

Comunicación Breve

Evaluación de variedades de maíz (*Zea mays*) en Monteagudo: Rendimiento, adaptabilidad y resistencia a estrés

Evaluation of maize (*Zea mays*) varieties in Monteagudo: Yield, adaptability, and stress resistance

Heriberto Reynoso Montes^{1*} & Manuel H. Jiménez Huamán¹

*Autor de Correspondencia: reynoso-heriberto@usfx.bo

¹ Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Calle Calvo N° 132, Casilla Postal 1046, Sucre – Bolivia.

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

La evaluación de variedades de maíz (*Zea mays*) es fundamental para identificar materiales con mejor adaptación a las condiciones agroclimáticas de Monteagudo, Bolivia. En este contexto, se estableció un acuerdo institucional para evaluar nueve variedades de maíz, desarrolladas por el Programa Maíz del Centro de Investigaciones Fitogenéticas de Pairumani (CIFP-Cochabamba). El estudio se realizó en el Centro Experimental El Bañado, de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, utilizando un diseño experimental con nueve variedades y un testigo local, en una parcela de 705 m². Se analizaron características agronómicas como floración, altura de planta y mazorca, cobertura, tipo de grano y rendimiento (t/ha). Los resultados indicaron susceptibilidad al estrés hídrico y a altas temperaturas, lo que provocó desincronización floral y enfermedades foliares. La variedad local Canario tuvo el mayor rendimiento (1.76 t/ha), seguida por Aychasara-102 (1.12 t/ha). Por tanto, se concluye que la adaptabilidad al clima es clave en la selección varietal.

Palabras clave: adaptación, estrés hídrico, El Bañado, variedad Canario.

Abstract

The evaluation of maize (*Zea mays*) varieties is essential for identifying materials with better adaptation to the agroclimatic conditions of Monteagudo, Bolivia. In this context, an institutional agreement was established to assess nine maize varieties developed by the Maize Program of the Pairumani Phytogenetic Research Center (CIFP-Cochabamba). The study was conducted at the El Bañado Experimental Center of the Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, using an experimental design with nine varieties and a local control in a 705 m² plot. Agronomic traits such as flowering time, plant and ear height, ear coverage, grain type, and yield (t/ha) were analyzed. The results indicated susceptibility to water stress and high temperatures, leading to floral desynchronization and foliar diseases. The local Canario variety achieved the highest yield (1.76 t/ha), followed by Aychasara-102 (1.12 t/ha). Therefore, climate adaptability is a key factor in varietal selection.

Key words: adaptation, water stress, El Bañado, Canario variety.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial debido a su versatilidad en usos industriales, consumo humano y producción de forrajes. En las últimas décadas, se proyectó un incremento significativo en la demanda de maíz, alcanzando aproximadamente 1 200 millones de toneladas en 2 025 (Narro, 2011). En Bolivia, el maíz es cultivado en una superficie de 36 4000 hectáreas, generando una producción anual de 77 6000 toneladas métricas, donde la mayor parte es destinada al sector pecuario y una fracción menor al consumo humano (Paz, 2008). La región del Chaco boliviano, que abarca los departamentos de Tarija, Santa Cruz y Chuquisaca, constituye un área estratégica para la producción de maíz debido a sus condiciones agroecológicas favorables y su importancia histórica en la diversificación agrícola.

La producción de maíz en Bolivia enfrenta desafíos significativos relacionados con el rendimiento y la calidad del grano. En el Chaco Boliviano, los agricultores utilizan variedades nativas como Avatimoroti, Avati Aba y Avati Tupi, entre otras, que han sido adaptadas al entorno local y poseen un alto valor cultural y alimenticio (Claure & Maita, 2006). Sin embargo, la introducción de híbridos comerciales con alto potencial de rendimiento está desplazando progresivamente las variedades criollas, que presentan limitaciones como baja productividad y desincronización floral. No obstante, estas variedades criollas destacan por su calidad proteica y su relevancia en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

Diversos estudios han evidenciado que factores como la suplementación del suelo con nitrógeno y azufre pueden mejorar significativamente el contenido de clorofila y el rendimiento de grano en maíz (Szulc et al., 2012). Además, la utilización de sensores y datos climáticos permite predecir el rendimiento durante la temporada, mejorando la toma de decisiones en sistemas de producción (Dhillon et al., 2020). Investigaciones recientes también han explorado el papel de los microorganismos en la fertilización integrada y su impacto en cultivos como el maíz, demostrando su efecto positivo en la absorción de nutrientes y el crecimiento vegetal (El-Tarabily et al., 2006). Estas estrategias representan herramientas clave para incrementar la productividad y sostenibilidad en regiones como el Chaco boliviano, donde los sistemas agrícolas enfrentan limitaciones ambientales y socioeconómicas.

Por lo tanto, el presente estudio evalúa el rendimiento, la adaptabilidad y la resistencia al estrés de variedades de maíz de usos especiales provenientes del Centro de Investigación Fitoecogenética Pairumani (CIFP), bajo las condiciones agroecológicas del Centro Experimental "El Bañado", en la Unidad Académica de Monteagudo, Bolivia.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó en el Centro de Investigación Agroforestal y Agroadministrativo "El Bañado"(CIAA - EB) de la Unidad Académica de Monteagudo, que incluye las carreras de Ingeniería Agroforestal y Administración Agropecuaria de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. La localidad de Monteagudo, ubicada en la primera sección del municipio homónimo, se encuentra en el departamento de Chuquisaca, a una altitud de 1 120 msnm. La precipitación promedio anual en la zona varía entre 800 y 900 mm, con una temperatura promedio anual de 23°C y una humedad relativa promedio del 76%. La principal actividad económica del municipio es la producción de maíz, seguida de cultivos de maní, ají y otras leguminosas de grano.

Diseño y parcela experimental

El diseño fue implementado en el Centro de Investigación Agroforestal y Agroadministrativo "El Bañado"(CIAA - EB) de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, ubicado en el Municipio de Monteagudo, Departamento de Chuquisaca, Bolivia. La parcela experimental se estableció en un área de 430 m², con suelo franco-arenoso. Para el establecimiento de la parcela, se utilizó un tractor agrícola acoplado a una rastra de tiro muerto, realizando la apertura de surcos a una distancia de 75 cm entre ellos. En la siembra se incorporó nitrógeno (urea al 46%) para promover el crecimiento adecuado de las plantas.

El Diseño Experimental aplicado fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 repeticiones y 10 tratamientos (9 variedades de maíz de usos especiales del CIFP y 1 testigo local). Las unidades experimentales constaron de 4 surcos de 5 m de largo, con una distancia de 0.75 m entre surcos. En cada surco se sembraron 3 semillas por golpe, colocadas a una distancia de 0.50 m entre sí. En total, se establecieron 10 unidades experimentales, cada una correspondiente a un tratamiento específico.

Los tratamientos consisten en 10 variedades de maíz de usos especiales obtenidas del Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), una institución dedicada al mejoramiento genético de cultivos para los valles interandinos y templados. Estas variedades incluyen: Pairumani Compuesto 22, Pairumani Aychasara 2, Pairumani Compuesto 20, Pairumani Choclero 3, Pairumani Compuesto 10, Pairumani Choclero 2, Aychasara 102, Aychasara 101, Ancho Selección Pairumani, y Canario (Testigo Local).

Variables analizadas

La Tabla 1, resume las variables dependientes e independientes del estudio, facilitando su análisis y comprensión.

Tabla 1. Variables dependientes e independientes evaluadas en el estudio de rendimiento de variedades de maíz

Variable	Variable	Descripción
Dependientes	Días a floración masculina y femenina	Número de días desde la siembra hasta la aparición de más del 50% de plantas con espigas (floración masculina) y estigmas (floración femenina).
	Altura de planta	Medición de la altura de la planta desde la base hasta la última hoja (hoja bandera), utilizando una regla graduada de 3 m.
	Altura de mazorca	Medición de la altura de la mazorca desde la base de la planta hasta la inserción de la primera mazorca.
	Incidencia de enfermedades	Calificación de 1 a 5, donde: 1 = libre de enfermedades, 2 = muy leve ataque, 3 = leve presencia, 4 = ataque fuerte, 5 = severo ataque de enfermedades.
	Cobertura de mazorca	Calificación de 1 a 5, donde: 1 = excelente, 2 = muy bueno, 3 = regular, 4 = malo, 5 = muy malo.
	Aspecto de mazorca	Calificación de 1 a 5, similar a la cobertura de mazorca.
	Frío	Cálculo del rendimiento (kg/ha) usando la fórmula que considera el porcentaje de cosecha, humedad y porcentaje de desgrane
Independientes	Variedades de maíz	Las 10 variedades utilizadas en el estudio, incluyendo tanto variedades del CIPF como el testigo local (Canario)
	Condiciones de siembra	Distancia entre surcos (0.75 m) y entre golpes (0.50 m), en todos los tratamientos.
	Condiciones agroecológicas	Características de la parcela experimental (suelo franco-arenoso, incorporación de nitrógeno, etc.), mantenidas constantes durante el estudio.

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron procesados mediante análisis estadístico utilizando el software estadístico para el diseño experimental, con el fin de determinar las diferencias significativas entre los tratamientos. Los datos fueron sometidos a ANOVA (Análisis de Varianza) para evaluar el efecto de las diferentes variedades sobre las variables agronómicas evaluadas. En caso de encontrar diferencias significativas, se realizó la prueba de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos. Los resultados de cada tratamiento fueron evaluados en función de su desempeño agronómico y su adaptabilidad a las condiciones agroecológicas del área de estudio.

Resultados

Caracteres agronomicos

Los resultados de la Tabla 2, muestran que las variedades de maíz estudiadas influyen de manera significativa en varias características agronómicas. La altura de planta (ALT.PTA) presentó una diferencia altamente significativa, lo que indica que las variedades de maíz tienen un fuerte impacto sobre esta variable. El aspecto de la planta (ASP.PTA) y la cobertura de mazorca (COB Mz) también fueron significativamente afectados, lo que sugiere que las variedades influyen la calidad visual y la cobertura de las mazorcas. Por otro lado, la sanidad foliar (SANIDAD) mostró diferencias significativas, destacando que algunas variedades son más resistentes a enfermedades. Sin embargo, la altura de mazorca (ALT.Mz) no registro estadísticamente diferencias significativas, lo que indica que este factor no fue influenciado por los tratamientos.

Las floraciones masculina y femenina (DFM y DFF) también fueron influenciadas, aunque de forma marginalmente significativa, lo que sugiere que las variedades pueden tener un impacto en el tiempo de floración. En conjunto, estos resultados indican que los tratamientos afectan de manera significativa varias características clave del maíz, mientras que la altura de mazorca no presentó diferencias notables entre las variedades.

Rendimiento de variedades

En la Tabla 3, el análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas en el rendimiento de las diferentes variedades de maíz, ya que el valor F para los tratamientos es significativo al nivel del 5% ($p = 0.178$). Esto sugiere que los tratamientos (las distintas variedades de maíz) influyen en el rendimiento, con la variedad Canario (testigo local) superando a las variedades del CIPF en cuanto a rendimiento. A pesar de esta superioridad de la variedad local, la variedad Aychasara-102 mostró una mejor adaptabilidad a las condiciones agroecológicas del CIAA - EB, lo que podría indicar que esta variedad tiene un mayor potencial en términos de adaptación a las condiciones locales.

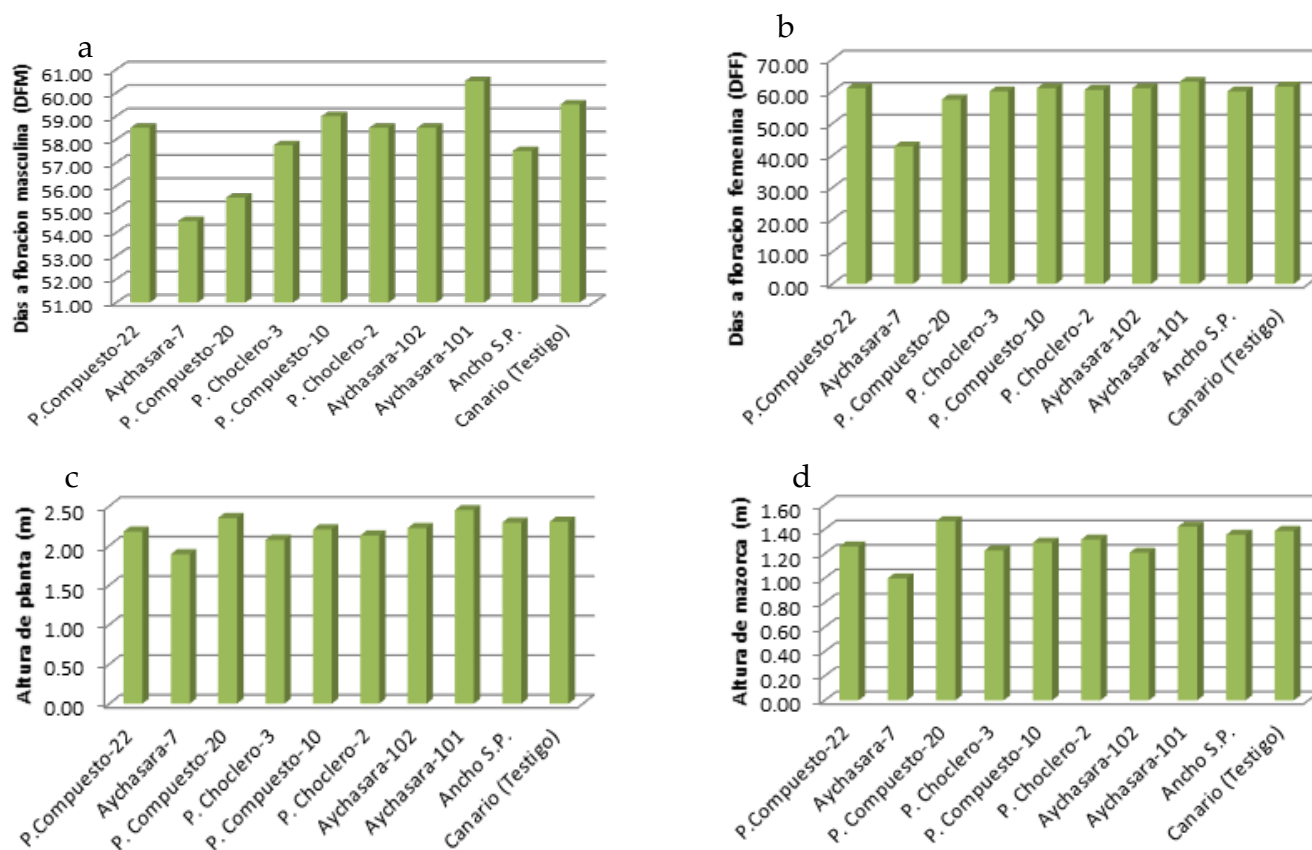
Además, las repeticiones también demostraron ser significativas ($p = 0.573$), lo que resalta la confiabilidad de los resultados obtenidos en diferentes repeticiones del experimento. Finalmente, el error tiene una varianza considerable, lo que sugiere que pueden existir factores no controlados que influyen en los resultados, pero en general, las diferencias entre tratamientos son significativas, especialmente entre las variedades locales y las del CIPF.

Tabla 2. Cuadrados medios de caracteres agronómicas de 10 variedades de maíces de usos especiales, Centro Experimental El Bañado

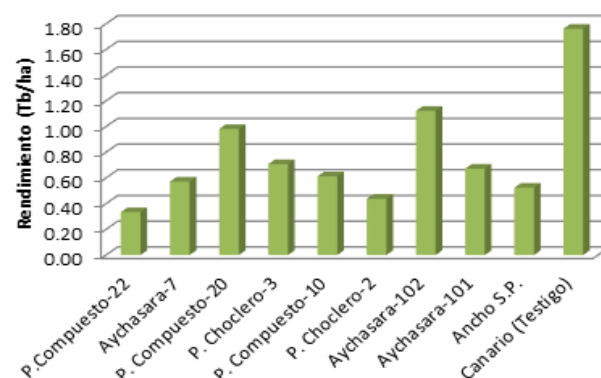
Características agronomicas	DFM	DFE	ALT. PTA	ALT Mz	ASP. PTA	COB Mz	ASP Mz	SANIDAD Mz
Cuadrados Medios	5.914**	7.211*	0.079*	0.052*	0.336**	2.00NS	1.044*	3.80*
Media	57.975	60.2	2.2092	1.2917	3.175	2	3.55	3.8
S	2.486	2.524	0.271	0.224	0.712	0	0.932	0
C.V.	34.25	33.36	17.98	19.52	42.49	0	49.41	0

* Significativo al nivel del 5%

** Altamente significativo al nivel del 1 y 5%NS No significativo

**Figura 1.** Comparaciones características agronómicas en 10 variedades de maíz.: (a) Días a floración masculina, destacando las diferencias en la rapidez con la que cada variedad alcanza la floración masculina. (b) Días a floración femenina, proporcionando información similar sobre el tiempo hasta la aparición de los estigmas en cada variedad. (c) Diferencias en la altura de la planta, evaluando el crecimiento vertical de las variedades de maíz. Finalmente, (d) Altura de inserción de la mazorca entre las 10 variedades, proporcionando una visión más completa sobre el desarrollo físico de las plantas y su capacidad para producir mazorcas.**Tabla 3.** Análisis de varianza de la variable rendimiento (t/ha), en 10 variedades de maíces de usos especiales, Centro Experimental El Bañado.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F	p
Tratamientos	5.749	9	0.639*	1.559	0.178
Repeticiones	0.835	3	0.278*	0.679	0.573
Error	11.060	27	0.409		
Total	Suelos	17.644	39		

**Figura 3.** Comparación de rendimiento (t/ha) en 10 variedades de maíces.

Discusión

El experimento, permitió analizar el comportamiento agronómico de 10 variedades de maíz, incluyendo nueve de usos especiales provenientes del CIFP y una local (Canario) bajo las condiciones agroecológicas del Chaco Subandino. La preparación del suelo y el manejo del cultivo se realizaron siguiendo prácticas estándar, incluyendo la incorporación de nitrógeno, lo cual es coherente con estudios que destacan la importancia de la fertilización nitrogenada para mejorar el rendimiento y la calidad del grano en maíz (Szulc et al., 2012; Kumar et al., 2015). Sin embargo, las altas temperaturas y el déficit hídrico en la región afectaron negativamente la sincronización floral de las variedades, un fenómeno también reportado en investigaciones que asocian el estrés abiótico con una reducción significativa en la eficiencia reproductiva del cultivo (Dhillon et al., 2020).

Los resultados de las evaluaciones agronómicas mostraron alta variabilidad en características como altura de planta y mazorca, además de una marcada susceptibilidad a enfermedades, especialmente pudrición de mazorca. Esto refuerza hallazgos previos que destacan la influencia del ambiente sobre la manifestación fenotípica de las variedades de maíz, particularmente bajo condiciones de estrés hídrico y térmico (Brajmani et al., 2010; Srinivasarao et al., 2010). Es importante señalar que, aunque la variedad Canario tuvo mejor rendimiento (1.76 t/ha), otras variedades como Aychasara 102 también mostraron potencial, indicando la posibilidad de desarrollar materiales genéticos adaptados al entorno con mayor énfasis en la resistencia a factores abióticos y enfermedades.

Finalmente, el análisis estadístico indicó diferencias significativas en las variables de días a floración masculina y otras características agronómicas, sugiriendo la necesidad de continuar evaluando estas variedades en múltiples ciclos de cultivo. Estudios como el de El-Tarabily et al. (2006) subrayan la relevancia de la interacción entre genotipo y ambiente, además del manejo del suelo, para maximizar la productividad. En este contexto, la introducción y evaluación de variedades mejoradas debe complementarse con estrategias de manejo sostenible, como el uso de fertilización integrada y la selección de materiales con alta estabilidad genética y adaptabilidad. Estas estrategias podrían contribuir significativamente a la seguridad alimentaria en regiones como el Chaco Subandino, con condiciones climáticas desafiantes.

Conclusiones

La evaluación de variedades de maíz del CIFP en el Chaco Subandino permitió identificar su potencial de adaptación y contribución a la seguridad alimentaria. Aunque las condiciones agroclimáticas favorecen al desarrollo vegetativo, pero con algunas desincronizaciones no favorables en los maíces de grano blando, las variedades en evaluación mostraron

buen vigor y uniformidad, pero con desincronía floral y susceptibilidad a enfermedades, excepto el testigo local Canario, que obtuvo el mayor rendimiento (1.76 t/ha), seguido de Aychasara 102 (1.12 t/ha). Estos resultados resaltan la importancia de la cooperación institucional para la introducción y evaluación de nuevos materiales genéticos con alto potencial productivo y nutricional

Agradecimiento

El Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria agradece al CIFP y al Ing. Jhonny Vera Coca por su aporte en recursos genéticos y seguimiento técnico, así como a funcionarios y estudiantes por su apoyo en esta investigación.

Declaración de conflictos de interés

Los autores no tenemos conflicto de interés

Referencias

- Brajmani, G., Rajesh, S., & Lal, G. M. (2010). Effect of levels of nitrogen and sulfur on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 35(1), 149–151.
- Claure, T., & Maita, R. (2006). Conservación de variedades nativas de maíz en Bolivia. PROINPA.
- Dhillon, J., Aula, L., Eickhoff, E., & Raun, W. (2020). Predicting in-season maize (*Zea mays* L.) yield potential using crop sensors and climatological data. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68415-2>
- El-Tarabily, K. A., Soaud, A. A., Saleh, M. E., & Matsumoto, S. (2006). Isolation and characterization of sulfur-oxidising bacteria, including strains of *Rhizobium*, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(1), 101–111. <https://doi.org/10.1071/AR04237>
- Kumar, R., Bohra, J. S., Kumawat, N., & Singh, A. K. (2015). Fodder yield, nutrient uptake, and quality of baby corn (*Zea mays* L.) as influenced by NPKS and Zn fertilization. *Research on Crops*, 16(2), 243–249. <https://doi.org/10.5958/2348-7542.2015.00036.4>
- Narro, L. (2011). Proyecciones de producción y consumo de maíz en América Latina. FAO.
- Srinivasarao, C., Ali, M., Venkateswarlu, S., Rupa, T. R., Singh, K. K., Kundu, S., & Prasad, J. V. N. S. (2010). Direct and residual effects of integrated sulfur fertilization in maize (*Zea mays*)-chickpea (*Cicer arietinum*) cropping system on Typic Ustochrept. *Indian Journal of Agronomy*, 55(4), 259–263. <https://doi.org/10.59797/ija.v55i4.4760>
- Szulc, P., Bocianowski, J., & Rybus-Zajac, M. (2012). The effect of soil supplementation with nitrogen and elemental sulfur on chlorophyll content and grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Żemdirbystė = Agriculture*, 99(3), 247–254.

Artículo Original

Reducción de fumonisinas en cultivos de maíces nativos con manejo integrado en valles interandinos de Bolivia

Reduction of fumonisins in native maize crops through integrated management in the inter-Andean valleys of Bolivia

Walter Fuentes Fernández ^{1*}, Miguel A. Florido Torrez² & Nora Medrano Mercado ³

*Autor de Correspondencia: wfuentes@fundacionvalles.org

¹ Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias Agrarias, Calvo # 132, Sucre, Bolivia.

² Escuela Militar de Ingeniería, EMI, Cochabamba, Bolivia.

³ Universidad de San Simón, Departamento de Biología, Investigadora del Laboratorio de Chagas, Cochabamba, Bolivia.

Recibido: 01/11/2024 Aceptado para publicación: 01/12/2024

Resumen

El maíz (*Zea mays*) es un pilar fundamental en la dieta de las comunidades rurales de los valles interandinos de Bolivia, representando más del 75% de su base alimentaria y siendo consumido diariamente en diversas preparaciones. Sin embargo, este cereal es altamente susceptible a la contaminación por micotoxinas, las cuales pueden provocar enfermedades y trastornos tóxicos tanto en humanos como en animales. En 2016, tras la aplicación del Sistema de Prevención y Control de Micotoxinas en Maíz (SIPCMMA), se analizaron 174 muestras de maíz provenientes de pequeños productores ecológicos de los valles interandinos de Chuquisaca (Alcalá, Padilla, Icla y Villa Serrano) y Cochabamba (Mizque) mediante el método Fumonisin ELISA Assay. Los resultados del monitoreo evidenciaron que el SIPCMMA logró reducir significativamente la presencia de fumonisinas en el maíz, disminuyendo de un 100% a un 36%. A pesar de esta mejora, los niveles de contaminación aún superan el umbral permitido de 1 ppm, con Alcalá presentando la menor incidencia (27%) y Mizque la mayor (50%). Dada la persistente amenaza de fumonisinas en el maíz, resulta crucial continuar con la investigación y el ajuste continuo del sistema de prevención, adaptándolo a los diferentes contextos de intervención.

Palabras claves: fumonisinas, maíz, prevención, control de micotoxinas.

Abstract

Corn (*Zea mays*) is a fundamental pillar in the diet of rural communities in the inter-Andean valleys of Bolivia, representing more than 75% of their food base and being consumed daily in various preparations. However, this cereal is highly susceptible to contamination by mycotoxins, which can cause toxic diseases and disorders in both humans and animals. In 2016, following the application of the Mycotoxin Prevention and Control System in Corn (SIPCMMA), 174 corn samples from small-scale organic producers in the inter-Andean valleys of Chuquisaca (Alcalá, Padilla, Icla, and Villa Serrano) and Cochabamba (Mizque) were analyzed using the Fumonisin ELISA Assay method. The monitoring results showed that the SIPCMMA significantly reduced the presence of fumonisins in corn, decreasing from 100% to 36%. Despite this improvement, contamination levels still exceed the permitted threshold of 1 ppm, with Alcalá presenting the lowest incidence (27%) and Mizque the highest (50%). Given the persistent threat of fumonisins in corn, it is crucial to continue with research and the ongoing adjustment of the prevention system, adapting it to the different contexts of intervention.

Keywords: fumonisin, corn, prevention, mycotoxin control.