

MICOTOXINAS EN HÍBRIDOS DE MAÍZ PRODUCIDOS EN SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

Silvana Ruiz*, Emilio Abel Azar y Matías Romaní

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero

*E-mail: ruiz.silvana@inta.gob.ar

Recibido: 20/10/2023
Aceptado: 13/06/2024

RESUMEN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por determinados hongos que pueden afectar la salud de los seres humanos o animales que los consuman. Uno de los cultivos más susceptibles a ser infectado con hongos productores de micotoxinas es el maíz. En la Argentina, este cultivo se concentra en las provincias de Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Santiago del Estero. En esta última, las condiciones climáticas suelen ser favorables para el desarrollo de hongos productores de micotoxinas, y su presencia puede causar grandes pérdidas en los cultivos en etapas de crecimiento, cosecha y almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar si las micotoxinas, fumonisinas y aflatoxinas, se encuentran presentes en granos de 17 híbridos de maíz producidos en una fecha de siembra tardía en la provincia de Santiago del Estero. Se evaluó el rendimiento del cultivo y determinó la concentración de fumonisinas y aflatoxinas en granos de diversos híbridos mediante el test de ELISA, medidos con lector de microplaca a 450 nm. Los resultados indicaron bajas concentraciones de fumonisinas (mínimo: $0,00019 \pm 0,0007 \mu\text{g kg}^{-1}$; máximo: $0,01 \pm 0 \mu\text{g kg}^{-1}$) y aflatoxinas (mínimo: $1,98 \pm 0,05 \mu\text{g kg}^{-1}$; máximo: $3,31 \pm 0 \mu\text{g kg}^{-1}$) en los híbridos evaluados. Estos valores se encuentran dentro de los límites permitidos por el Código Alimentario Argentino (CAA): $2000 \mu\text{g kg}^{-1}$ de fumonisinas en alimentos de maíz, harina y sémola y $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ de aflatoxinas para alimentos de maíz y derivados. Los resultados obtenidos en una fecha de siembra tardía fueron favorables ya que las concentraciones de micotoxinas resultaron dentro de límites aceptables según el CAA.

Palabras clave: aflatoxinas, fumonisinas, Código Alimentario Argentino, metabolitos secundarios tóxicos.

MYCOTOXINS IN CORN HYBRIDS PRODUCED IN SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

ABSTRACT

Mycotoxins are toxic secondary metabolites produced by certain fungi, which can affect humans or animals' health that consume them. One of the crops most susceptible to being infected with mycotoxin fungi is corn. In Argentina, this crop is concentrated in Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe and Santiago del Estero provinces. In the latter, climatic conditions are usually favorable for the development of mycotoxin fungi, and their presence can cause great losses in crops in the growth, harvest and storage stages. The objective of this work was to evaluate whether mycotoxins: fumonisins and aflatoxins are present in grains from 17 corn hybrids produced at a late planting date in Santiago del Estero province. The crop performance was evaluated and fumonisins and aflatoxins concentration in grains from different hybrids was determined by ELISA test, measured with a microplate reader at 450 nm. The results indicated low concentrations of fumonisins (minimum: $0.00019 \pm 0.0007 \mu\text{g kg}^{-1}$; maximum: $0.01 \pm 0 \mu\text{g kg}^{-1}$) and aflatoxins (minimum: $1.98 \pm 0.05 \mu\text{g kg}^{-1}$; maximum: $3.31 \pm 0 \mu\text{g kg}^{-1}$) in the hybrids evaluated. These values are within the limits allowed by the Argentine Food Code (CAA): $2000 \mu\text{g kg}^{-1}$ of fumonisins in corn flour and semolina foods, and $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ of aflatoxins for corn and foods derived. The results obtained on a late sowing date were favorable since the mycotoxin concentrations were within acceptable limits according to the CAA.

Key words: aflatoxins, fumonisins, Argentine Food Code, toxic secondary metabolites.

INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por determinadas cepas de hongos, pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* y *Alternaria*. Cuando el crecimiento de estos hongos termina o cesa por la falta de algún nutriente esencial (i.e. nitrógeno, carbono, potasio, etc.), el proceso de síntesis se orienta hacia la producción de micotoxinas (Ramos Girona *et al.*, 2020; Zanon *et al.*, 2022). Las primeras micotoxinas identificadas fueron producidas por cepas de *Aspergillus flavus*, conocidas como aflatoxinas (en adelante, AF). Actualmente, se conocen más de 300 micotoxinas, entre las que se encuentran las AF y ocratoxina A (OTA), patulina (PAT), citrinina (CIT), tricotecenos tipo A (TCT), como las toxinas T-2 y HT-2, y tricotecenos tipo B, como deoxinivalenol (DON), 3-acetildeoxinivalenol (3AC-DON) y 15-acetildeoxinivalenol (15AC-DON), fumonisinas (en adelante, FB), entre otros.

La presencia de micotoxinas en determinadas concentraciones en alimentos de consumo humano o animal puede dar lugar a una intoxicación, conocida como micotoxicosis. La micotoxicosis causada por ingestión, inhalación o contacto directo con productos contaminados con toxinas (Ramos Girona *et al.*, 2020) puede generar una amplia variedad de efectos adversos como trastornos gastrointestinales, vasculares, renales y nerviosos, inducción de cáncer y mutagenicidad, entre otros (Vallejo López *et al.*, 2022). Según lo expuesto por Wild (2023), de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), las micotoxinas AF y FB no solo pueden causar intoxicación aguda y cáncer, sino que también contribuyen al retraso en el crecimiento de los niños afectados.

Estos contaminantes pueden encontrarse en diversos cereales, como el maíz, y derivados, y de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), aproximadamente un 25% de los cultivos mundiales, en los que se incluyen muchos alimentos básicos, se ven afectados por el desarrollo de hongos productores de micotoxinas. Se estiman pérdidas por contaminación de este tipo del orden de los 1000 millones de t año⁻¹ e importantes pérdidas económicas directas, como consecuencia de una reducción de la productividad del cultivo, e indirectas, por el aumento de la incidencia de enfermedades en animales que consumen alimento contaminado (FAO, 2023; Vila-López *et al.*, 2023).

Las contaminaciones son más frecuentes y graves en

áreas tropicales y subtropicales, donde los niveles de temperatura y humedad favorecen al desarrollo e infección del hongo y la producción de micotoxinas (Dövényi-Nagy *et al.*, 2020). La contaminación con micotoxinas en el cultivo de maíz puede producirse por una baja eficiencia en el secado y daños por insectos. La combinación del estrés por sequía durante el período previo a la cosecha, sumado al aumento de las lluvias durante y después de la etapa de cosecha, conducen a una mayor contaminación del grano. Las temperaturas altas también favorecen la aparición de plagas y hongos durante el almacenamiento y el deterioro de nutrientes en estos alimentos (López Soroa, 2018).

En el 2021, la Argentina produjo alrededor de 60 millones de t de maíz (FAO, 2023), con una producción concentrada en las provincias de Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Santiago del Estero. La producción de maíz en Santiago del Estero fue de aproximadamente 4.5 millones de t en el período 2022-2023 (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca-MAGyP, 2024). Esta provincia forma parte del Gran Chaco Americano, donde las temperaturas máximas superan los 48 °C, las precipitaciones se concentran en el verano, (Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación, 2020). Estas condiciones, sumadas a una alta demanda por evapotranspiración, suelen producir estrés hídrico y térmico en el cultivo de maíz, que debilitan la planta y la predisponen al desarrollo de diferentes hongos patógenos responsables de las pudriciones de la espiga como, por ejemplo, especies del género *Aspergillus* (e.g. *A. flavus*), productores de AF, y *Fusarium* (e.g. *F. verticillioides* y *F. proliferatum*), productores de FB, tricotecenos (TTC), especialmente DON, nivalenol (Barontini *et al.*, 2020; Zanon *et al.*, 2022).

La presencia de estos compuestos puede causar grandes pérdidas en los cultivos en las etapas de crecimiento, cosecha y almacenamiento. En la Argentina, se estima que la pudrición de la mazorca del maíz disminuye el rendimiento del cultivo entre un 4 y 10% (De Rossi *et al.*, 2016). Por lo tanto, la contaminación por micotoxinas es muy importante para la seguridad alimentaria y es necesario emplear estrategias para minimizarla a niveles que no afecten la salud de los consumidores. De esta manera, evaluar la presencia de estos contaminantes en alimentos para consumo humano y animal es de gran importancia para el cuidado de la salud pública. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la concentración de FB y AF en granos de 17 híbridos de maíz producidos en Santiago del Estero, Argentina.

METODOLOGÍA

Materia prima

Se trabajó con 17 híbridos de maíz pertenecientes a diferentes empresas semilleras participantes de la red de ensayo nacional de maíz del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): ACA473VT3P, ACA476VT3P, AcruxPWU, ADV8413VIP3, BV22.6PWU, BV8472PWUN, DK7210VT3P, DK7220PRO4, DM2773VT3P, KM3916VIP3, LG30680VIP3, LT721VT3P, NK89 0VIP, NS7818VIP3, NS7921VIP3CL, NXM1122PWU y P2021PWU.

Ensayo a campo

La siembra de los híbridos se realizó en el campo experimental Anexo Francisco Cantos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero, INTA, Argentina (28° 03' S; 64° 15' O; 169 m s.n.m.), el día 24 de enero del año 2022. La siembra se realizó de forma manual a 0,52 m de distancia entre hileras (tamaño de parcela: 12,48 m²), con una densidad de siembra de 80000 plantas ha⁻¹. Se empleó un diseño completamente al azar donde cada parcela individual correspondió a cada híbrido y consistió en cuatro líneas con 6 m de largo en tres repeticiones. La cosecha se realizó en madurez fisiológica con el fin de estimar rendimiento y cuantificar el contenido de micotoxinas en los granos.

El lote utilizado presenta un suelo franco limoso, perteneciente a la serie "La María" (Angueira y Zamora, 2007) bajo manejo de labranza convencional. Las propiedades del suelo en los primeros 30 cm al momento de la siembra fueron: pH agua= 7,3 y contenido de materia orgánica= 0,92%. El experimento se llevó a cabo sin limitaciones hídricas y nutricionales. Para ello, se aplicó riego por manto cada 25-30 días durante el ciclo del cultivo sumado a los 103 mm de lluvia registrados durante la duración del ensayo en la estación Weather Monitor II (Davis Instruments, CA, USA, del mismo campo experimental). Se fertilizó con 400 kg ha⁻¹ de urea en el estado fenológico V3 (Ritchie, 1982).

Determinaciones

Se realizaron las determinaciones y cuantificaciones que se enumeran a continuación:

(i). Rendimiento (kg ha⁻¹): se estimó a partir de la cosecha de cinco metros lineales en los dos surcos centrales de cada parcela y se corrigió al 14,5% de humedad. Además, se corrigió el peso (g) de 1000 granos (PG) en cada parcela a 14,5% de humedad y se determinó el número de granos m⁻², con base en

la relación entre rendimiento m⁻² y PG.

(ii). Micotoxinas (μ kg⁻¹): se determinó la concentración de FB y AF en los granos cosechados de maíz por el método rápido ELISA (RIDASCREEN® FAST Aflatoxina y Fumonisin, r-Biopharm, Alemania). Las determinaciones se realizaron en los siguientes laboratorios: Laboratorio de Suelos del INTA, Santiago del Estero, laboratorio del Instituto de Nanobiotecnología del NOA y Laboratorio de Producción y Reproducción Animal (INBIONATEC), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), situado en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Se cosecharon mazorcas de cada híbrido, las que se dejaron secar naturalmente para alcanzar el equilibrio (12%), y luego se desgranaron, según lo establecido por (Presello *et al.*, 2007). Los granos de maíz fueron mezclados y aireados (por cada tipo de híbrido); de este pool se extrajo una muestra de 250 g de granos, las que se molieron usando un molino de mesa (Molino Wiley, Argentina) provisto de un tamiz con malla de 1 mm. Para la extracción de micotoxinas, las muestras, una vez molidas, fueron homogeneizadas. Posteriormente, se pesaron 5 g de muestra en tubos Falcon y se adicionaron 25 ml de una mezcla de metanol y agua en una proporción 70:30 v/v (Presello *et al.*, 2007). La mezcla se agitó en posición horizontal durante 10 min, se filtró utilizando un papel de filtro Whatman N° 1 y se diluyó 1:14 con una mezcla de metanol y agua en una proporción 5:95 v/v, de acuerdo con el procedimiento establecido por el Laboratorio de Fito patología del INTA, EEA Pergamino. Los extractos y cinco patrones, a concentraciones de 0,000, 0,222, 0,667, 2,000 y 6,000 mg l⁻¹ de FB y 0,000, 0,0017, 0,005, 0,015, 0,040 mg l⁻¹ de AF, se sometieron al método ELISA. La absorbancia de los pocillos se midió a 450 nm con un lector de microplacas (Tecan, Infinite F50, Software Magellan 6.5). La concentración de FB y AF de las muestras se estimó con los estándares positivos y se utilizó el software RIDA® SOFT win para la determinación de FB (R5602 FAST Fumonisin) y AF (R5202 FAST Aflatoxinas).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de rendimiento se evaluaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó con una prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) con un nivel de significancia de α= 0,05. Por otro lado, para el estudio de las

concentraciones de FB y AF se empleó un ANOVA unidireccional, y la comparación de medias se realizó utilizando una prueba *post-hoc* de Tukey con un nivel de significancia con $\alpha = 0,05$. Para realizar el análisis estadístico de los datos se empleó el programa InfoStat, V. 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio del ensayo fue de 7045 ± 667 kg ha⁻¹, y los resultados de rendimiento de los diferentes híbridos evaluados se muestran en la Figura 1. El híbrido con menor rendimiento fue AcruxPWU, con 5860 ± 437 kg ha⁻¹, y el de mayor rendimiento fue NXM-1122PWU, con 7959 ± 416 kg ha⁻¹. Sin embargo, las diferencias no fueron significativas entre los distintos híbridos evaluados ($p = 0,0508$).

Las concentraciones de FB y AF se muestran en las Figuras 2 y 3. Se encontraron diferencias significativas

entre híbridos tanto para FB ($p < 0,0001$) como para AF ($p = 0,0179$). Por un lado, en el caso de FB, no se encontraron diferencias significativas entre los híbridos ACA-476VT3P, AcruxPWU, ADV8413VIP3, BV22.6PWU, BV8472PWUN, DK7210VT3P, DK7220PRO4, DM2773VT3P y KM3916VIP3 ($p > 0,05$). Sin embargo, los que presentaron mayor concentración de FB fueron los híbridos ADV8413VIP3 y BV22.6PWU ($0,01 \mu\text{g kg}^{-1}$), mientras que los demás híbridos registraron concentraciones más bajas de FB. Por otro lado, las concentraciones de AF cuantificadas no fueron significativas para los híbridos ACA476VT3P, AcruxPWU, ADV8413VIP3, BV22.6PWU, BV8472PWUN, DK7210VT3P, DK7220PRO4, DM2773VT3P, KM3916VIP3, LG30680VIP3, LT721VT3P, NK890VIP, NS7818VIP3, NS7921VIP3CL, NXM1122PWU y P2021PWU ($p > 0,05$). No obstante, el híbrido DM2773VT3P fue el de mayor valor de AF ($3,31 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Los resultados obtenidos fueron favorables ya que se

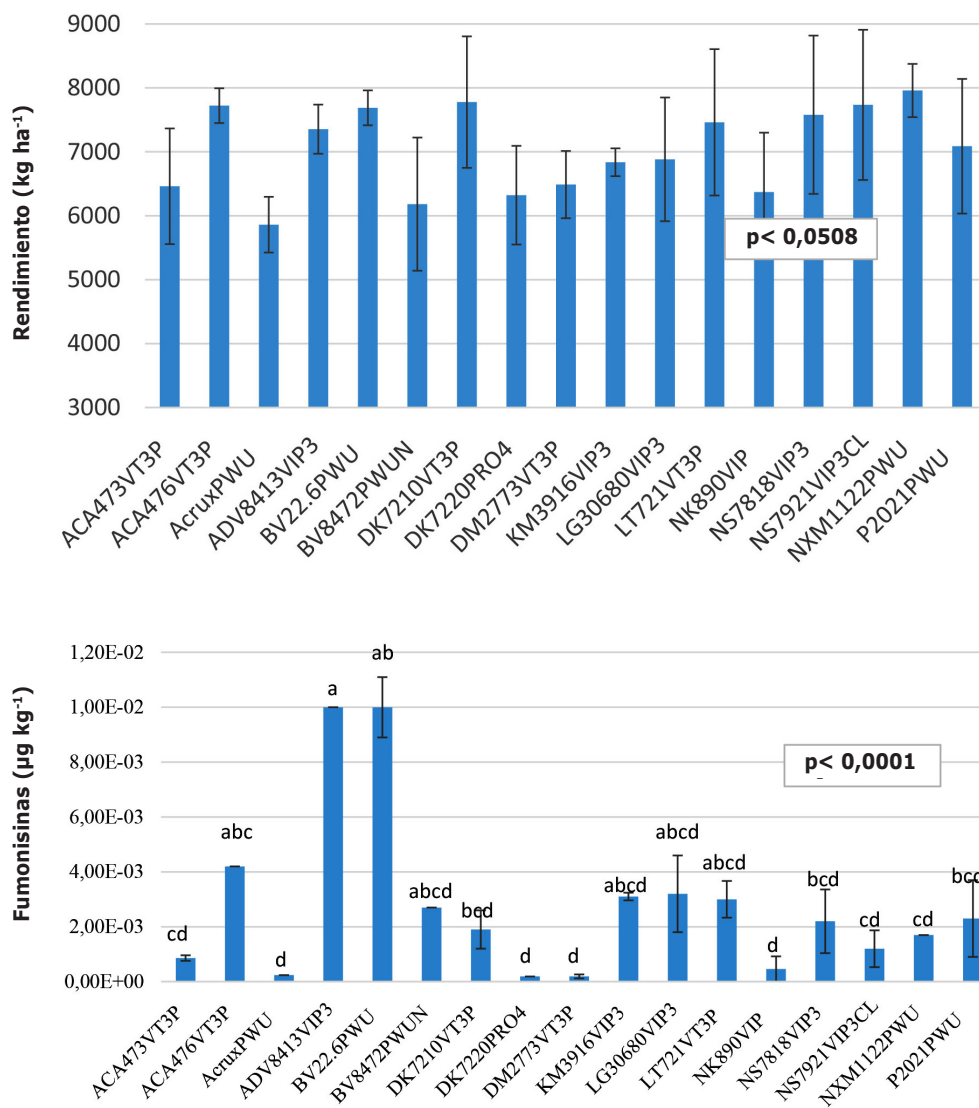


Figura 1. Rendimiento de 17 híbridos de maíz sembrados en el año 2022 en el campo experimental Anexo Francisco Cantos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero de INTA, Argentina. Evaluado al 14% de humedad. Las columnas muestran la media ($n = 3$) y las barras verticales, el desvío estándar. Diferencias significativas para $p < 0,05$.

Figura 2. Concentración de fumonisinas en granos cosechados con un 12% de humedad de los 17 híbridos de maíz sembrados en el campo experimental Anexo Francisco Cantos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero de INTA, Argentina. Las columnas muestran la media ($n = 3$) y las barras verticales, el desvío estándar. Diferencias significativas para $p < 0,05$.

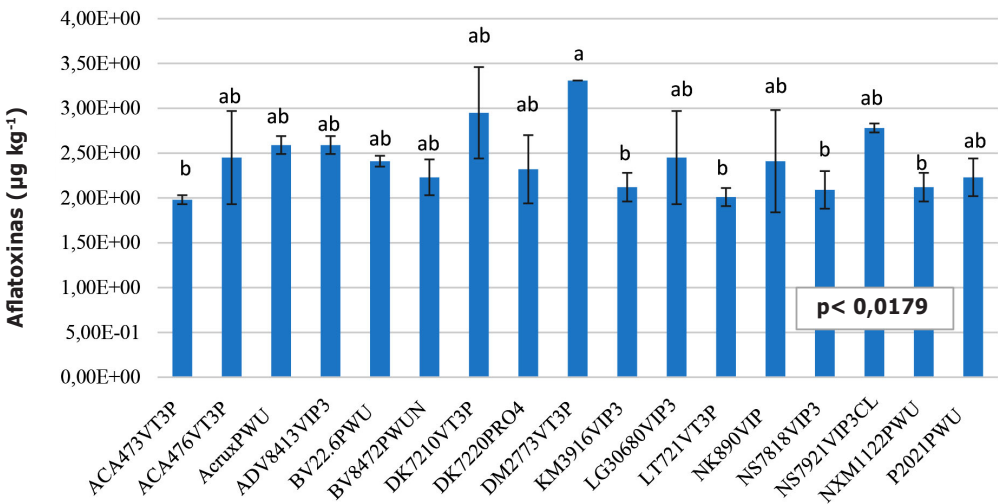


Figura 3. Concentración de aflatoxinas en granos cosechados con un 12% de humedad de los 17 híbridos de maíz sembrados en el campo experimental Anexo Francisco Cantos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santiago del Estero de INTA, Argentina. Las columnas muestran la media (n=3) y las barras verticales, el desvío estándar. Diferencias significativas para $p < 0,05$.

registraron concentraciones de FB y AF relativamente bajas y dentro de los límites permitidos por el Código Alimentario Argentino (CAA), el cual constituye un conjunto de disposiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial del Reglamento Alimentario aprobado por Decreto 141/1953 (CAA, 2023). De acuerdo con este y su artículo 156 bis (Res. 112, 10.05.88), se consideran no aptos para el consumo los alimentos (*i.e.* maíz, alimentos a base de maíz, granos de maíz enteros, aplastados o descascarados, harina o sémola) cuyo contenido de AF exceda el límite de 20 µg kg⁻¹ de AF (B1+B2+G1+G2). Además, en alimentos para lactantes, no se admite la detección de AF en alimentos a base de cereales. Por su parte, el artículo 156 cuarto (Res. SRyGS-SAB 22/2019, 22/07/2019) establece como límite permitido de FB en alimentos de maíz, harina y sémola 2000 µg kg⁻¹ en todo el producto.

Por otro lado, Rodríguez (2018) evaluó el comportamiento de diferentes híbridos de maíz frente a una cepa de *A. flavus* en un ensayo realizado en la provincia de Córdoba en el INTA EEA Manfredi en dos fechas de siembra (septiembre y octubre). En este trabajo realizaron la inoculación de la cepa por dos técnicas: (i) por inoculación al inicio del estado reproductivo del maíz, cuando emergen los estigmas y (ii) por inoculación de granos 12 días después de la formación de la espiga. A diferencia de lo que se desarrolla en el presente trabajo, ese autor inoculó la materia prima con la cepa, y no cuantificó la concentración de AF producidas por el hongo. Sin embargo, Rodríguez (2018) pudo establecer un comportamiento distinto de los híbridos según la fecha de siembra al realizar una evaluación de incidencia del grano en medio APG al 2%, y registró una

mayor incidencia en el mes de septiembre, donde los híbridos sufrieron mayor estrés debido a las condiciones ambientales de bajas precipitaciones y altas temperaturas ocurridas en las etapas de floración y polinización. En cambio, Bonilla (2020) evaluó el contenido de FB en muestras de espigas de maíz cosechadas de localidades de tres provincias del norte argentino (Chaco, Tucumán y Salta) entre los años 2010 y 2015. Los resultados indicaron que entre las distintas zonas no encontraron diferencias significativas (Chaco: 1,48 mg kg⁻¹, Tucumán: 1,45 mg kg⁻¹ y Salta: 1,54 mg kg⁻¹). Los valores estimados por Bonilla (2020) se encuentran por encima de lo hallados en el presente trabajo para híbridos producidos en Santiago del Estero.

En este trabajo, las concentraciones de FB y AF halladas no influyeron en el rendimiento, el cual no difirió significativamente entre híbridos. De acuerdo con la bibliografía consultada, existen diversos factores de riesgo que pueden dar lugar al desarrollo de hongos productores de micotoxinas durante el desarrollo del cultivo, la cosecha, el almacenamiento y el procesamiento de los granos. Entre ellos, se destacan la temperatura, las prácticas agronómicas, la susceptibilidad del cultivo y variedad, el estado de madurez de los granos al momento de cosecha, los daños mecánicos o daños producidos por insectos y/o aves sobre el grano, las condiciones de almacenamiento, humedad o agua libre y actividad de agua de los granos (Gimeno y Martins, 2011; López Soroa, 2017; Imran *et al.*, 2020). En el presente trabajo, como se registró una baja disponibilidad de agua en la fecha habitual de siembra del cultivo, se tuvo que retrasar la fecha de siembra a la tercera semana de enero. Esto, a su vez, expuso al cultivo a

temperaturas más frescas y a una menor radiación incidente en comparación con una siembra en el mes de diciembre o principios de enero, condiciones que no son favorables para el desarrollo de hongos. Se podrían realizar ensayos adicionales, con el fin de evaluar el comportamiento del cultivo en otras fechas de siembra.

CONCLUSIONES

La presencia de micotoxinas en el cultivo de maíz no solo afecta la productividad y el rendimiento del cultivo en términos de cantidad de grano cosechado y su calidad, dando lugar a grandes problemas de comercialización; sino que también constituye un riesgo para la salud tanto animal, a través del consumo de forrajes, como humana, mediante el consumo de alimentos derivados contaminados con estos compuestos. Los resultados obtenidos en este estudio en una fecha de siembra tardía

(fines de enero) fueron favorables ya que las concentraciones detectadas de FB y AF resultaron dentro de límites aceptables según la legislación vigente y establecida por el CAA.

AGRADECIMIENTOS

Este grupo de trabajo agradece la colaboración de la Dra. Sumampa Corea con dependencia en el Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC), Centro Científico Tecnológico CONICET NOA Sur (CCT NOA Sur) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en las determinaciones realizadas respecto al contenido de micotoxinas. Este trabajo se encuentra con financiamiento por parte de proyectos INTA: 1.6.2.7.PE.I147 - Inocuidad de alimentos y 1.7.2.L4.PE.I120 - Inocuidad física, química y biológica de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Angueira, C. y Zamora, E. (2007). *Oeste del área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina*. Serie de informes técnicos EEA Santiago del Estero, Nº 40. INTA.
- Barontini, J., Druetta, M., Luna, I. M., Torrico, A. K., Chulze, S. N. y Giménez Pecci, M. P. (2020). Presencia de *Aspergillus flavus* en lotes de maíz de Santiago del Estero, norte de Córdoba y este de Tucumán. *Red de Innovadores, Revista Técnica de Maíz*, 91-93.
- Bonilla, J. R. (2020). *Evaluación de fumonisinas producidas por Fusarium spp. y su control mediante fungicidas en maíz duro en el norte de Argentina* (pp. 104, tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/29703>
- Código Alimentario Argentino-CAA. (2023). Ley Nº 18284 Reglamentado por Decreto 2126/ 1971. Disposiciones higiénico-sanitarias, bromatológicas y de identificación comercial del Reglamento Alimentario aprobado por Decreto 141/1953. Capítulo III, Artículo 156 bis y 156. <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario> [Acceso: 31 de mayo de 2023].
- De Rossi, R., Guerra, F., Plaza, M.C., Vuletic, E., Brucher, E., Guerra, G., Couretot, L., Parisi, L. y Magnone, G. (2016). *Enfermedades del maíz en las últimas cinco campañas*. En: Actas resúmenes del XXIV Congreso Aapresid-Resiliar. Rosario, Argentina, 3 p.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2017). *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dirección Nacional de Agricultura-Dirección de Estimaciones Agrícolas. (2023). *Producción de maíz en Santiago del Estero*. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. [Acceso: 12 de enero de 2023].
- Dövényi-Nagy, T., Rácz, C., Molnár, K., Bakó, K., Szláma, Z., Jóźwiak, Á., Farkas, Z., Pócsi, I. y Dobos, A. C. (2020). Pre-harvest modelling and mitigation of aflatoxins in maize in a changing climate environment. *Toxinas*, 12, 768. <https://doi.org/10.3390/toxins12120768>
- Food and Agriculture Organization-FAO. (2023). FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [Acceso: 22 de mayo de 2023].
- Food and Agriculture Organization-FAO. (2023). *Food safety and quality. Mycotoxins*. FAO. <https://www.fao.org/food/food-safety-quality/a-z-index/mycotoxins/es/> [Acceso: 29 de mayo de 2023].
- Gimeno, A. y Martins, M. L. (2011). *Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos* (pp. 130). 3ª ed. Special Nutrients, INC.
- Imran, M., Cao, S., Wan, S. F., Chen, Z., Saleemi, M. K., Wang, N., Naseem, M. N. y Munawar, J. (2020). Mycotoxins - a global one health concern: A review. *Agrobiological Records*, 2, 1-16. <https://doi.org/10.47278/journal.abr/2020.008>
- López Soroa, A. P. (2017). *Influencia de factores agronómicos sobre la contaminación por micotoxinas en maíz* (pp. 46, tesis de Maestría). Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, España. <https://zaguan.unizar.es/record/63638#>
- Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación. (2020). Características de la región. Parque Chaqueño. <chrome-extension://efaidnbmn-nibpcajpcglclefindmkaj/https://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/informacion-por-region/parque-chaqueno.pdf>
- Presello, D. A., Iglesias, J., Botta, G. y Eyherabidn G. H. (2007). Severity of *Fusarium* ear rot and concentration of fumonisin in grain of Argentinian maize hybrids. *Crop Protection*, 26, 852-855.
- Ramos Girona, A. J., Marín Sillué, S., Molino Gahete, F., Vila Donat, P. y Sanchis Almenar, V. (2020). Las micotoxinas: el enemigo silencioso. *Arbor*, 196(795), a540. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1004>
- Ritchie J. T. y Hanway J. J. (1982). *How a corn plant develops*. Crop Extension S., Iowa State Univ. of Science and Technology.
- Rodriguez, A. V. (2018). *Comportamiento de híbridos de maíz ante una cepa de Aspergillus flavus en la provincia de Córdoba* (pp. 91, tesis Magister Scientiae). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/70667/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Vallejo López, A., Pilco Asqui, E., Ramírez Amaya, J. y Peñafiel Pazmiño, M. (2022). La micotoxicosis y su impacto en la salud. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 6(3), 155-165.
- Vila-López, M. V., Pallarés, N., Ferrer, E. y Tolosa, J. (2023). Determinación y aparición de micotoxinas en pseudocereales destinados a alimentos y piensos: una revisión. *Toxinas*, 15, 379. <https://doi.org/10.3390/toxins15060379>
- Wild, C. (2023). *The health effects of aflatoxins and fumonisins*. International Agency for Research on Cancer (IARC), World Health Organization. <https://www.iarc.who.int/video/in-a-new-report-published-by-the-international-agency-for-research-on-cancer-iarc-a-working-group-of-experts-reviewed-the-health-effects-of-aflatoxins-and-fumonisin-dr-christopher-wild-director/> [Acceso: 29 de mayo de 2023].
- Zanon, A. S., Bossa, M., Chiotta, M. L., Oddino, C., Giovanini, D., Cardoso, M. L., Bartosik, R. E. y Chulze, S. N. (2022). Pre-harvest strategy for reducing aflatoxin accumulation during storage of maize in Argentina. *International Journal of Food Microbiology*, 380. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109887>