto al contenido nutricional, el melloco presenta un bajo contenido de almidón de digestión rápida, almidón de digestión lenta y un índice glucémico estimado bajo, con un nivel intermedio de almidón resistente (Cornejo et al., 2022).

Los pueblos indígenas han insertado las prácticas agrícolas y dietéticas, como elementos centrales del movimiento agroecológico del país. Dentro de estos elementos destacan aquellos que se consumen comúnmente y son de fácil acceso en los mercados: altramuz andino, melloco, quinua, camote, zanahoria blanca, como aquellos que son reconocidos localmente como subutilizados, amaranto, yacón, oca, mashua, hoja de amaranto, hoja de quinua (Deaconu et al., 2021).

Con una biodiversidad considerable, Ecuador enfrenta un alto impacto ambiental, especialmente por las erupciones volcánicas. Algunas han ocurrido en diferentes episodios y magnitudes, afectando el ambiente según la zona de erupción. Los principales impactos incluyen la alteración de la calidad del aire, daños en cuencas hidrográficas, suelos, agricultura y ganadería (Hidalgo et al., 2023). Investigaciones han señalado una disminución significativa en el rendimiento de todos los cultivos afectados por la ceniza volcánica y han reportado pérdida de rendimiento en cada tipo de cultivo (Ligot et al., 2024).

El análisis de los contenidos de metales en productos agrícolas se ha abordado con diversas técnicas, siendo la espectrometría de absorción atómica (AAS) con llama y horno de grafito métodos ampliamente validados por su precisión, sensibilidad y capacidad para cuantificar una amplia gama de elementos a niveles traza. En particular, el uso del horno de grafito permite analizar metales en concentraciones extremadamente bajas, mientras que la técnica de llama es ideal para la determinación de elementos en concentraciones moderadas a altas (Maxhuni et al., 2023). Estas técnicas ofrecen ventajas tanto en términos de eficiencia como de precisión analítica, permitiendo un análisis detallado de los perfiles de metales en matrices complejas como los tubérculos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de metales en diferentes variedades de un tubérculo andino, utilizando espectrometría de absorción atómica de llama y horno de grafito. La investigación se enfocó en determinar los niveles de metales esenciales como el hierro, zinc y cobre, aquellos metales considerados potencialmente tóxicos como el cadmio, plomo y arsénico, que podrían comprometer la seguridad alimentaria si están presentes en niveles elevados. La caracterización de metales en estos tubérculos andinos contribuye al desarrollo de estrategias agrícolas sostenibles, orientadas a la producción de alimentos seguros y de alta calidad, en armonía con las prácticas tradicionales de la región.

METODOLOGÍA

Selección de las muestras

Las cinco muestras de *Ullucus tuberosus* de 5 kg cada una fueron recolectadas en diferentes mercados mayoristas y puntos de distribución. En la ciudad de Ambato se adquirieron muestras de melloco rojo y amarillo, mientras que en la parroquia de Santa Rosa se obtuvo melloco blanco. En la ciudad de Riobamba se recolectaron las variedades gallito y caramelo.

Adecuación de las muestras

Las muestras de *Ullucus tuberosus* fueron sometidas inicialmente a un proceso de limpieza con agua destilada para eliminar residuos de tierra y otros contaminantes superficiales. Las muestras limpias fueron troceadas en pequeñas secciones homogéneas y secadas en un horno de convección a 60 °C durante 48 horas, para luego ser molidas en un mortero de porcelana y tamizadas con una malla con aberturas No. 60 de 250 µm hasta obtener un polvo fino y homogéneo. Aproximadamente 0,5 g de esta muestra pulverizada se sometió a digestión ácida asistida por microondas, utilizando una mezcla de ácido nítrico, HNO_3 y ácido perclórico, $HClO_4$, empleando las condiciones recomendadas por el fabricante para asegurar la disolución completa de la matriz orgánica. Tras la digestión, las soluciones fueron filtradas con microfiltros de Nylon de 13 mm de diámetro y con tamaño de poro de 0,45 µm y se aforó a 25 ml con HNO_3 0,14M.

Evaluación del contenido de humedad

El contenido de humedad en las muestras de melloco se determinó utilizando una balanza infrarroja METTLER TOLEDO HX 2014 Moisture Analyzer. Se pesó aproximadamente 3 gramos de muestra fresca directamente en la bandeja de la balanza y se estableció una temperatura de trabajo de 150°C. La balanza utilizó un criterio de secado de 1 mg/50 segundos para finalizar el proceso, lo que asegura que el secado continuara hasta que la pérdida de peso de la muestra fuera inferior a este umbral durante el tiempo especificado. Este procedimiento permitió una determinación rápida y precisa del contenido de humedad, reduciendo considerablemente el tiempo de análisis comparado con métodos tradicionales como el secado en estufa (Soto Núñez, 2022).

Cuantificación del contenido de metales

La determinación de los metales cadmio, cobalto, níquel, plomo, estroncio, potasio, magnesio, manganeso, cobre, hierro y cinc en las muestras de melloco se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro de fuente de línea de PG Instruments, modelo AA500. Se emplearon dos sistemas de atomización, el atomizador de llama y el horno de grafito, seleccionados en función de la concentración esperada de cada metal (Jolaosho et al., 2024). El atomizador de llama se utilizó para los metales mayoritarios como potasio, magnesio, manganeso, cobre, hierro y cinc, mientras que el horno de grafito, que ofrece mayor sensibilidad, fue empleado para los metales minoritarios como cadmio, cobalto, níquel, plomo y estroncio (Dokht Khatibi, 2024). El

equipo estuvo equipado con una lámpara de deuterio, D_2, para la corrección de la absorbancia inespecífica, mejorando así la precisión de las mediciones.
Para las curvas calibración se utilizaron estándares monoelementales acuosos certificados de AccuStandard, New Haven, USA, siguiendo las recomendaciones del fabricante del instrumento para cada uno de los elementos estudiados. Los patrones fueron diluidos a partir de soluciones madre de 1000 mg/L con ácido nítrico 0,14 M en agua purificada del sistema Milli Q de Thermo Scientific, Inglaterra, UK. Los patrones se prepararon el mismo día de las mediciones para garantizar su estabilidad, y en casos donde fue necesario, se realizaron diluciones adicionales con HNO_3 0,14 M para ajustar las concentraciones a las esperadas en las muestras de melloco. Finalmente, la determinación de los metales en las muestras se llevó a cabo mediante la comparación directa de las absorbancias obtenidas frente a las curvas de calibración preparadas con los patrones monoelementales.
RESULTADOS
Las cinco variedades de melloco seleccionadas se muestran en la Figura 1.



A. Melloco Amarillo | **B.** Melloco Blanco | **C**. Melloco Caramelo | **D.** Melloco Gallito | **E.** Melloco Rojo

Figura 1: Variedades de Melloco estudiadas.

La humedad representa un mecanismo de transporte de sustancias y nutrientes. En la Tabla 1 nos demuestra el contenido de humedad de las 5 variedades de melloco.

Tabla 1. Contenido de humedad de las muestras de melloco.

Tipo de melloco	Amarillo	Blanco	Caramelo	Gallito	Rojo
Humedad [%]	89,72 (0,08)	85,40 (0,03)	88,16 (0,07)	84,68 (0,07)	87,24 (0,03)

Los datos corresponden a los promedios y entre paréntesis a la desviación estándar para n=5.

En la tabla 2 se muestran los resultados del contenido de metales expresados en mg metal/kg melloco para los elementos minoritarios determinadas con horno de grafito.

Tabla 2. Metales minoritarios en las variedades de melloco analizados por atomización con horno de grafito.

Melloco	Cd	Co	Ni	Pb	Sr
Amarillo	0,011 (0,001)	0,040 (0,002)	0,35 (0,03)	0,058 (0,008)	0,25 (0,02)
Blanco	0,009 (0,001)	0,025 (0,002)	0,37 (0,03)	0,041 (0,003)	0,19 (0,02)
Caramelo	0,016 (0,001)	0,033 (0,003)	0,30 (0,02)	0,092 (0,007)	0,37 (0,03)
Gallito	0,011 (0,001)	0,029 (0,004)	0,29 (0,01)	0,096 (0,002)	0,46 (0,05)
Rojo	0,013 (0,001)	0,029 (0,003)	0,34 (0,03)	0,072 (0,009)	0,17 (0,02)

Los datos corresponden a los promedios y entre paréntesis a la desviación estándar con n=5.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del contenido de metales expresados en mg metal/kg melloco para los elementos mayoritarios determinadas con llama de aire - acetileno.

Tabla 3. Metales mayoritarios en las variedades de melloco analizados por atomización con llama.

Melloco	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Zn
Amarillo	1,25 (0,07)	7,6 (0,5)	2600 (104)	94 (7)	0,83 (0,06)	3,8 (0,3)
Blanco	1,50 (0,09)	6,0 (0,4)	1992 (137)	80 (4)	0,84 (0,05)	2,6 (0,2)
Caramelo	7,0 (0,3)	8,1 (0,4)	1549 (36)	104 (2)	1,08 (0,07)	2,8 (0,2)
Gallito	4,4 (0,2)	6,6 (0,5)	1823 (191)	109 (3)	1,20 (0,06)	2,9 (0,1)
Rojo	9,3 (0,4)	6,6 (0,4)	1997 (115)	84 (6)	0,88 (0,07)	3,6 (0,3)

Los datos corresponden a los promedios y entre paréntesis a la desviación estándar con n=5.

DISCUSIÓN

Contenido de humedad

El contenido de humedad estuvo entre 84,68% a 89,72%, este es uno de los elementos que determinan el grado de madurez de un producto (Espín et al., 2004). En todos los casos hubo diferencia significativa para un 95 % de confianza. El contenido de humedad más alto se encontró en la variedad de melloco amarillo (89,72%), mientras que la variedad gallito presentó el valor más bajo (84,68%). Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores genéticos propios de cada variedad, así como con las condiciones de cultivo, incluyendo la composición del suelo, el régimen hídrico y las técnicas agrícolas empleadas en las distintas zonas de cultivo.

La variedad de melloco amarillo, con el mayor contenido de humedad, sugiere una estructura celular que retiene más agua, lo cual podría influir en su textura, sabor y tiempo de cocción, características relevantes para su consumo. Por otro lado, la variedad gallito, al tener el contenido de humedad más bajo, podría ser más resistente a la deshidratación, lo que le conferirá una mayor vida útil en almacenamiento sin necesidad de refrigeración, haciéndola potencialmente más adecuada para el transporte y comercialización en mercados lejanos (Salas-Valerio et al., 2019).

Los niveles de humedad en las otras variedades, como el melloco blanco (85,40%), caramelo (88,16%) y rojo (87,24%), presentaron valores intermedios, estos resultados subrayan la diversidad en la composición hídrica de los tubérculos andinos, que puede impactar tanto en su rendimiento agrícola como en sus propiedades culinarias y nutricionales.

Es importante destacar que la baja desviación estándar relativa, RSD, encontrada (% RSD entre 0,034% y 0,089%), indica una alta reproducibilidad y confiabilidad en la información obtenida, lo que refuerza la solidez del análisis experimental. Estos hallazgos también podrían tener implicaciones en la susceptibilidad de las distintas variedades a la contaminación por metales, ya que el contenido de humedad influye en la capacidad de adsorción de ciertos elementos, especialmente en suelos con concentraciones elevadas de metales traza.

Evaluación del contenido de metales

En este estudio, se ha considerado como referencia los valores establecidos por el Codex Alimentarius para tubérculos y raíces, dado que, hasta donde alcanza el conocimiento de los autores, no existe una normativa específica que regule los límites máximos permitidos de metales en el melloco. Estas directrices internacionales ampliamente aceptadas para la seguridad alimentaria, incluye los niveles máximos de algunos metales en productos agrícolas, lo que garantiza la comparabilidad y relevancia de los resultados obtenidos en este análisis (Codex Alimentarius, 2015; EUR-Lex, 2023). El contenido de metal en melloco se expresó en mg metal/kg de materia húmeda.

Para, todos los metales analizados (Cd, Co, Ni, Pb, Sr, K, Mg, Mn, Cu, Fe y Zn), el ANOVA mostró diferencias entre las variedades de melloco con un nivel de confianza del 95%, lo que indicó que hay diferencias importantes en el contenido de estos metales según la variedad de melloco.

Metales determinados con horno de grafito como atomizador

En las 5 variedades de melloco el contenido de cadmio estuvo entre 0,009 y 0,013 mg/Kg. En tallos jóvenes, hortalizas de raíz y tubérculos la cantidad de cadmio no debe exceder los 0,10 mg/kg según la legislación colombiana (Minsalud, 2013). De igual forma para tubérculos y raíces el nivel máximo de cadmio establecido es de 0,10 mg/kg (Codex Alimentarius, 2015). Lo que indicó que el contenido de metal no superó los límites permitidos por las legislaciones.

Para las 5 variedades de melloco el contenido de cobalto fue de 0,025 a 0,040 mg/Kg. Este metal no se encuentra reportado en la norma consultada. El contenido de níquel fue de 0,29 a 0,37 mg/Kg. En otros alimentos fuera de zumos, bebidas alcohólicas y productos hidrogenados la cantidad de níquel no debe exceder los 5 mg/kg según la legislación brasileña (Diaz., 2014)**.** Lo que indicó que el contenido de metal no superó el límite permitido por la legislación.

Para las 5 variedades de melloco se encontró concentraciones de plomo entre 0,041 a 0,096 mg/kg. Para hortalizas y leguminosas el nivel máximo de plomo es de 0,50 mg/Kg en la legislación brasileña (Diaz., 2014), lo que indicó que el contenido de metal no superó el límite permitido por la legislación. En hortalizas la cantidad de plomo no debe exceder los 0,10 mg/kg según la legislación colombiana (Minsalud, 2013). De igual forma, para tubérculos y raíces el nivel máximo de plomo es de 0,10 mg/kg (Codex Alimentarius, 2015).

Respecto al contenido de estroncio para las muestras melloco fue de 0,17 mg/kg a 0,46 mg/kg. Igual que cobalto y níquel, este metal no se encuentra reportado en las normas consultadas.

Análisis de componentes principales para los metales determinados con horno de grafito como atomizador

El análisis de componentes principales, PCA, permitió reducir la dimensionalidad de los datos, revelando que, con dos prime mponentes principales, PC1 y PC2 can conjuntamente el 62,58% de la vari d total en las concentraciones de C Ni, Pb y Sr entre las diferentes variedades de melloco. La Figura 2 ilustra las correlaciones entre las variables analizadas y los PC1 y PC2, el eje vertical muestra la magnitud de la correlación, mientras que el eje horizontal etiqueta las variables correspondientes evaluadas.

PC1

PC2

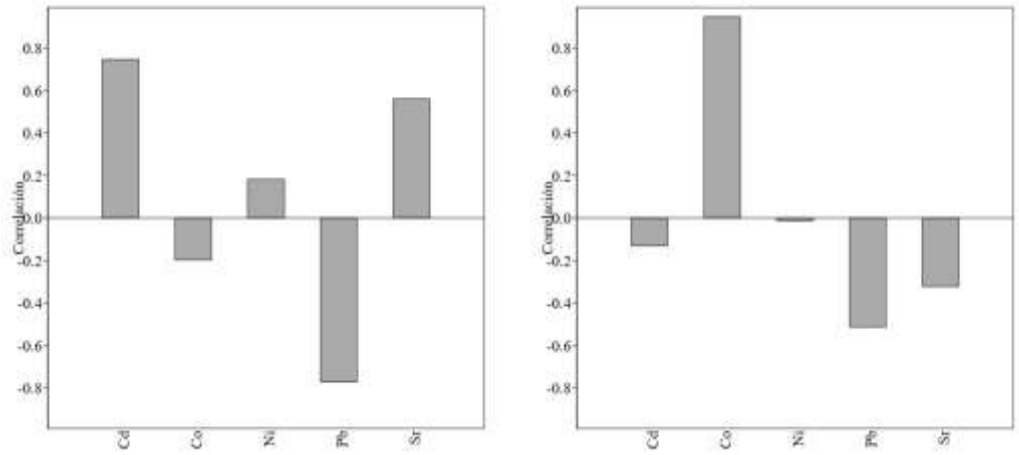


Figura 2: Correlación de los metales minoritarios con los componentes principales.

El PC1, captó el 33,21% de la varianza, Cd y Sr presentaron fuerte relación positiva (0,74 y 0,55 respectivamente), lo que indica que estos elementos contribuyen significativamente a la variación explicada para este componente. El Pb con una correlación negativa fuerte (-0,77), mostró que su influencia está en oposición directa a las direcciones captadas por el primer componente.

El PC2 reveló un patrón distinto al encontrado en PC1, el Co, principal contribuyente a la variabilidad explicada por este componente mostró una fuerte correlación positiva (0,94). En contraste, el Cd presentó una correlación negativa moderada (-0,20), con influencia menos significativa que la de Co.

Metales determinados con el atomizador de llama

Para las 5 variedades de melloco la concentración de cobre se mantuvo entre 1,25 a 9,3 mg/Kg. En Frutas, hortalizas y semillas oleaginosas naturales e industrializadas la cantidad de cobre no debe exceder los 10 mg/kg según la legislación brasileña (Diaz., 2014). Lo que indicó que el contenido de metal no superó el límite permitido por la legislación consultada. Para las variedades de melloco el contenido de hierro fue de 6,0 a 8,1 mg/kg, este metal no se encuentra reportado en las normas consultadas. Respecto a las concentraciones encontradas para el potasio, estuvo entre 1549 a 2600 mg/kg. En la medición del potasio se adicionó cloruro de lantano al 5 % para evitar posibles interferencias de ionización **(AOAC, 2000)**. La OMS recomienda una ingesta de potasio de al menos 3510 mg/día en adultos (OMS, 2013).

El contenido de magnesio para las muestras estudiadas estuvo entre 80 mg/kg a 109 mg/kg. Se utilizó cloruro de lantano al 5% para evitar las interferencias causadas por el fosfato en las determinaciones de magnesio. Según lo recomendado por la OMS lo permitido de ingesta diaria de magnesio para hombres y mujeres va desde 310-420 mg/día (NIH, 2020). Para las muestras de melloco se encontró concentraciones de manganeso entre 0,83 a 1,20 mg/kg. El consumo de manganeso se basa en 11 mg/día, identificado mediante encuestas dietéticas, en el que no se observan efectos adversos (NIH, 2016)

El contenido de cinc en las muestras evaluadas la concentración se encontró entre 2,6 y 3,8 mg/Kg. Se ha reportado que los micronutrientes metálicos cobre, hierro, manganeso y cinc se transportan como complejos de proteínas de unión a metales dentro del floema del tubérculo (Reid et al., 2003)**.** Los niveles de estos metales en todas las variedades analizadas, estuvieron dentro de los intervalos reportados para tubérculos, leguminosas y cereales similares de varias partes del mundo (Akinyele & Shokunbi, 2015).

Análisis de componentes principales para los metales determinados con el atomizador de llama

El análisis de PCA para este grupo de elementos metálicos, permitió reducir la dimensionalidad de los datos, revelando que los dos primeros componentes principales, PC1 y PC2, explican conjuntamente el 68,6% de la variabilidad total en las concentraciones de Cu, Fe, K, Mg, Mn y Zn entre las diferentes variedades de melloco. La Figura 3 muestra las cargas de las variables originales, las barras reflejan la magnitud de la contribución de cada variable en la construcción de estos componentes.

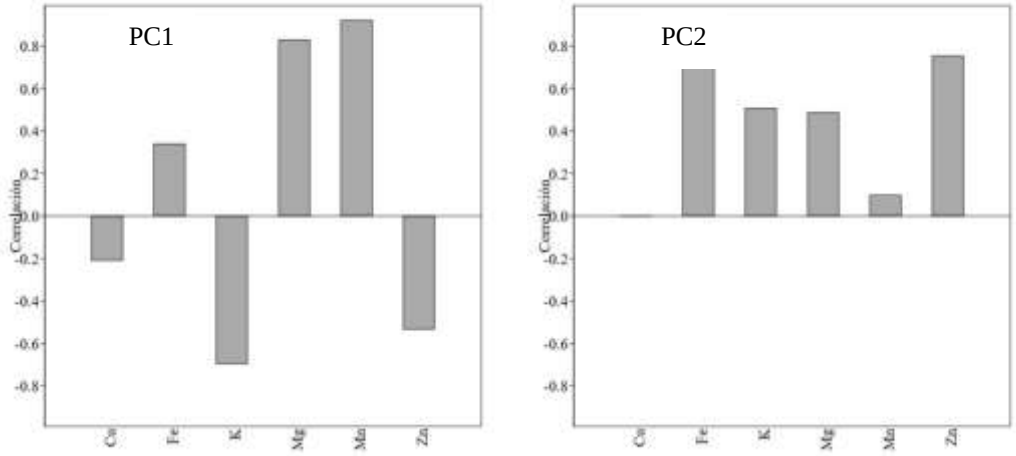


Figura 3: Correlación de los metales mayoritarios con los componentes principales.

Para el PCA1, los principales contribuyentes a la variabilidad explicada fueron el Mg y Mn quienes presentaron las correlaciones más altas, con cargas positivas muy significativas (0,83 y 0,92 respectivamente). En contraste, el K y Zn mostraron correlaciones negativas considerables (-0,70 y -0,53 respectivamente).

En conjunto, este análisis sugiere que la variabilidad principal de los datos estuvo fuertemente influenciada por Mg y Mn, con K y Zn desempeñando un papel importante, pero en dirección opuesta. El resto de las variables mostraron una contribución menor a la estructura de este componente.

Respecto al PCA2, los elementos que contribuyeron de manera importante a la variabilidad explicada fueron el Fe y Zn con correlaciones positivas significativas (0,77 y 0,75 respectivamente). El K y Mg presentaron correlaciones positivas moderadas (en torno a 0,4-0,5). El Mn y Cu, con correlación extremadamente baja, fueron los menos influyentes a la estructura del segundo componente principal.

CONCLUSIONES

Fue evaluado el contenido de cadmio, cobalto, cobre, cinc, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plomo y potasio en cinco 5 variedades de melloco adquiridos en distintos sitos de distribución de Ambato y Riobamba, el contenido de los metales evaluados se encontró por debajo a los exigidos por el Codex Alimentarius para tubérculos y raíces. El contenido de los metales estudiados varió significativamente entre las variedades analizadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por la UEB a través del grupo de investigación GI-02-2017 y por la UTA a través de los proyectos HCU 0194-CU-P-2018 y HCU 0939-CU-P-2016.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akinyele, I. O., & Shokunbi, O. S. (2015). Concentrations of Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni in selected Nigerian tubers, legumes and cereals and estimates of the adult daily intakes. *Food Chemistry*, *173*, 702–708. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.098

Artieda-Ponce, M. P., Macas-Mogrovejo, J. K., Chango-Cañaveral, P. M., & Quezada-Sarmiento, P. A. (2021). *Study on the Agricultural Products of the Towns Loja and Catamayo as a Historical Contribution on the Ecuadorian Gastronomy* (pp. 25–34). https://doi.org/10.1007/978-981-33-4256-9_3

Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M., & Armado, A. (2020). Impact of metal content in agricultural soils near the Tungurahua volcano on the cultivation of Allium fistulosum L. *La Granja*, *32*(2), 114–126. https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09

Codex Alimentarius. (2015). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. *CODEX STAN 193-1995. Adoptada En 1995. Revisión: 2009. Enmienda: 2016*, 76.

Cornejo, F., Salazar, R., Martínez-Espinosa, R., Villacrés, E., Paredes-Escobar, M., Ruales, J., & Penafiel, D. (2022). Evaluation of starch digestibility of Andean crops oriented to healthy diet recommendation. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 1146–1155. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2074036

Deaconu, A., Mercille, G., & Batal, M. (2021). Promoting traditional foods for human and environmental health: lessons from agroecology and Indigenous communities in Ecuador. *BMC Nutrition*, *7*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s40795-020-00395-y

Diaz., A. (2014). *CONTENIDOS MAXIMOS EN METALES PESADOS EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS*. 25.

Dokht Khatibi, A. (2024). Investigation of heavy metal concentrations and determination of estimated daily intake and health risk index infant formula and baby foods in Zahedan in 2020. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences – Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 614–620. https://doi.org/10.14744/sigma.2024.00047

Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización Físico - Química , Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas Para La Conservación y Uso Sostenible En El Ecuador*, 91–116.

EUR-Lex. (2023). *Contenido máximo de determinados contaminantes en los alimentos*. Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/maximum-levels-for-certain-contaminants-in-food.html

Hidalgo, S., Bernard, B., Mothes, P., Ramos, C., Aguilar, J., Andrade, D., Samaniego, P., Yepes, H., Hall, M., Alvarado, A., Segovia, M., Ruiz, M., Ramón, P., & Vaca, M. (2023). Hazard assessment and monitoring of Ecuadorian volcanoes: challenges and progresses during four decades since IG-EPN foundation. *Bulletin of Volcanology*, *86*(1), 4. https://doi.org/10.1007/s00445-023-01685-6

Jolaosho, T. L., Elegbede, I. O., Akintola, S. L., Jimoh, A. A., Ndimele, P. E., Mustapha, A. A., & Adukonu, J. D. (2024). Bioaccumulation dynamics, noncarcinogenic and carcinogenic risks of heavy metals in commercially valuable shellfish and finfish species from the world largest floating slum, Makoko, Nigeria. *Marine Pollution Bulletin*, *207*, 116807. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116807

Ligot, N., Viera, W., Peñaherrera, D., Bernard, B., Bogaert, P., & Delmelle, P. (2024). A quantitative assessment of crop vulnerability to tephra hazard at Tungurahua volcano, Ecuador: understanding the effect of volcanic and biological factors. *Bulletin of Volcanology*, *86*(4), 28. https://doi.org/10.1007/s00445-024-01710-2

Maxhuni, A., Lazo, P., & Berisha, L. (2023). Assessment of the Anthropogenic and Natural Factors on the Level of the Heavy Metals and Biogenic Elements in Soils in Kosovo. *Water, Air, & Soil Pollution*, *234*(7), 452. https://doi.org/10.1007/s11270-023-06443-0

Minsalud. (2013). Niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano. In *Resolution* (pp. 1–10).

NIH. (2016). Sustancias químicas. *Organización Para La Prohibición de Armas Químicas*, 51–104. www.vertic.org/media/assets/nim_docs/International Implementation Assistance Program (IAP) pdfs - CW/Chemical products/Chemical products - Spanish.pdf

NIH. (2020). *Magnesio*. National Institute of Health. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-DatosEnEspanol/

OMS. (2013). Ingesta de potasio en adultos y niños. *Organización Mundial de La Salud*, 1–7.

Pacheco, M. T., Hernández-Hernández, O., Moreno, F. J., & Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, *35*, 100601. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100601

Reid, R. J., Dunbar, K. R., & McLaughlin, M. J. (2003). Cadmium loading into potato tubers: The roles of the periderm, xylem and phloem. *Plant, Cell and Environment*, *26*(2), 201–206. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00945.x

Salas-Valerio, W., Solano-Cornejo, M., Zelada-Bazán, M., & Vidaurre-Ruiz, J. (2019). Three-dimensional modeling of heat transfer during freezing of suspended and in-contact-with-a-surface yellow potatoes and ullucus. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(6). https://doi.org/10.1111/jfpe.13174

Soto Núñez, Y. A. (2022). *Estudio del secado de Physalis peruviana Linnaeus por ventana de refractancia y comparación con secado convectivo y convectivo asistido con*

radiación infrarroja [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187682

Toledo, L., Salmoral, G., & Viteri-Salazar, O. (2023). Rethinking Agricultural Policy in Ecuador (1960–2020): Analysis Based on the Water–Energy–Food Security Nexus. *Sustainability*, *15*(17), 12850. https://doi.org/10.3390/su151712850

Zurita-Gallegos, R. M., Bastidas-Arauz, M. B., Saeteros-Hernandez, A. M., Chávez, R. H. H., & Cardenas-Moyano, M. Y. (2024). The indigenous bioculture of the Pungalá parish of Ecuador an approach to their culinary and medicinal heritage. *Journal of Ethnic Foods*, *11*(1), 6. https://doi.org/10.1186/s42779-023-00219-x