

METALES PESADOS Y HONGOS MICOTOXIGÉNICOS EN *Zea mays* L. "maíz amarillo duro" EN ETAPAS DE COSECHA Y POSCOSECHA EN LA CIUDAD DE HUARAL, LIMA-PERÚ

Juan Ponce Cobos^a, Américo Castro Luna^{*a}, Norma Ramos Cevallos^a, Felix Castillo Morales^a

RESUMEN

El maíz amarillo duro es un cultivo fundamental en la dieta peruana, pero su calidad puede verse comprometida por contaminantes químicos y biológicos. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la presencia de plomo, cadmio y hongos micotoxigénicos en muestras de maíz amarillo duro en etapas de cosecha y poscosecha procedentes de Huaral, Lima. Para ello, se determinaron las concentraciones de plomo y cadmio mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama, además, se aislaron y contaron los hongos mediante purificación de cepas en medios selectivos para identificar géneros micotoxigénicos. Los resultados mostraron concentraciones elevadas de plomo ($< 5,847$ mg/kg) y cadmio ($< 1,016$ mg/kg), que exceden los límites internacionales para cereales. En el análisis micotoxigénico, se identificaron los géneros *Fusarium sp.* y *Penicillium sp.* en ambas etapas, con dos cepas distintas de *Fusarium* aisladas, pero no identificadas a nivel de especie. Estos hallazgos coinciden con reportes que indican que la contaminación fúngica puede originarse tanto en campo como en almacenamiento, y que el manejo inadecuado favorece la proliferación de hongos toxigénicos. Además, es fundamental implementar estrategias integrales de manejo poscosecha para reducir la contaminación química y biológica, asegurando la calidad e inocuidad del maíz amarillo duro.

Palabras clave: Plomo, Cadmio, *Zea mays*, *Fusarium*, *Penicillium*.

^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: acastrol@unmsm.edu.pe

HEAVY METALS AND MYCOTOXYGENIC FUNGI IN *Zea mays* L. "maíz amarillo duro" AT HARVEST AND POST HARVEST STAGES IN HUARAL CITY, LIMA-PERU

ABSTRACT

Hard yellow corn is a fundamental crop in the Peruvian diet, but its quality can be compromised by chemical and biological contaminants. The present study aimed to determine the presence of lead, cadmium and mycotoxigenic fungi in samples of hard yellow corn at harvest and postharvest stages from Huaral, Lima. For this purpose, lead and cadmium concentrations were determined by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry, and fungi were isolated and counted by purification of strains on selective media to identify mycotoxigenic genera. The results showed elevated concentrations of lead ($< 5,847$ mg/kg) and cadmium ($< 1,016$ mg/kg), which exceed international limits for cereals. In the mycotoxigenic analysis, the genera *Fusarium* sp. and *Penicillium* sp. were identified at both stages, with two distinct strains of *Fusarium* isolated, but not identified to species level. These findings are consistent with reports indicating that fungal contamination can originate both in the field and in storage, and that improper handling favors the proliferation of toxigenic fungi. In addition, it is essential to implement integrated postharvest management strategies to reduce chemical and biological contamination, ensuring the quality and safety of hard yellow corn.

Keywords: Plumb, Cadmium, *Zea mays*, *Fusarium*, *Penicillium*.

INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son compuestos bioactivos producidos principalmente por hongos de los géneros *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp y *Fusarium* spp, los cuales tienden a infectar cultivos de cereales, que son fuentes importantes de alimento para humanos y animales. Entre las micotoxinas más relevantes se encuentran los tricoenos, las fumonisinas, las aflatoxinas, la ocratoxina A y la zearalenona (1-6). Estos compuestos no solo perjudican los cultivos, sino que su ingesta se ha vinculado al desarrollo de enfermedades crónicas, efectos carcinogénicos, inmunosupresión y alteraciones endocrinas (7). Se han identificado alrededor de 35 tipos de micotoxinas que pueden afectar al maíz y a sus productos derivados (8). La ocratoxina A, en particular, es una micotoxina producida por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, y es un contaminante común en cereales como el maíz, con demostrada toxicidad, especialmente a nivel renal (9).

Además, es fundamental destacar que la presencia de metales pesados en alimentos de origen vegetal representa un riesgo significativo para la salud humana, principalmente debido a la contaminación de los suelos agrícolas peruanos. Estos suelos contienen de manera natural compuestos químicos como cadmio, mercurio, arsénico, cromo y plomo, los cuales se ven incrementados por diversas actividades humanas que contribuyen a la contaminación del suelo (10). El plomo, un metal pesado altamente tóxico, puede causar daños en el sistema nervioso, renal, reproductor, hematopoyético y cardiovascular. Por su parte, el cadmio es reconocido como un metal pesado con alta toxicidad y ha sido clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como carcinógeno del Grupo I (11). La Organización Mundial de la Salud (OMS) los señalan

entre las diez sustancias químicas que representan mayor preocupación para la salud pública. Estos metales se acumulan en los suelos debido a prácticas agrícolas como la fertilización y el riego, y posteriormente son absorbidos por las plantas a través de sus raíces, lo que facilita su entrada en la cadena alimentaria (12).

En el Perú, el cultivo de maíz representa una actividad económica relevante en el Perú, según el informe de SENASA, que requiere un monitoreo fitosanitario constante debido a su susceptibilidad a infestaciones por enfermedades y plagas (13), especialmente aquellas causadas por hongos, que van desde la pudrición de las mazorcas hasta la generación de micotoxinas (14). Tanto el Codex Alimentarius (CXS 193-1995) como la normativa vigente de la Unión Europea establecen los mismos límites permitidos para plomo y cadmio en cereales, fijando en 0,1 mg/kg el máximo para cadmio y en 0,2 mg/kg para plomo, con el fin de salvaguardar la salud pública y facilitar el comercio.

Por esta razón, el objetivo de este estudio fue determinar la presencia de plomo, cadmio y hongos micotoxigénicos en muestras de maíz amarillo duro en etapas de cosecha y poscosecha procedentes de Huaral, Lima, esto permitirá comprender mejor la problemática existente y contribuir con información valiosa para futuras investigaciones relacionadas con la salud pública, la salud ambiental y la seguridad alimentaria.

PARTE EXPERIMENTAL

Recolecta de las muestras

El presente estudio se realizó recolectando muestras de maíz amarillo duro de diferentes campos de cultivos localizados en la ciudad de Huaral a 188 msnm, del departamento de Lima. Además, la colecta fue realizada en etapas de cosecha y poscosecha, a una temperatura aproximada de 23 °C y 17 °C en los meses de abril y agosto del 2024, respectivamente (Ver Tabla 1). La muestra recolectada de cada campo de cultivo estuvo compuesta de 3 puntos de muestreos aleatorios para que este fuese lo más representativo posible de cara al consumidor final.

Tabla 1. Descripción informativa de las muestras de maíz amarillo duro recolectadas.

Nº	Nombre	Procedencia	Muestra*
1	MPC	Campos de cultivos en Huaral, Lima.	600 g de Maíz amarillo duro en etapa de poscosecha.
2	MC	Campos de cultivos en Huaral, Lima.	600 g de Maíz amarillo duro en etapa de cosecha.

*La muestra está conformada por el muestreo de 3 puntos aleatorios.

Clasificación y tratamientos de las muestras

Se realizó la clasificación taxonómica de las muestras de maíz amarillo duro procedentes de la ciudad de Huaral, del departamento de Lima. Posteriormente, las muestras fueron secadas en una estufa a 40 °C hasta la pérdida total de humedad. Luego, se redujo el tamaño de partícula de las muestras en un molino de cuchillas. Finalmente, las muestras

homogenizadas se conservaron a bajas temperaturas sin exposición a la luz, ni humedad (15).

Determinación de metales pesados

Se siguió la determinación de plomo y cadmio según el método AOAC 999.11 (16), el análisis de las muestras se realizó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica de flama modelo AA-7000 de Shimadzu. En la etapa de preparación para determinar plomo, cadmio y arsénico. Se pesó entre 10 y 20 gramos de las muestras de maíz amarillo duro en un crisol, luego fue sometida a calcinación en una mufla, con un incremento gradual de temperatura desde 100°C hasta alcanzar 450°C, por un período de al menos 8 horas. Posteriormente, se añadieron 2 ml de agua destilada y la muestra se calentó en una plancha, para luego reintroducirla en la mufla. Una vez obtenidas las cenizas, se procedió a agregar 5 ml de HNO₃ 6M hasta evaporación completa. Finalmente, se adicionó HNO₃ 0,1M para la digestión, la cual se dejó por 20 minutos. El residuo se transfirió a una fiola de 25 ml, completando el volumen con agua ultrapura.

El blanco de las muestras fue procesado siguiendo el mismo procedimiento que las muestras, y el análisis se llevó a cabo por duplicado. Como referencia, se emplearon soluciones estándar de plomo y cadmio con concentración inicial de 1000 mg/L y 996 mg/L en medio de HNO₃ 0,5N; respectivamente. A partir de estas, se preparó una curva de calibración con puntos de 0,05; 0,1; 0,2 y 5 ppm para cadmio y de 0,5; 1; 2 y 5 ppm para plomo.

Dado que las concentraciones de Pb y Cd se reportaron entre el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ), se trataron como datos censurados. Se aplicó un enfoque por escenarios: valor conservador (LOD), estimación puntual (media del intervalo [LOD, LOQ]) y valor máximo (LOQ). Para contextualizar la incertidumbre, se estimó la desviación estándar y, cuando correspondió, se calcularon intervalos de confianza del 95 % para la media y se acotaron físicamente a [LOD, LOQ]. Finalmente, se compararon las estimaciones con los límites máximos permitidos (UE/Codex).

Análisis de hongos micotoxigénicos

De las muestras se tomaron 10 g en un ambiente estéril del maíz amarillo en etapas de poscosecha y cosecha, y luego se colocó en un matraz con 90 ml de agua peptonada estéril y se dejó en agitación a 160 RPM por 15 minutos. A continuación, se realizaron diluciones decimales hasta llegar a la concentración 10⁻⁶. Una vez realizadas las diluciones, se seleccionó 100 ul de cada dilución para sembrar en placas Petri por incorporación y por triplicado en Agar Papa Dextrosa (APD) a la cual se le agregó 0,4 g/L de cloranfenicol. Las condiciones de incubación fueron a 28°C en un período de 5 a 7 días, con un seguimiento constante del crecimiento (17).

A partir de estos es que se realizó el proceso de repique en otras placas Petri con APD para adquirir solo una cepa de hongo por placa y poder realizar una adecuada identificación. Las condiciones de incubación fueron a 28°C en un período de 5. Las colonias fúngicas obtenidas se inocularon en APD inclinado, luego de las mismas condiciones de incubación se conservaron en refrigeración a 4°C.

Se realizó el método de Riddell modificado (18), el cual consiste en utilizar placas Petri con lámina y laminillas estériles, en las cuales se le adiciona porciones de agar de 0,8 cm de lado y de alto para luego inocular el hongo en las caras laterales, posteriormente se le coloca una laminilla sobre el agar, y luego se agregó una porción de algodón húmedo

estéril, y de esta forma se dejó en incubación por 28°C por 5 días. Posteriormente, tras la incubación se realizó una observación del crecimiento de cada hongo con sus respectivas estructuras adheridas a las láminas. Finalmente, se realizó un montaje de las láminas y laminillas con azul de lactofenol para observar las estructuras de los hongos en microscopio óptico, se corroboró el género de cada uno de los hongos purificados y se reportó cada uno.

Recuento microbiano

Los hongos almacenados en refrigeración fueron reactivados en APD a través de una siembra en una placa Petri por puntura, luego se incubaron a 28 °C durante 5 días. Todo este proceso se realizó por triplicado. Se cuantificaron las colonias que crecieron en el medio de cultivo APD, con cloranfenicol, y se determinó el recuento microbiano en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{UFC/ml} = \frac{\# \text{ colonias} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Volumen de sembrado (ml)}}$$

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 maíz amarillo duro en etapas de poscosecha y cosecha (Ver Tabla 2). Los resultados revelaron concentraciones preocupantes de metales pesados en las muestras de maíz amarillo duro analizadas, con niveles de plomo (< 5,847 mg/kg) y cadmio (< 1,016 mg/kg) que exceden significativamente los estándares internacionales de seguridad alimentaria y representan un riesgo potencial para la salud humana y animal.

Tabla 2. Determinación de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en las muestras de Maíz amarillo duro recolectadas.

Metal pesado	Muestra de Maíz amarillo duro (mg/Kg)		LOQ* (mg/Kg)	LMP (mg/Kg)
	Poscosecha	Cosecha		
Pb**	< 5,847	< 5,847	5,847	0,2
Cd***	< 1,016	< 1,016	1,016	0,1

*Límite de Cuantificación del Método. **LOD: 1,754 mg/Kg ***LOD: 0,305 mg/kg

Las concentraciones de Pb y Cd se ubicaron entre LOD y LOQ (1,754 – 5,847 mg/kg para Pb; 0,305 – 1,016 mg/kg para Cd). La estimación puntual (media del intervalo) fue de

3,80 mg/kg para Pb (SD de 1,18 mg/kg) y 0,66 mg/kg para Cd (SD de 0,21 mg/kg). Considerando $n=3$, los IC95 % teóricos, acotados a los límites analíticos, abarcaron [1,754; 5,847] mg/kg (Pb) y [0,305; 1,016] mg/kg (Cd). En el análisis de sensibilidad frente a la normativa, incluso el escenario más conservador (LOD) superó los límites máximos permitidos de 0,2 mg/kg (Pb) y 0,1 mg/kg (Cd) en $8,8\times$ y $3,1\times$ veces, respectivamente; la estimación puntual indicó $19,0\times$ (Pb) y $6,6\times$ (Cd) veces, y el escenario máximo $29,2\times$ (Pb) y $10,2\times$ (Cd) veces (Ver Tabla 3).

Tabla 3. 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	1,754	5,847	3,801	1,182	8,8 x	19,0 x	29,2 x
Cd	0,305	1,016	0,661	0,205	3,1 x	6,6 x	10,2 x

*Desviación estándar.

Aun con la incertidumbre inherente a los datos censurados entre LOD y LOQ, el enfoque por escenarios muestra que, para Pb y Cd, el incumplimiento normativo persiste en todo el rango plausible. Esta conclusión es robusta porque el escenario más conservador (LOD) ya excede los límites máximos (UE/Codex). La magnitud de los múltiplos ($\geq 3\times$ para Cd y $\geq 8\times$ para Pb veces) sugiere una contribución relevante de fuentes y prácticas agronómicas (fertilizantes fosfatados, riego, y movilidad geoquímica de cationes divalentes), coherente con lo reportado para cereales en contextos similares. Todo esto podría indicar una contaminación severa que puede representar riesgos significativos para la seguridad alimentaria, considerando que el maíz es un alimento básico en la dieta peruana.

La extensión de esta contaminación es acorde con investigaciones anteriores que han evidenciado la habilidad del maíz para acumular metales pesados de suelos contaminados. Estudios llevados a cabo en cultivos de maíz situados cerca de depósitos mineros han revelado que estas plantas son capaces de concentrar grandes cantidades de metales pesados, lo que reduce notablemente su rendimiento y plantea riesgos potenciales para la salud de animales y personas que las consumen (19).

Desde un punto de vista químico, la alta afinidad del Pb y Cd por compuestos nitrogenados y fosforilados del grano, como proteínas y fitatos, favorece su acumulación en matrices vegetales. Entre las fuentes probables de contaminación se encuentran el uso de fertilizantes fosfatados, aguas de riego contaminadas y depósitos residuales en suelos agrícolas (20; 21). La evidencia sugiere que, aunque el análisis estuvo limitado por el LOQ, el riesgo potencial para la salud pública es elevado, especialmente considerando la ingesta crónica de maíz en la dieta local.

Los elevados niveles de metales pesados registrados indican que las plantas de maíz analizadas probablemente sufrieron efectos fitotóxicos durante su desarrollo. Investigaciones experimentales han evidenciado que el cadmio provoca una reducción del 42% en la altura de las plantas y una pérdida de peso del 63% en las dosis más altas, mientras que el plomo produce una disminución del 20% en altura y del 15% en peso. Dado que el cadmio es más móvil y soluble en agua en comparación con otros metales, su impacto en el crecimiento vegetal es más significativo, ya que inhibe la síntesis de

proteínas, afecta negativamente la fotosíntesis y dificulta el transporte de carbohidratos (22). La acumulación de estos metales en los tejidos de las plantas no solo compromete la calidad nutricional de los granos, sino que también interfiere con la absorción de nutrientes esenciales. Investigaciones han mostrado que la exposición al cadmio reduce de manera considerable el contenido de potasio (18,4%) y calcio (21,3%) en los brotes, así como también afecta la asimilación de micronutrientes como el cobre, zinc, hierro y manganeso (23).

Análisis de hongos micotoxigénicos

Se realizó secuencialmente la resuspensión, purificación, preservación y repique de las muestras de maíz amarillo duro en etapas de poscosecha y cosecha (Ver Figura 1).

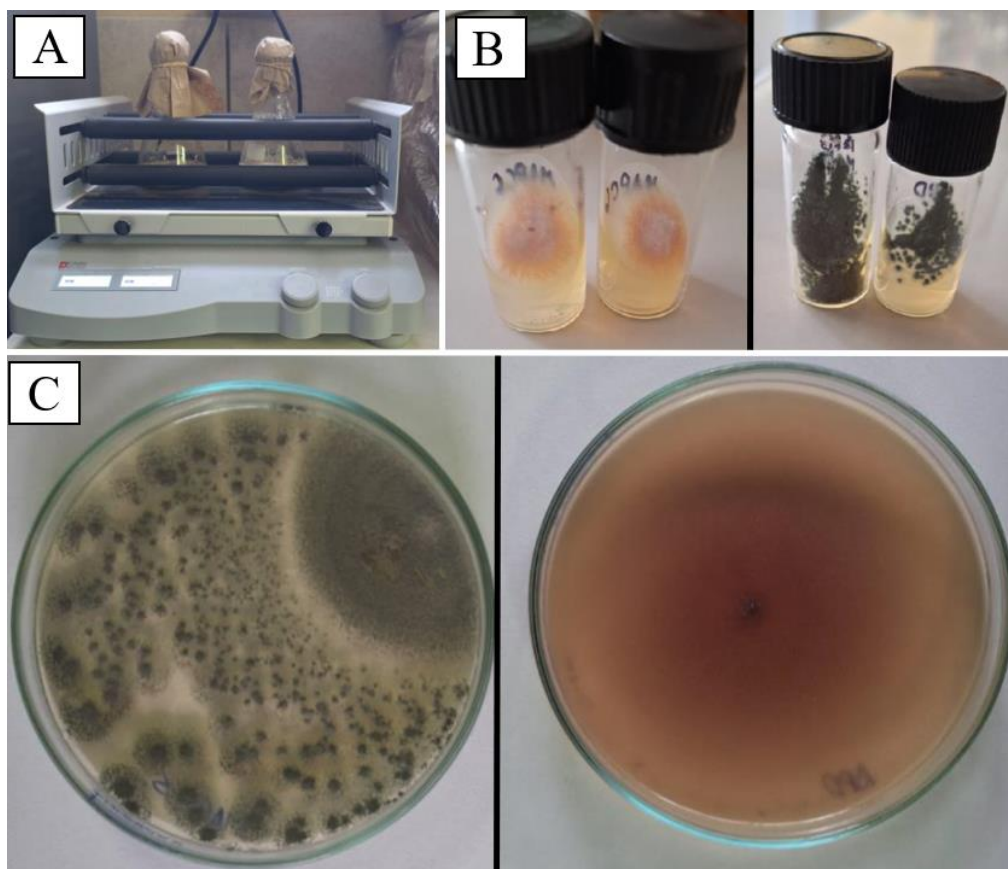


Figura 1. Proceso de preparación de las muestras de maíz amarillo duro en etapas de poscosecha y cosecha **A.** Resuspensión **B.** Purificación **C.** Repique

En el análisis de macrocultivo y microcultivo se lograron encontrar los géneros de hongos *Fusarium sp.* y *Penicillium sp.* tanto para el maíz amarillo duro en etapa de poscosecha (Ver Figura 2) y para el de la etapa de cosecha (Ver figura 3). Los hongos *Fusarium sp.* presentaron remarcadas hifas hilianas septadas y los conidios fragmosporados e hilianos, mientras que el *Penicillium sp.* presento hifas hilianas, septadas y conidios en cadenas desde las fiásides.

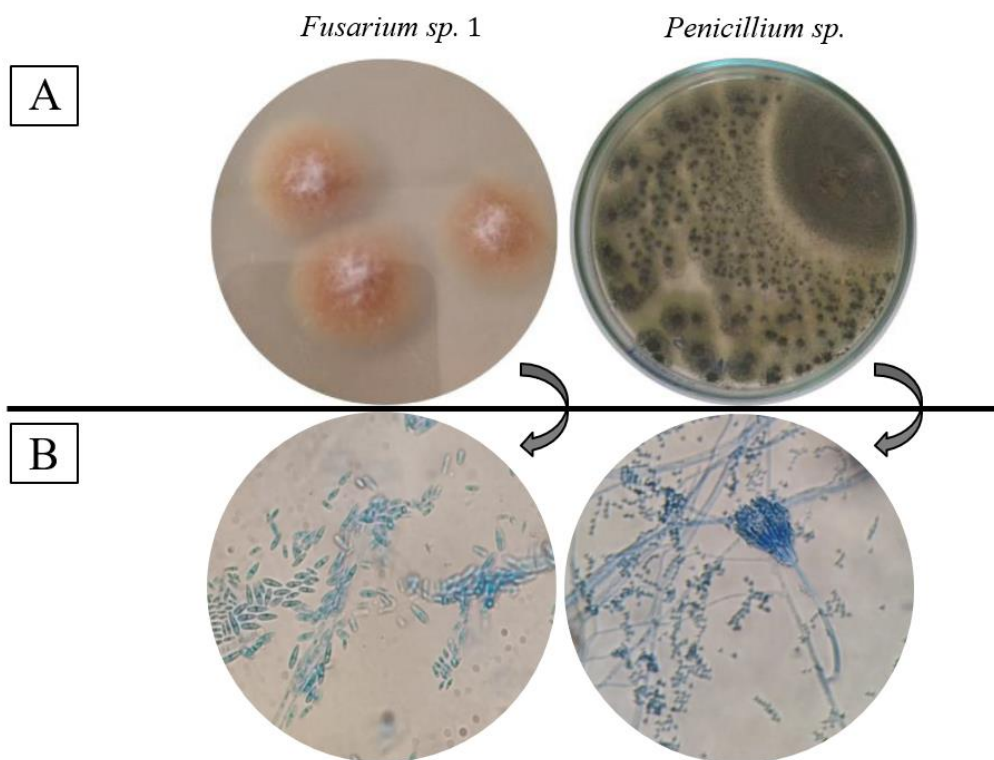


Figura 2. Análisis micotoxigénico del maíz amarillo duro en etapa de poscosecha **A.** macrocultivo **B.** microcultivo

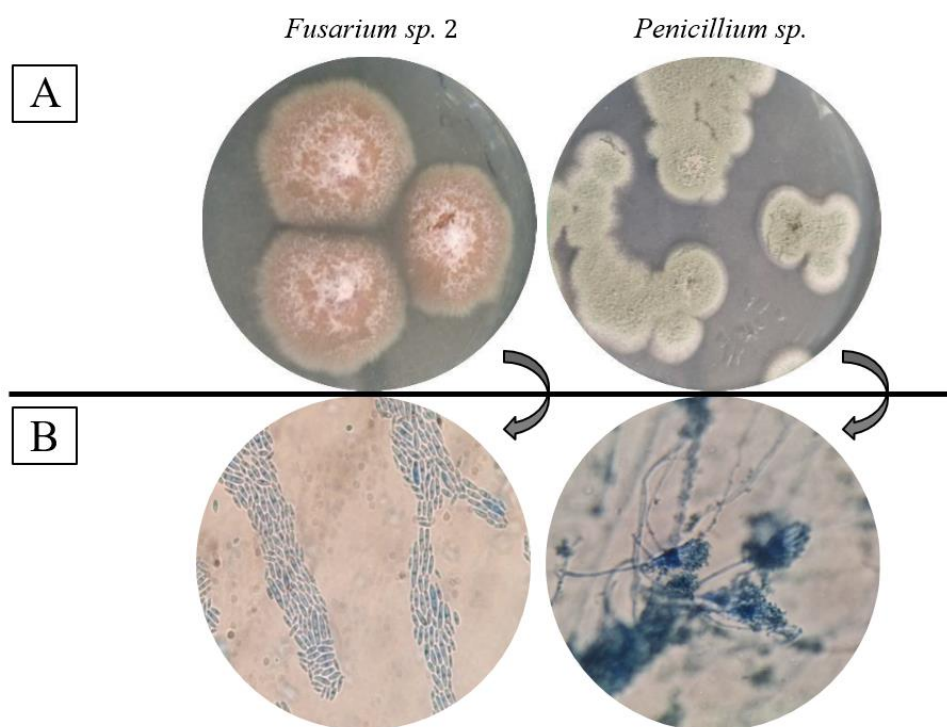


Figura 3. Análisis micotoxigénico del maíz amarillo duro en etapa de cosecha **A.** macrocultivo **B.** microcultivo

Se lograron aislar dos cepas clasificadas dentro del género *Fusarium*; sin embargo, la identificación a nivel de especie no fue posible debido a las limitaciones propias de la caracterización morfológica y a la falta de análisis moleculares adicionales. Por ello, ambos aislamientos se reportan como *Fusarium sp. 1* y *Fusarium sp. 2*, se les asignaron las denominaciones provisionales para distinguir entre las dos cepas identificadas únicamente a nivel genérico.

La presencia de *Fusarium sp.* y *Penicillium sp.* en muestras de maíz amarillo duro durante las fases de poscosecha y cosecha indica un posible riesgo para la seguridad alimentaria, debido a la capacidad de estos hongos para producir micotoxinas termoestables que pueden persistir a lo largo del procesamiento. La identificación restringida a nivel genérico subraya la necesidad de aplicar técnicas moleculares que permitan una caracterización más precisa, lo cual es fundamental para evaluar el verdadero perfil toxigénico de estas cepas (24).

La detección de ambos géneros en las fases de poscosecha y cosecha indica que puede haber contaminación tanto en el campo como en el almacenamiento. Prácticas inadecuadas en el manejo de la poscosecha, como un secado lento y niveles de humedad superiores al 18%, favorecen el crecimiento de *Penicillium sp.*, cuyas toxinas pueden generarse incluso en material fresco antes de ser ensilado (25). En el caso de *Fusarium sp.*, las condiciones climáticas durante la floración, como las lluvias y la alta humedad, favorecen ciertas infecciones iniciales, mientras que los daños mecánicos ocurridos durante la cosecha facilitan la entrada de contaminantes secundarios (26).

Recuento microbiano

Previamente, se realizó el pretratamiento a las muestras de maíz amarillo duro en etapas de poscosecha y cosecha según la Figura 1. Posteriormente, se procedió a realizar el conteo de colonias (Ver Figura 4) dando como resultado $< 3,0 \times 10^4$ UFC/ml para el maíz amarillo duro en etapa de poscosecha y $1,80 \times 10^5$ UFC/ml para el maíz amarillo duro en etapa de cosecha (Ver Tabla 4).



Figura 4. Recuento microbiano de hongos en el maíz amarillo duro en etapas de poscosecha y cosecha.

Tabla 4. Recuento microbiano de las muestras de maíz amarillo duro recolectadas.

Muestra de Maíz amarillo duro	Cuento (# de colonias)				Dilución	Recuento microbiano (UFC/ml)
	1°	2°	3°	Prom.		
Etapas de poscosecha	3	1	1	1,67*	10^{-3}	$< 3,0 \times 10^4$
Etapas de cosecha	21	18	15	18,00**	10^{-3}	$1,8 \times 10^5$

*Fuera del límite mínimo detectable. **Dentro del rango tolerable.

Los recuentos microbianos registrados ($< 3,0 \times 10^4$ UFC/mL en poscosecha vs. $1,80 \times 10^5$ UFC/mL en cosecha) revelan un patrón atípico que sugiere contaminación primaria durante la fase de cosecha y un control parcial durante el almacenamiento. Esta divergencia señala deficiencias críticas en el manejo agronómico inicial y destaca la necesidad de optimizar protocolos de higiene en etapas tempranas de la cadena de producción.

La disminución a $< 3,0 \times 10^4$ UFC/mL sugiere la aplicación de prácticas de secado eficaces, probablemente reduciendo la humedad por debajo del 14%, umbral crítico para inhibir el crecimiento bacteriano. Sin embargo, la persistencia de *Fusarium* y *Penicillium* indica que las temperaturas de almacenamiento mantuvieron condiciones óptimas para la esporulación fúngica, la ventilación insuficiente en silos creó microambientes anaerobios favorables para hongos facultativos o la ausencia de tratamientos antimicrobianos (ej. ácido propiónico) permitió la supervivencia de esporas termotolerantes (27).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen en evidencia una preocupante contaminación del maíz amarillo duro en las etapas de poscosecha y cosecha, tanto por metales pesados como por microorganismos potencialmente toxigénicos. Las concentraciones elevadas de plomo y cadmio superan ampliamente los límites internacionales, lo que representa un riesgo significativo para la salud humana y animal. La presencia de géneros fúngicos como *Fusarium sp.* y *Penicillium sp.*, junto con la identificación de dos cepas distintas de *Fusarium*, indica una contaminación micológica persistente que puede derivar en la producción de micotoxinas nocivas. Finalmente, los recuentos microbianos sugieren una alta carga bacteriana en la etapa de cosecha que disminuye en poscosecha, reflejando un manejo poscosecha parcial pero insuficiente para controlar la proliferación fúngica.

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. Achaglinkame MA, Opoku N, Amagloh FK. Aflatoxin contamination in cereals and legumes to reconsider usage as complementary food ingredients for Ghanaian infants: A review. *J Nutr Intermed Metab*. 2017 Dec 1; 10:1–7. doi: 10.1016/j.jnim.2017.09.001
2. Mousavi Khaneghah A, Ismail E, Raeisi S, Fakhri Y. Aflatoxins in cereals: State of the art. *J Food Saf*. 2018 Dec 1;38(6): e12532. doi: 10.1111/jfs.12532.
3. Polak-Śliwińska M, Paszczyk B. Trichothecenes in food and feed, relevance to human and animal health and methods of detection: A systematic review. *Molecules*. 2021 Jan 16;26(2):454. doi: 10.3390/molecules26020454.
4. Salasib A. A Review of Ochratoxin A Occurrence, Condition for the Formation and Analytical Methods. *Int J Agric Sci Food Technol*. 2020 oct 29;180–5. doi: 10.11648/j.jddmc.20200602.11.
5. Topi D, Babić J, Pavšič-Vrtač K, Tavčar-Kalcher G, Jakovac-Strajn B. Incidence of *Fusarium* Mycotoxins in Wheat and Maize from Albania. *Molecules*. 2020 Dec 31;26(1):172. doi: 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. *Toxins (Basel)*. 2021 Jan 26;13(2):92. doi: 10.3390/toxins13020092.
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. *Toxins (Basel)*. 2021 Jul 23;13(8):516. doi: 10.3390/toxins13080516.
9. Lopez de Cerain A, Jimenez AM, Espeleta O, Bello J. Efectos tóxicos de la ocratoxina A. [Internet]. Pamplona: Facultad de Farmacia, Universidad de Navarra [citado 12 mar 2025]. Disponible en: https://www.adiveter.com/ftp_public/articulo804.pdf
10. López LK, 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*. 2009;60(4):590–612. doi: 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*. 2010;168(1–4):547–60. doi: 10.1007/s10661-009-1133-0.
13. Cusco: Evaluación de plagas en el cultivo de maíz - SENASA al día [Internet]. Cusco; 2017 [citado 14 abril 2025]. Disponible en: <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/cusco-evaluacion-de-plagas-en-el-cultivo-de-maiz/>

14. Principales plagas y enfermedades en el cultivo de maíz amarillo duro en costa norte - YouTube [Internet]. [citado 25 feb 2025]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=G1X3BAZFSAo&ab_channel=IniaPeru
15. Cuevas G, Walter I. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Rev Int Contam Ambient*. 2004;20(2):59-68.
16. 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.
17. 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 [citado 18 abril 2025];37(2). Disponible en: <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1267>
18. Riddell RW. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. *Mycologia*. 1950;42(3):265-70.
19. Ruiz-Huerta EA, Armienta-Hernández MA, Dubrovsky JG, Gómez-Bernal JM. Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (*Zea mays* L.) grown close to mine tailings strongly impacts plant development. *Ecotoxicology*. 2022;31(3):447–67. doi: 10.1007/s10646-022-02522-w.
20. Elik Ü, Gül Z. Accumulation potential of lead and cadmium metals in maize (*Zea mays* L.) and effects on physiological-morphological characteristics. *Life (Basel)* [Internet]. 2025;15(2):310. doi: 10.3390/life15020310.
21. Cataldi M, Vigliotti C, Sblendorio V, Ferrara C. Cadmium☆.in: Ref Modul Biomed Sci. Elsevier; 2017. doi: 10.1016/B978-0-12-801238-3.99380-2.
22. Cangelosi V, Ruckthong L, Pecoraro VL. Lead(II) binding in natural and artificial proteins. *Met Ions Life Sci*. 2017;17. doi: 10.1515/9783110434330-010.
23. Yerlikaya Anli R, Akşahin V, DüNDAR Ş, Ahmet NASE. Cadmium pollution impairs maize growth and uptake of cationic essential nutrients. *ISPEC J Agric Sci*. 2022; 6(1):144–53.
24. Zheng Y, Wu W, Sun C, Liu H, Dou J. Occurrence and fate analysis of mycotoxins in maize during the post-harvest period. *Toxins (Basel)*. 2024;16(11): 459. doi: 10.3390/toxins16110459.
25. Mansfield MA, Jones AD, Kuldau GA. Contamination of fresh and ensiled maize by multiple penicillium mycotoxins. *Phytopathology*. 2008 Mar;98(3):330-6. doi: 10.1094/PHYTO-98-3-0330.
26. Giorni P, Bertuzzi T, Battilani P. Impact of fungi co-occurrence on mycotoxin contamination in maize during the growing season. *Front Microbiol*. 2019;10:1265. doi: 10.3389/fmicb.2019.01265.
27. Sperber WH, North American Millers' Association Microbiology Working Group. Role of microbiological guidelines in the production and commercial use of milled cereal grains: a practical approach for the 21st century. *J Food Prot*. 2007;70(4):1041–53. doi: 10.4315/0362-028x-70.4.1041.