

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS Y ANÁLISIS DE HONGOS MICOTOXIGÉNICOS EN HARINA DE TRIGO DE PRODUCCIÓN NACIONAL, LIMA-PERÚ

Omar Santa Maria Chavez^{*a}, Américo Castro Luna^a, Felix Castillo Morales^a, Norma Ramos Cevallos^a, Dula Balbin Inga^a

RESUMEN

La harina de trigo nacional constituye un producto básico en la alimentación, cuya calidad e inocuidad pueden verse afectadas por contaminantes químicos y microbiológicos. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la presencia de plomo (Pb), cadmio (Cd) y hongos potencialmente micotoxigénicos en muestras de harina de trigo nacional. Las concentraciones de Pb y Cd fueron determinadas mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama, mientras que el análisis micológico se realizó a través de macrocultivo y microcultivo, con aislamiento y caracterización morfológica de cepas en medios selectivos. Los resultados evidenciaron concentraciones de Pb y Cd que superan los límites máximos establecidos por el Codex Alimentarius para cereales y sus derivados, indicando un incumplimiento normativo y un potencial riesgo para la salud pública. En el análisis micotoxigénico se identificó el género *Mucor sp.*, cuya presencia refleja condiciones favorables para el desarrollo fúngico durante el almacenamiento o procesamiento. En conjunto, los hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer el monitoreo de metales pesados y el control microbiológico en la cadena productiva del trigo, a fin de garantizar la calidad e inocuidad de la harina destinada al consumo humano.

Palabras clave: *Plomo, Cadmio, Triticum sp, Fusarium, Penicillium.*

EVALUATION OF HEAVY METALS AND ANALYSIS OF MYCOTOXIGENIC FUNGI IN WHEAT FLOUR OF NATIONAL PRODUCTION, LIMA-PERU

ABSTRACT

Wheat flour is a staple food product whose quality and safety may be compromised by chemical and microbiological contaminants. The present study aimed to determine the presence of lead (Pb), cadmium (Cd), and potentially mycotoxigenic fungi in samples of nationally produced wheat flour. Pb and Cd concentrations were quantified using Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS), while mycological analysis was conducted through macroculture and microculture techniques, including strain isolation and morphological characterization on selective media. The results revealed Pb and Cd concentrations exceeding the maximum limits established by the Codex Alimentarius for cereals and cereal-based products, indicating regulatory non-compliance and a potential

^a Facultad de Farmacia y Bioquímica, Departamento de Química Básica y Aplicada, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Miguel Grau 755, Lima 23, Perú.

^{*}Autor de correspondencia: osantamariac@unmsm.edu.pe

risk to public health due to the toxic and bioaccumulative nature of these metals. Mycotoxigenic analysis identified the genus *Mucor sp.*, whose presence suggests favorable conditions for fungal growth during storage or processing. Overall, these findings underscore the need to strengthen heavy metal monitoring and microbiological control throughout the wheat production chain to ensure the safety and quality of wheat flour intended for human consumption.

Key words: *Plumb, Cadmium, Triticum sp, Fusarium, Penicillium.*

INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos principalmente por hongos de los géneros *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.* y *Fusarium sp.*, los cuales colonizan con frecuencia cultivos de cereales destinados al consumo humano y animal. Estos microorganismos pueden desarrollarse durante el cultivo, almacenamiento o procesamiento del grano, favoreciendo la síntesis de compuestos tóxicos como aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, ocratoxina A y zearalenona⁽¹⁻⁶⁾. La exposición a estas sustancias se ha asociado con efectos adversos relevantes para la salud pública, incluyendo hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, inmunosupresión, alteraciones endocrinas y potencial carcinogénico⁽⁷⁾. En cereales, se han descrito múltiples micotoxinas con impacto sanitario significativo, entre ellas la ocratoxina A, producida por especies de *Aspergillus* y *Penicillium*, reconocida como contaminante frecuente del trigo y sus derivados, con marcada toxicidad renal^(8;9).

En el contexto peruano, la harina de trigo constituye un insumo fundamental para la elaboración de productos de consumo masivo, como pan y pastas, por lo que la posible presencia de hongos micotoxigénicos representa un riesgo potencial para la seguridad alimentaria. Las condiciones de humedad, temperatura y almacenamiento pueden favorecer la proliferación fúngica y la eventual producción de micotoxinas, incluso después del procesamiento del grano, lo que subraya la necesidad de vigilancia microbiológica en productos terminados.

Por otro lado, la inocuidad de los cereales también puede verse comprometida por contaminantes químicos como los metales pesados presentes en suelos agrícolas. En el Perú, la carga natural de elementos como cadmio, mercurio, arsénico, cromo y plomo puede incrementarse debido a actividades antropogénicas, lo que facilita su incorporación a la cadena alimentaria a través de la absorción radicular por las plantas⁽¹⁰⁾. El plomo es un metal altamente tóxico que afecta múltiples sistemas orgánicos, mientras que el cadmio ha sido clasificado como carcinógeno del Grupo I por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer⁽¹¹⁾. Ambos han sido señalados por la Organización Mundial de la Salud entre las sustancias químicas de mayor preocupación para la salud pública, debido a su persistencia y bioacumulación en el organismo⁽¹²⁾.

De acuerdo con el Codex Alimentarius, en el General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995), se establecen límites máximos permitidos para metales pesados en cereales y sus productos derivados, incluyendo la harina de trigo. En este marco, el contenido máximo de cadmio y plomo se fija en 0,2 mg/kg, valores definidos con el propósito de proteger la salud del consumidor y garantizar prácticas comerciales seguras a nivel internacional.

Determinar la concentración de cadmio y plomo, así como identificar la presencia de hongos micotoxigénicos en muestras de harina de trigo de producción nacional

(cosechadas y procesadas en el Perú), con la finalidad de evaluar su calidad sanitaria y su potencial riesgo para la salud del consumidor.

PARTE EXPERIMENTAL

Recolecta y tratamiento de las muestras

El presente estudio se realizó mediante la adquisición de muestras comerciales de harina de trigo de producción y procesamiento nacional, obtenidas en supermercados ubicados en el centro de la ciudad de Lima, Perú, durante el año 2025. Las muestras recolectadas estuvieron compuestas de 3 puntos de muestreos aleatorios para que este fuese lo más representativo posible de cara al consumidor final. Luego, las muestras fueron sometidas a un proceso de homogeneización para obtener una matriz uniforme previa a los análisis. Posteriormente, las muestras homogenizadas fueron almacenadas a baja temperatura, protegidas de la luz y la humedad, hasta su procesamiento analítico correspondiente ⁽¹³⁾.

Determinación de metales pesados

La determinación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) se realizó siguiendo el método AOAC 999.11⁽¹⁴⁾. El análisis instrumental se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica de flama, empleando un equipo Shimadzu modelo AA-7000. Para la preparación de las muestras, se pesaron entre 10 y 20 g de harina de trigo en crisoles previamente acondicionados, los cuales fueron sometidos a un proceso de calcinación en mufla, con un incremento progresivo de la temperatura desde 100 °C hasta 450 °C, durante un período mínimo de 8 horas. Posteriormente, se añadieron 2 mL de agua destilada y las muestras se calentaron en una plancha térmica antes de ser reintroducidas en la mufla.

Una vez obtenidas las cenizas, se procedió a la adición de 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) 6 M hasta su evaporación completa. Seguidamente, se incorporó HNO₃ 0,1 M para la digestión ácida, la cual se mantuvo durante 20 minutos. El residuo resultante fue transferido cuantitativamente a una fiola de 25 mL, completando el volumen final con agua ultrapura.

El blanco analítico fue preparado y procesado bajo las mismas condiciones experimentales que las muestras, y todas las determinaciones se realizaron por duplicado. Como material de referencia, se emplearon soluciones patrón de Pb y Cd con concentraciones iniciales de 1000 mg/L y 996 mg/L, respectivamente, en medio de HNO₃ 0,5 N. A partir de estas soluciones se construyeron curvas de calibración, utilizando concentraciones de 0,05; 0,1; 0,2 y 5 ppm para Cd, y de 0,5; 1; 2 y 5 ppm para Pb.

Dado que las concentraciones determinadas de Pb y Cd se ubicaron entre el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ), los resultados fueron tratados como datos censurados. Se aplicó un enfoque basado en escenarios, considerando un valor conservador (LOD), una estimación puntual (promedio del intervalo [LOD–LOQ]) y un valor máximo (LOQ). Para la evaluación de la incertidumbre, se estimó la desviación estándar y, cuando correspondió, se calcularon intervalos de confianza al 95 % para la media, restringidos al intervalo físico [LOD, LOQ]. Finalmente, las concentraciones estimadas fueron comparadas con los límites máximos permitidos establecidos por la Unión Europea y el Codex Alimentarius.

Análisis de hongos micotoxigénicos

Para el análisis micológico, se tomaron 10 g de cada muestra de harina de trigo bajo condiciones de asepsia, los cuales fueron transferidos a matraces que contenían 90 mL de agua peptonada estéril y sometidos a agitación a 160 rpm durante 15 minutos, con el fin de favorecer la liberación de las estructuras fúngicas. Posteriormente, se realizaron diluciones decimales seriadas hasta una concentración final de 10^{-6} .

De cada dilución se sembraron 100 μ L mediante el método de incorporación, por triplicado, en placas Petri con Agar Papa Dextrosa (APD) suplementado con cloranfenicol (0,4 g/L) para inhibir el crecimiento bacteriano. Las placas se incubaron a 28 °C durante un período de 5 a 7 días, realizándose un monitoreo periódico del desarrollo de las colonias fúngicas⁽¹⁵⁾.

Las colonias obtenidas fueron sometidas a repique en nuevas placas con APD, con el objetivo de aislar cepas puras, garantizando una colonia por placa para su posterior identificación. Estas se incubaron nuevamente a 28 °C durante 5 días. Posteriormente, las cepas fúngicas purificadas fueron transferidas a tubos con APD inclinado, incubadas bajo las mismas condiciones y finalmente conservadas a 4 °C hasta su análisis.

La identificación morfológica de los hongos se realizó mediante el método de Riddell modificado⁽¹⁶⁾. Para ello, se emplearon placas Petri acondicionadas con láminas y laminillas estériles, sobre las cuales se colocaron fragmentos de agar de aproximadamente 0,8 cm de lado y altura. Los hongos fueron inoculados en las caras laterales del agar y cubiertos con una laminilla; adicionalmente, se incorporó algodón estéril humedecido para mantener la humedad del sistema. El montaje fue incubado a 28 °C durante 5 días. Tras la incubación, se procedió a la observación microscópica del crecimiento y de las estructuras fúngicas adheridas a las láminas, realizando finalmente el montaje con azul de lactofenol para su evaluación en microscopio óptico, confirmándose el género de los hongos aislados, los cuales fueron registrados y reportados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación se llevó a cabo en el Instituto de Investigación en Ciencias Farmacéuticas y Recursos Naturales "Juan de Dios Guevara" en la Facultad de Farmacia y Bioquímica – UNMSM y en el Laboratorio de Investigación y Certificaciones "LABICER" en la Facultad de Ciencias – UNI.

Determinación de metales pesados

Se realizó la determinación de Plomo y Cadmio en las muestras de harina de trigo nacional (Ver Tabla 1). Los resultados revelaron concentraciones de plomo ($< 1,820$ mg/kg) y cadmio ($< 0,211$ mg/kg) que podrían exceder los estándares internacionales de seguridad alimentaria y representar un riesgo potencial para la salud humana y animal.

Tabla 1. Determinación de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en las muestras de harina de trigo nacional.

Metal pesado	Muestra de Maíz amarillo duro (mg/Kg)	LOQ* (mg/Kg)	LMP (mg/Kg)
Pb**	< 1,820	1,820	0,2
Cd***	< 0,211	0,211	0,2

*Límite de Cuantificación del Método. **LOD: 0,546 mg/Kg ***LOD: 0,063 mg/kg

Las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) determinadas en las muestras de harina de trigo se ubicaron entre el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) del método analítico, correspondientes a 0,546–1,820 mg/kg para Pb y 0,063–0,211 mg/kg para Cd. La estimación puntual, calculada como la media del intervalo [LOD–LOQ], fue de 1,18 mg/kg para Pb (SD = 0,37 mg/kg) y 0,14 mg/kg para Cd (SD = 0,04 mg/kg). Considerando un tamaño muestral de $n = 3$, los intervalos de confianza teóricos al 95 %, acotados a los límites analíticos, se restringieron a [0,546; 1,820] mg/kg para Pb y [0,063; 0,211] mg/kg para Cd. En el análisis de sensibilidad frente a la normativa internacional, el escenario máximo (LOQ) superó el límite máximo permitido (LMP = 0,2 mg/kg) en 9,1 veces para Pb y 1,1 veces para Cd, mientras que la estimación puntual representó 5,9 veces el LMP para Pb y 0,7 veces para Cd. En el escenario más conservador (LOD), el contenido de Pb excedió el LMP en 2,7 veces, mientras que el Cd se mantuvo por debajo del límite establecido ($0,3\times$), evidenciando una mayor preocupación sanitaria asociada al contenido de plomo en las muestras analizadas (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen analítico de Pb y Cd, estimaciones y comparación normativa.

Metal pesado	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	Estimación puntual (mg/kg)	SD* estimada (mg/Kg)	Múltiplo LMP (LOD)	Múltiplo LMP (puntual)	Múltiplo LMP (LOQ)
Pb	0,546	1,820	1,183	0,37	2,7 x	5,9 x	9,1 x
Cd	0,063	0,211	0,137	0,04	0,3 x	0,7 x	1,1 x

*Desviación estándar.

A pesar de la incertidumbre inherente a los datos censurados entre el LOD y el LOQ, el análisis por escenarios muestra diferencias claras entre ambos metales en harina de trigo nacional. El plomo (Pb) supera el límite máximo permitido (0,2 mg/kg) en todos los escenarios evaluados: 2,7 veces en el escenario conservador, 5,9 veces en la estimación puntual y 9,1 veces en el escenario máximo, lo que evidencia una no conformidad regulatoria consistente. En contraste, el cadmio (Cd) se mantiene por debajo del límite en el escenario conservador y en la estimación puntual, aunque lo excede ligeramente en el escenario máximo (1,1 veces), indicando una situación limítrofe que requiere

seguimiento. Los niveles observados de Pb podrían estar asociados a factores de la cadena productiva del trigo, como características del suelo, prácticas agronómicas o procesos industriales. Dado que la harina de trigo es base de alimentos de amplio consumo en el Perú, estos resultados representan una posible preocupación desde la perspectiva de inocuidad alimentaria y exposición crónica a metales pesados.

La magnitud de los niveles observados en harina de trigo nacional, particularmente para plomo (Pb), que superó el límite máximo permitido (0,2 mg/kg) entre 2,7 y 9,1 veces según el escenario evaluado, es consistente con reportes previos que describen la capacidad de los cereales para acumular metales pesados provenientes de suelos contaminados. Diversos estudios en trigo cultivado en áreas con influencia minera o suelos con carga antropogénica han evidenciado concentraciones elevadas de Pb y Cd en grano, asociadas a riesgos potenciales para la salud humana por exposición crónica a través de productos derivados como harina y panificados^(17;18).

Desde el punto de vista químico, tanto el Pb como el Cd presentan afinidad por grupos funcionales nitrogenados y fosforilados presentes en proteínas y fitatos del grano de trigo, lo que favorece su retención en la fracción sólida del endospermo y, por ende, su presencia en la harina resultante. Entre las principales fuentes de contaminación descritas en la literatura se incluyen el uso continuo de fertilizantes fosfatados, el empleo de aguas de riego con carga metálica y la persistencia de metales en suelos agrícolas con antecedentes de contaminación industrial o minera^(19;20). En este contexto, aunque los resultados obtenidos estuvieron condicionados por valores comprendidos entre el LOD y el LOQ, la consistencia del incumplimiento normativo para Pb sugiere una posible exposición relevante desde la perspectiva de salud pública.

Estudios experimentales han demostrado que la acumulación de Cd y Pb en trigo no solo compromete la calidad del grano, sino que también genera efectos fitotóxicos durante el desarrollo vegetal. Se ha reportado que el cadmio puede reducir significativamente el crecimiento, la biomasa y la actividad fotosintética, debido a su interferencia con la síntesis proteica y el transporte de carbohidratos, mientras que el plomo afecta la elongación radicular y la absorción de nutrientes esenciales^(21;22). Asimismo, la exposición a Cd se ha asociado con disminuciones en los contenidos de potasio y calcio, además de alterar la asimilación de micronutrientes como hierro, zinc, cobre y manganeso, lo que repercute en la calidad nutricional del grano⁽²³⁾.

Considerando que la harina de trigo constituye un insumo fundamental para alimentos de amplio consumo en el Perú (pan, pastas y productos derivados), los niveles detectados, especialmente de Pb, podrían representar un riesgo potencial por ingesta crónica, reforzando la necesidad de vigilancia sanitaria continua y estudios ampliados con mayor tamaño muestral.

Análisis de hongos micotoxigénicos

Se realizó secuencialmente el proceso de aislamiento y repique de las muestras de harina de trigo nacional (Ver Figura 1).

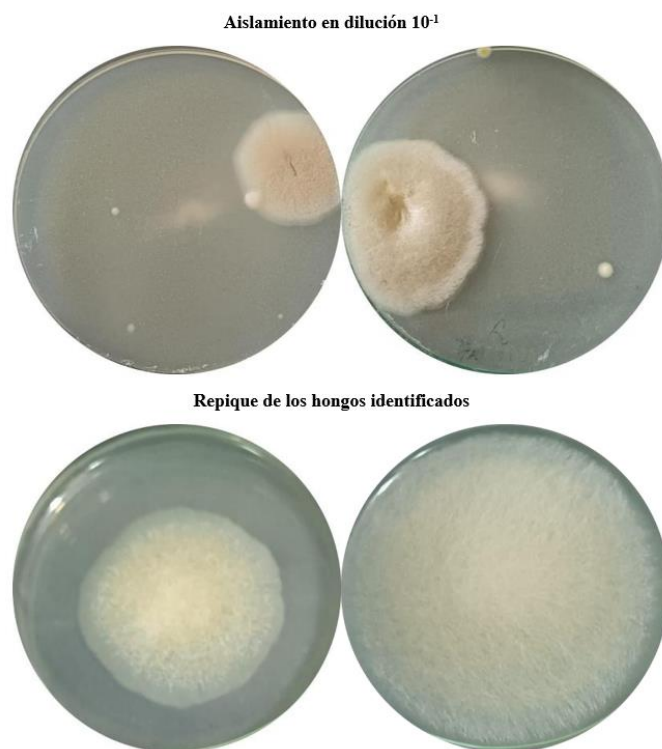


Figura 1. Preparación de las muestras de harina de trigo nacional

En el estudio mediante macrocultivo y microcultivo se identificó la presencia del género *Mucor* *sp.* en la muestra de harina de trigo nacional (ver Figura 2). Este hongo se caracterizó por presentar colonias de color blanco con crecimiento tanto radial como vertical, además de pequeñas estructuras oscuras localizadas en el extremo del micelio aéreo. Microscópicamente, se evidenciaron hifas hialinas cenocíticas (no septadas) y esporangióforos simples, no ramificados, de tonalidad oscura, que contenían esporas hialinas, rasgos morfológicos distintivos de este género fúngico⁽²⁴⁾.

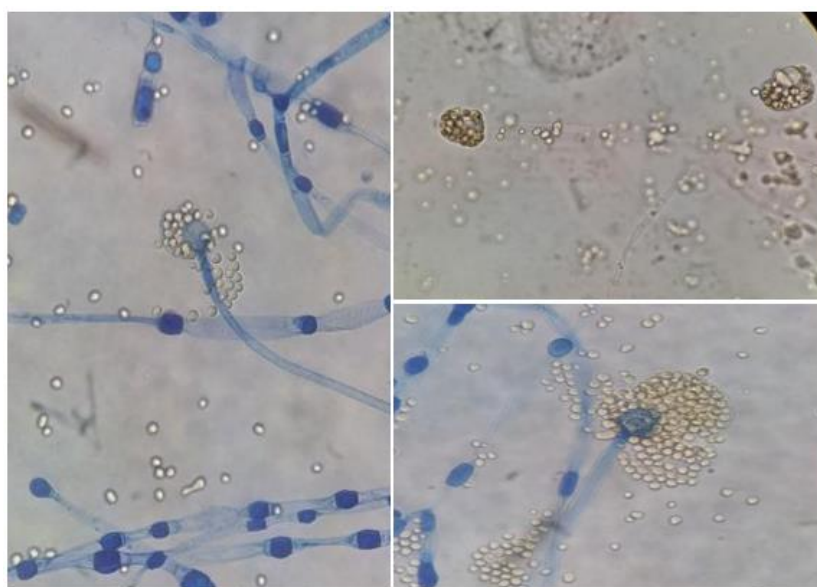


Figura 2. Análisis micotoxigénico de harina de trigo nacional.

En el análisis micotoxigénico realizado a la harina de trigo nacional, se logró aislar una cepa fúngica perteneciente al género *Mucor sp.*; sin embargo, la identificación a nivel de especie no fue posible debido a las limitaciones inherentes a la caracterización morfológica convencional y a la ausencia de confirmación mediante herramientas moleculares. En consecuencia, el aislamiento se reporta a nivel genérico como *Mucor sp.*, resaltando la necesidad de estudios complementarios para una caracterización taxonómica precisa.

La detección de *Mucor sp.* en harina de trigo es relevante desde el punto de vista de inocuidad, ya que especies del orden Mucorales han sido descritas como contaminantes frecuentes de cereales almacenados y productos derivados, especialmente bajo condiciones de humedad elevada y almacenamiento inadecuado. Diversos estudios han señalado que los hongos filamentosos presentes en trigo y harina pueden desarrollarse durante la poscosecha y el almacenamiento, afectando la calidad microbiológica y tecnológica del producto^(25,26). Aunque el género *Mucor* no es considerado uno de los principales productores de micotoxinas clásicas como aflatoxinas o tricotecenos, su presencia indica condiciones ambientales favorables para el crecimiento fúngico y, potencialmente, para la coexistencia con otros géneros toxigénicos como *Fusarium*, *Aspergillus* o *Penicillium*^(27,28).

La contaminación fúngica en trigo puede originarse tanto en campo como durante el almacenamiento. Factores como alta humedad del grano (mayor al 15%), temperaturas cálidas y ventilación deficiente favorecen la proliferación de hongos filamentosos en cereales y harinas^(26,29). Asimismo, se ha reportado que prácticas inadecuadas de secado y almacenamiento incrementan significativamente la carga fúngica en harinas, comprometiendo la estabilidad del producto y su seguridad sanitaria^(28,30).

La identificación limitada al nivel de género subraya la importancia de aplicar métodos moleculares complementarios (PCR y secuenciación), los cuales permiten una identificación más precisa y una mejor evaluación del potencial toxigénico de los aislamientos presentes en matrices cerealíferas^(26,30).

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio evidencian la presencia de contaminación química y microbiológica en la harina de trigo nacional evaluada. Las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) determinadas superan los límites máximos establecidos por el Codex Alimentarius para cereales y productos derivados, lo que supone un riesgo potencial para la salud pública debido a su carácter tóxico y bioacumulativo. Asimismo, el análisis micotoxigénico permitió identificar el género *Mucor sp.*, cuya presencia indica condiciones favorables para el crecimiento fúngico durante el almacenamiento o procesamiento. En conjunto, estos hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de reforzar las medidas de control sanitario, monitoreo y buenas prácticas a lo largo de la cadena productiva del trigo.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Investigación en Ciencias Farmacéuticas y Recursos Naturales “Juan de Dios Guevara” de la Facultad de Farmacia y Bioquímica-UNMSM y al Laboratorio de Investigación y Certificaciones LABICER de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el apoyo brindado durante la ejecución de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atongbiik Achaglinkame M, Opoku N, Amagloh FK. Aflatoxin contamination in cereals and legumes to reconsider usage as complementary food ingredients for Ghanaian infants: A review. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*. 2017 Dec 1; 10:1–7.
2. Mousavi Khaneghah A, Ismail E, Raeisi S, Fakhri Y. Aflatoxins in cereals: State of the art. *Journal of Food Safety*. 2018 Dec 1;38(6).
3. Polak-šliwińska M, Paszczyk B. Trichothecenes in food and feed, relevance to human and animal health and methods of detection: A systematic review. *Molecules*. 2021 Jan 1;26(2).
4. Salasib A. A Review of Ochratoxin A Occurrence, Condition for the Formation and Analytical Methods. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. 2020 oct 29;180–5.
5. Topi D, Babič J, Pavšič-Vrtač K, Tavčar-Kalcher G, Jakovac-Strajn B. Incidence of Fusarium Mycotoxins in Wheat and Maize from Albania. 2020 [cited 2021 Oct 20]; Available from: <https://doi.org/10.3390/molecules26010172>
6. Mahato DK, Devi S, Pandhi S, Sharma B, Maurya KK, Mishra S, et al. Occurrence, impact on agriculture, human health, and management strategies of zearalenone in food and feed: A review. Vol. 13, *Toxins*. MDPI AG; 2021.
7. Duarte-Vogel S, Villamil-Jiménez LC. Micotoxinas en la Salud Pública. *Rev salud pública Sup*. 2006;8(1):129–35.
8. Weaver AC, Weaver DM, Adams N, Yiannikouris A. Co-Occurrence of 35 Mycotoxins: A Seven-Year Survey of Corn Grain and Corn Silage in the United States. 2021 [cited 2021 Oct 20]; Available from: <https://doi.org/10.3390/toxins13080516>
9. Lopez de Cerain A, Jimenez AM, Espeleta O, Bello J. EFECTOS TÓXICOS DE LA OCRATOXINA A Título abreviado: Toxicidad de la ocratoxina A [Internet]. [cited 2021 Oct 14]. Available from: https://www.ativeter.com/ftp_public/articulo804.pdf
10. López K, García M, Madueño F, Bautista N, Marín G, Olórtégui D. 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.
11. Degryse F, Smolders E, Parker DR. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: concepts, methodologies, prediction and applications - a review. *Eur J Soil Sci* [Internet]. 2009;60(4):590–612. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01142.x>
12. Buccolieri A, Buccolieri G, Dell’Atti A, Strisciullo G, Gagliano-Candela R. Monitoring of total and bioavailable heavy metals concentration in agricultural soils.

- Environ Monit Assess [Internet]. 2010;168(1–4):547–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-1133-0>
13. Khan N, Jeong IS, Hwang IM, Kim JS, Choi SH, Nho EY, et al. Method validation for simultaneous determination of chromium, molybdenum and selenium in infant formulas by ICP-OES and ICP-MS. Food Chem [Internet]. 2013;141(4):3566–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.034>
 14. AOAC International. Official method 999.11: Determination of lead, cadmium, copper, iron, and zinc in foods by atomic absorption spectrophotometry after dry ashing. AOAC Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MD: AOAC International; 1995 [cited 2025 Apr 18].
 15. Chimbo JDS, Casignia ÁMR, Figueroa FJR, Romero PIÁ, Cabrera AB. Caracterización morfológica-cultural de hongos asociados a los frutos de chonta (*Bactris gasipaes* Kunth), en cinco localidades de Orellana, Ecuador. Rev Prot Veg [Internet]. 2022 [cited 2025 Apr 18];37(2). Available from: <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1267>
 16. Riddell RW. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. Mycologia. 1950;42(3):265–70. [cited 2025 Apr 18].
 17. Yang Y, Jiang M, Liao J, Luo Z, Gao Y, Yu W, et al. Effects of simultaneous application of double chelating agents to Pb-contaminated soil on the phytoremediation efficiency of *Indocalamus decorus* Q. h. dai and the soil environment. Toxics [Internet]. 2022;10(12):713. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/toxics10120713>
 18. Amouei A, Falahati Naghibi E, Fallah H, Asgharnia H, Khalilpour A, Tabarinia H. Health risk assessment of heavy metals in vegetables consumed in the central part of Mazandaran province. Environ Health Eng Manag [Internet]. 2024;11(3):349–59. Available from: <http://dx.doi.org/10.34172/ehem.2024.34>
 19. Grant CA, Clarke JM, Duguid S, Chaney RL. Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. Sci Total Environ [Internet]. 2008;390(2–3):301–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.10.038>
 20. Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, Homae M, Yunesian M, Ahmadimoghaddam M, et al. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. Environ Monit Assess [Internet]. 2010;160(1–4):83–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0659-x>
 21. Rizwan M, Ali S, Abbas T, Zia-Ur-Rehman M, Hannan F, Keller C, et al. Cadmium minimization in wheat: A critical review. Ecotoxicol Environ Saf [Internet]. 2016;130:43–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.001>
 22. Sharma P, Dubey RS. Lead toxicity in plants. Braz J Plant Physiol [Internet]. 2005;17(1):35–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/s1677-04202005000100004>
 23. Fryzova R, Pohanka M, Martinkova P, Cihlarova H, Brtnicky M, Hladky J, et al. Oxidative stress and heavy metals in plants. Rev Environ Contam Toxicol [Internet]. 2018;245:129–56. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/398_2017_7
 24. Sanmiguel Chimbo, Josue David (2021). Caracterización de microorganismos fúngicos asociados a los frutos de chonta (*Bactris gasipaes* kunth), en cinco localidades de la provincia de Orellana. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15660>

25. Sulyok M, Berthiller F, Krska R, Schuhmacher R. Development and validation of a liquid chromatography/tandem mass spectrometric method for the determination of 39 mycotoxins in wheat and maize. *Rapid Commun Mass Spectrom* [Internet]. 2006;20(18):2649–59. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/rcm.2640>
26. Magan N, Aldred D. Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *Int J Food Microbiol* [Internet]. 2007;119(1–2):131–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.034>
27. Deligeorgakis C, Magro C, Skendi A, Gebrehiwot HH, Valdramidis V, Papageorgiou M. Fungal and toxin contaminants in cereal grains and flours: Systematic review and meta-analysis. *Foods* [Internet]. 2023;12(23):4328. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/foods12234328>
28. Chiotta ML, Fumero MV, Cendoya E, Palazzini JM, Alaniz-Zanon MS, Ramirez ML, et al. Toxigenic fungal species and natural occurrence of mycotoxins in crops harvested in Argentina. *Rev Argent Microbiol* [Internet]. 2020;52(4):339–47. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2020.06.002>
29. Medina Á, Rodríguez A, Magan N. Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. *Curr Opin Food Sci* [Internet]. 2015;5:99–104. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.002>
30. Paolesse R, Alimelli A, Martinelli E, Natale CD, D'Amico A, D'Egidio MG, et al. Detection of fungal contamination of cereal grain samples by an electronic nose. *Sens Actuators B Chem* [Internet]. 2006;119(2):425–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2005.12.047>