



**Journal** of the Faculty of  
**Agricultural Sciences**

# AGRO-ECOLÓGICA

ISSN 2313-2906 (Digital)

Volumen 3-Número 2, diciembre 2024

**AGRO-ECOLÓGICA** publicada por primera vez en 2014, es una revista semestral editada por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (USFX). Este número digital, recoge los resultados de diferentes pesquisas realizados por investigadores nacionales e internacionales.

La revista publica artículos originales notas y ensayos sobre agricultura sostenible y la biodiversidad con énfasis en Chuquisaca, Bolivia y países vecinos, arbitrados mínimo por dos evaluadores externos y uno interno. Incluye temas relativos a agricultura, ecología, biología, conservación, manejo de recursos y uso de la biodiversidad.

## **Directorio de la revista**

Walter Arízaga Cervantes: Rector-USFX  
Erick Mita Arancibia: Vicerrector-USFX  
Jorge Ronald Alurralde Saavedra: Decano - FCA

Vladimir Gutiérrez Mercado: Coordinador de Carreras Ingeniería Agronómica, Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Oscar Vera Fernández: Director de Carrera Agronomía Técnico Superior

Martha Serrano Pacheco: Editora  
*Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria*  
Winder Felípez Chiri: Editor-científico  
*Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria*  
Reinado Lozano Ajata: Co-editor  
*Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria*

Jhon Milton Escobar Saavedra: Manejo base de datos  
*Instituto Tecnológico Boliviano Alemán*

Zorayda Montalvo Avendaño: Diseño de portadas  
*Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria*

## **Editores Asociados**

**Tommy Dalgaard**, Aarhus University, Dinamarca.

**David Luciano Rosalen**, Universidade Estadual Paulista, Brasil

**Georgina Catacora**, Universidad Católica, Bolivia.

**Per Kudzk**, Aarhus University, Dinamarca.

## **Editores de Sección Internacional**

**Alice Peña**, Universidad del Este, Paraguay.

**Daysi Ramirez**, Universidad del Este, Paraguay.

**Eloy Fernandez**, Czech University of Life Sciences Prague, República Checa.

**Francisco Pastor**, Instituto Nacional Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

**Jennifer Villavicencio**, Universidad Científica del Sur, Perú.

**Marianela Conce**, Instituto Dominicano de Investigación Agropecuaria, Republica Dominicana.

**Mario Chacón León**, CATIE, Costa Rica.

**Paola Mariela Studer**, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

**Patricia Novo**, Universidad Nacional del Este, Argentina.

**Stephanie Frischie**, The Xerces Society for Invertebrate Conservation, EE.UU.

**Todos los derechos reservados**

ISSN: 2313-2906

Depósito legal: 3-3-66-15 P.O.

**Editores de Sección, Nacionales**

**Carola Antezana**, *Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.*

**Ceferino Peca**, *Universidad Autónoma Tomas Frías, Bolivia.*

**Cresencio Calle**, *PROINPA, Bolivia.*

**Edwin Machaca Mamani**, *Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.*

**Isabel Llimachi**, *Cooperación Técnica Alemana - GIZ, Bolivia.*

**Información:** Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA)

Casilla 1046, Correo Central, Sucre Bolivia

Telf. (591) 464 31004/ Fax (591) 464 55653

[agro-ecologica@usfx.bo](mailto:agro-ecologica@usfx.bo) [iasa.fca@usfx.bo](mailto:iasa.fca@usfx.bo)

<https://revistas.usfx.bo>

CONTENIDO

Artículo Revisión

Retos y soluciones en el manejo de nematodos fitoparásitos en el cultivo de banana (*Musa spp.*)  
*Marianela Conce-Conce, Socorro García-Pantaleón, Delia Gutierrez-Catari, Erika Murillo-Coca & Winder Felipez*..... 380

Editorial

La Agroecología, un modelo de producción de alimentos  
*Paola Mariela Studer*..... 390

Comunicación corta

Evaluación de variedades de maíz (*Zea mays*) en Monteagudo: Rendimiento, adaptabilidad y resistencia a estrés  
*Heriberto Reynoso Montes & Manuel H. Jiménez Huamán*..... 392

Artículo Original

Reducción de fumonisinas en cultivos de maíces nativos con manejo integrado en valles interandinos de Bolivia  
*Walter Fuentes, Miguel Florido & Nora Medrano*..... 397

Evaluación del rendimiento de ocho variedades de Frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), Municipio de Villa Vaca Guzmán  
*Sandro Velásquez Aguirre, & Marco A. Barrientos Pinto*..... 403

## Artículo de Revisión

# Retos y soluciones en el manejo de nematodos fitoparásitos en el cultivo de banana (*Musa* spp.)

Challenges and solutions in the management of phytoparasitic nematodes in banana crops (*Musa* spp.)

Marianela Conce-Conce<sup>1</sup>. Socorro García-Pantaleón<sup>1</sup>. Delia Gutierrez-Catari<sup>2</sup>. Erika Murillo-Coca<sup>2</sup> & Winder Felipez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Santo Domingo, República Dominicana

<sup>2</sup> Universidad Nacional "Siglo XX", Carrera de Bioquímica Farmacia, Catavi, Bolivia

<sup>3</sup> Universidad Nacional "Siglo XX", Dirección General de Investigación, Oficina Central, Calle Campero N° 36, Llallagua, Potosí, Bolivia

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

## Resumen

El cultivo de banano (*Musa* spp.) es fundamental para la seguridad alimentaria y la economía global, especialmente en lugares como República Dominicana y Puerto Rico donde enfrenta grandes desafíos debido a los nematodos fitoparásitos, como *Radopholus similis* y *Helicotylenchus multicinctus*, que afectan el sistema radicular y reducen los rendimientos hasta en un 20%. Aunque históricamente se han utilizado nematicidas químicos, las preocupaciones ambientales y su limitada efectividad a largo plazo han impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. Este estudio analiza diversas estrategias agroecológicas para manejar estos nematodos, como el uso de microorganismos antagonistas (hongos y bacterias), la incorporación de compost y vermicomposta, y el mejoramiento genético mediante variedades resistentes como FB920 y Pisang Lilin. El aporte del análisis y discusión, hacen referencia que estas prácticas no solo reducen las poblaciones de nematodos, sino que también mejoran la salud del suelo y aumentan los rendimientos. Por tanto, un enfoque integrado que combine agroecología y mejoramiento genético ofrece una solución sostenible y eficaz para el manejo de nematodos en el cultivo de banano.

**Palabras claves:** control químico, control biológico, resistencia, materia orgánica

## Abstract

The cultivation of bananas is essential for global food security and the economy, especially in regions like Dominican Republic and Puerto Rico, where it faces significant challenges due to plant-parasitic nematodes such as *Radopholus similis* and *Helicotylenchus multicinctus*. These nematodes attack the root system, reducing yields by up to 20%. Although chemical nematicides have been historically used, environmental concerns and their limited long-term effectiveness have driven the search for more sustainable alternatives. This study examines various agroecological strategies for managing these nematodes, including the use of antagonistic microorganisms (fungi and bacteria), the incorporation of compost and vermicompost, and genetic improvement through resistant varieties such as FB920 and Pisang Lilin. The analysis and discussion highlight that these practices not only reduce nematode populations but also improve soil health and increase yields. Therefore, an integrated approach that combines agroecology and genetic improvement offers a sustainable and effective solution for nematode management in banana cultivation.

**Palabras claves:** chemical control, biological control, resistance, organic matter

# Introducción

El banano (*Musa acuminata* x *balbisiana*) es uno de los cultivos más importantes para la agricultura global debido a su amplio alcance geográfico, su relevancia en la seguridad alimentaria y su valor económico. Este cultivo se produce en más de 150 países y ocupa el cuarto lugar entre los cultivos de mayor valor bruto de producción, después del arroz (*Oryza* spp.), trigo (*Triticum* spp.) y maíz (*Zea mays*) (Brito et al., 2015; Bakry et al., 2009; Tripathi et al., 2011). En República Dominicana y Puerto Rico, el plátano es un pilar económico, representando una fuente crucial de ingresos agrícolas, con rendimientos significativos que respaldan la seguridad alimentaria local (FAOSTAT, 2015).

A pesar de su importancia, el cultivo de plátano enfrenta múltiples desafíos, entre ellos, la incidencia de plagas y enfermedades, destacándose los nematodos fitoparásitos como una de las principales amenazas. Especies como *Radopholus similis*, *Helicotylenchus multicinctus* y *Meloidogyne* spp. causan daños severos al sistema radicular, afectando negativamente la absorción de agua y nutrientes, y disminuyendo los rendimientos agrícolas (Hartman et al., 2010; Aguirre et al., 2016). Además, estas infestaciones incrementan los costos de producción debido a la necesidad de implementar estrategias de manejo intensivas, como la aplicación de nematicidas, que a su vez generan impactos negativos en la biodiversidad del suelo y el medio ambiente (Tixier et al., 2008; Araya & De Waele, 2005).

En este contexto, las prácticas agrícolas sostenibles emergen como una alternativa viable para manejar los nematodos fitoparásitos, reducir los efectos ambientales negativos y mejorar la salud del suelo. Estrategias como el uso de enmiendas orgánicas, cultivos de cobertura, rotaciones de cultivos y la incorporación de agentes biológicos han demostrado ser efectivas no solo en la reducción de poblaciones de nematodos perjudiciales, sino también en el incremento de nematodos benéficos y microorganismos del suelo que promueven un ecosistema agrícola más resiliente (Loranger-Merciris et al., 2022; Yang et al., 2021; Ugarte et al., 2013).

Este análisis explora la relación entre las prácticas agrícolas sostenibles y el manejo de nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano, enfocándose en su impacto sobre la actividad microbiana del suelo. Se abordan las implicaciones de estas prácticas para la salud del cultivo y la sostenibilidad a largo plazo, subrayando la importancia de integrar enfoques agroecológicos para maximizar los beneficios económicos y ambientales en regiones como República Dominicana y Puerto Rico.

## Nematodos en el cultivo de banano

Los nematodos fitoparásitos son una de las principales amenazas para el cultivo de banano a nivel mundial, incluyendo regiones como República Dominicana y Puerto Rico. Estos organismos dañan severamente las raíces y rizomas de las plantas, afectando la absorción de agua y nutrientes, lo que resulta en pérdidas significativas de

rendimiento y calidad de la fruta. Entre las especies más relevantes se encuentran *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multicinctus*, *Meloidogyne incognita* y *Rotylenchulus reniformis* (Figura 1), cada una con características y mecanismos de patogenicidad distintos (Tabla 1).

## Impacto en la producción de banano

Los nematodos reducen los rendimientos globales del cultivo de banano en hasta un 20%, alcanzando pérdidas superiores al 40% en regiones con condiciones desfavorables. Los síntomas típicos incluyen amarillamiento, enanismo, marchitez y menor peso de los racimos (Dubois y Coyne, 2011; Sousa et al., 2024). El manejo sostenible de los nematodos en cultivos de banano combina estrategias innovadoras y efectivas que integran diferentes enfoques. El control biológico mediante el uso de lombrices como *Pontoscolex corethrurus* mejora la estructura del suelo, favoreciendo la resistencia del cultivo (Loranger-Merciris et al., 2012).

Las enmiendas orgánicas, como el bagazo de caña y lodos, incrementan la fertilidad del suelo, regulan las poblaciones de nematodos y potencian el desarrollo de las plantas (Tabarant et al., 2011). La fumigación selectiva con cal y bicarbonato de amonio reduce eficazmente las poblaciones de nematodos, lo que se traduce en mejores rendimientos (Su et al., 2017). Por último, el mejoramiento genético, tanto con métodos tradicionales como transgénicos, ha logrado desarrollar variedades resistentes que fortalecen la sostenibilidad de los sistemas productivos (Sousa et al., 2024; Tripathi et al., 2013). Estas estrategias, combinadas, minimizan el impacto ambiental y maximizan la productividad del banano.

## Control químico de nematodos en banano

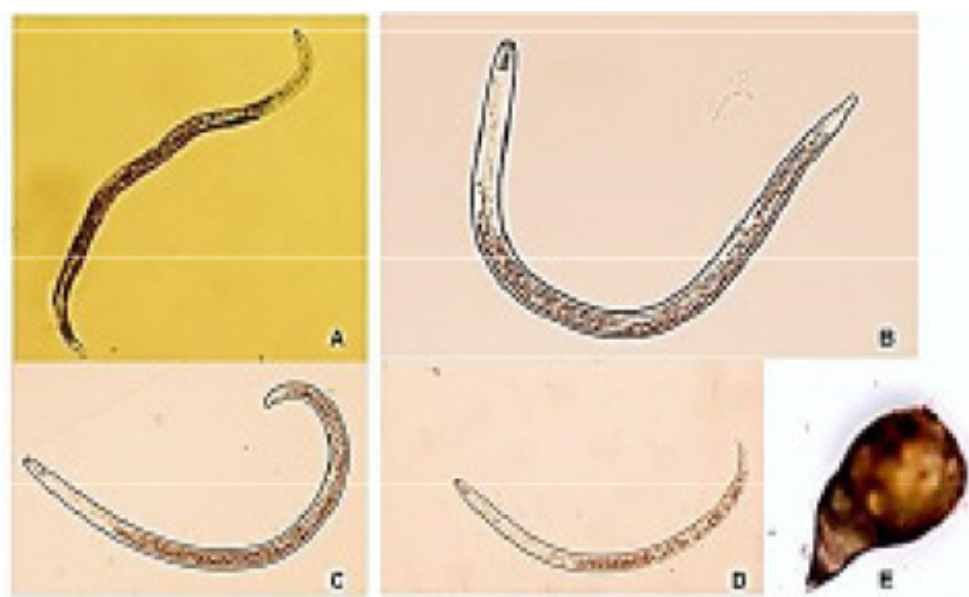
Los nematicidas químicos han sido ampliamente utilizados para controlar los nematodos fitoparásitos en el cultivo de banano, aunque las preocupaciones ambientales han llevado a regulaciones más estrictas. En República Dominicana y Puerto Rico, los nematicidas permitidos incluyen oxamyl y etoprofos (Mocap 15G), cuyo uso está limitado a dosis reducidas para minimizar el impacto ambiental (Chavarria-Carvajal et al., 2001). El oxamyl ha demostrado eficacia temporal contra *Radopholus similis* en estudios realizados en Martinica, aunque su efectividad a largo plazo es limitada cuando se utiliza de manera aislada (Chabrier et al., 2005).

De igual forma, estudios en Costa Rica revelaron que las plantas de banano tratadas con oxamyl mostraron una reducción del 35% en poblaciones de *R. similis* y del 43% en nematodos en general (Vargas et al., 2015). Por su parte, el etoprofos ha mostrado ser efectivo, como se observó en ensayos realizados en Sudáfrica y Estados Unidos, donde redujo significativamente las poblaciones de nematodos fitoparásitos y mejoró el rendimiento de los cultivos (Rodríguez-Kábana & King, 1985., Jones, 1979).

A pesar de la eficacia de estos controles químicos, persisten desafíos. Investigaciones han señalado

**Tabla 1:** Efectividad de hongos y bacterias para control biológico de nematodos fitoparásitos

| Especie                | Nombre común             | Daño principal                                                                                                          | Pérdidas        | Referencias                                                               |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <i>R. similis</i>      | Nematodo barrenador      | Penetra raíces, creando túneles rojizos/marrones que afectan la absorción de agua y nutrientes.                         | 5% - 100%       | Nhung et al. 2023; Chabrier et al., 2010; Guzmán-Piedrahita et al., 2012. |
| <i>P. coffeae</i>      | Nematodo de las lesiones | Provoca lesiones negras en raíces y rizomas, debilitando las plantas y facilitando la entrada de patógenos secundarios. | Hasta 60%       | Bridge et al., 1997; Davis & MacGuidwin, 2000.                            |
| <i>H. multicinctus</i> | Nematodo espiral         | Genera necrosis en raíces, reduciendo la funcionalidad del sistema radicular y afectando el desarrollo de las plantas.  | 19% - 34%       | Carlier et al., 2003                                                      |
| <i>M. incognita</i>    | Nematodo agallador       | Forma agallas en las raíces, impidiendo la absorción de agua y nutrientes; facilita la entrada de otros patógenos.      | Hasta 5%        | Ornat & Sorribas, 2008                                                    |
| <i>R. reniformis</i>   | Nematodo reniforme       | Afecta el parénquima cortical de las raíces, reduciendo el crecimiento y desarrollo de las planta                       | No especificado | Sipes & Schmitt, 2000                                                     |



**Figura 1.** Nematodos parásitos que afectan el cultivo de plátano: a) *Radopholus similis*, b) *Pratylenchus coffeae*, c) *Helicotylenchus multicinctus*, d) *Rotylenchulus reniformis* y e) *Meloidogyne incognita*

que nematicidas como el oxamyl pueden afectar los rendimientos de las plantas bajo ciertas condiciones, como se observó en cultivos de tomate, donde el control de nematodos resultó en una disminución del peso de los frutos (Abo-Elyousr et al., 2010). Asimismo, el etoprofos, aunque efectivo, plantea preocupaciones debido a su persistencia en el ambiente. Estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques integrados que combinen controles químicos con prácticas sostenibles. Estrategias de manejo integrado de plagas y prácticas agroecológicas ofrecen alternativas prometedoras para reducir la dependencia de químicos mientras se mantiene un control eficaz de los nematodos, garantizando tanto la protección ambiental como la productividad a largo plazo.

**Hongos y bacterias para el control biológico**

El uso de microorganismos antagonistas en los suelos de cultivos de banano ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar el rendimiento agrícola, aumentando el peso y el tamaño de los racimos, lo que mejora la aceptación del fruto en el mercado.

Hongos como *Trichoderma* spp. y *Paecilomyces lilacinus* son especialmente efectivos. Por ejemplo, *Trichoderma* spp. controla huevos y juveniles de *Meloidogyne* spp. y reduce hasta el 81% las poblaciones de *Radopholus similis*, mientras que *P. lilacinus* parasita nematodos adultos y maximiza la presencia de microorganismos benéficos en el suelo (Kisaakye et al., 2023; Mendoza et al., 2004). Además, hongos como *Fusarium oxysporum* y *Verticillium chlamydosporium* han mostrado reducir significativamente densidades de nematodos, promoviendo la salud de las raíces y aumentando los rendimientos en cultivos de banano y melón (Waweru et al., 2013; Hidalgo-Díaz & Kerry, 2008) (Tabla 2).

Por su parte, bacterias como *Pseudomonas fluorescens* y especies del género *Bacillus* son potentes agentes biológicos. *P. fluorescens* ha reducido poblaciones de *Helicotylenchus multicinctus* entre un 41.3% y 89%, disminuyendo la incidencia de marchitez en un 60% y aumentando los rendimientos en un 46.5% (Selvaraj et al., 2014). Asimismo, *Bacillus* spp. ha demostrado

propiedades antagonistas generales contra nematodos, destacándose como un componente clave en programas de manejo integrado de plagas (Djiwanti et al., 2023).

La integración de estos organismos en estrategias de control biológico no solo mitiga el impacto de los nematodos fitoparásitos, sino que también enriquece la microbiota del suelo, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. La adopción de microorganismos en programas de control biológico puede aumentar significativamente la salud y productividad de los cultivos de banano, contribuyendo a sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles.

**Incorporación de materia orgánica en el suelo**

La adición de materia orgánica al suelo, contribuye significativamente a mejorar su estructura física y estimula la actividad de los microorganismos del suelo disminuyendo los efectos de la erosión. Durante su descomposición, esta materia potencia la retención de nutrientes y la capacidad del suelo para almacenar agua, lo cual genera un entorno más favorable para que las plantas resistan el ataque de nematodos fitoparásitos (Trivedi & Barker, 1986). Por otro lado, los residuos orgánicos fomentan el

crecimiento de microorganismos benéficos que pueden competir con nematodos dañinos y reducir su presencia (Roman & Acosta, 1984). Asimismo, al liberar compuestos volátiles, la materia orgánica funciona como un fumigante natural que ayuda a controlar patógenos del suelo. Este proceso no solo mejora la fertilidad, sino que también estimula el crecimiento radicular, ajusta el pH del suelo y aporta nutrientes clave como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio (Julca-Otiniano, 2006) (Tabla 3).

En Costa Rica, estudios demuestran que suelos enriquecidos con materia orgánica (vermicomposta), reducen las poblaciones de nematodos mientras incrementan la actividad microbiana (Blume & Reichert 2015). Estas enmiendas, mejoran la retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, el cual beneficia directamente al cultivo de banano. El uso de compost, como el bokashi, potencia la actividad microbiana y controla infestaciones de nematodos en las raíces, complementando métodos de control biológico con hongos nematófagos. Este enfoque dual asegura una gestión sostenible de las poblaciones de nematodos, equilibrando la productividad del cultivo y la salud del suelo (Segura et al., 2015).

**Tabla 2:** Influencia de la materia orgánica en la actividad microbiana y los nematodos en suelos bananeros

| Hongos y Bacterias      | Nematodos objetivo                         | Efectividad                                                                              | Mejora del rendimiento | Referencias                                                               |
|-------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <i>F. oxysporum</i>     | <i>P. goodeyi</i> , <i>H. multicinctus</i> | Reduce densidades de nematodos >45%, necrosis radicular >20% (Waweru et al., 2014, 2013) | Hasta un 36%           | Nhung et al. 2023; Chabrier et al., 2010; Guzmán-Piedrahita et al., 2012. |
| <i>P. lilacinus</i>     | <i>R. similis</i>                          | Reduce actividad de nematodos, mejora la salud radicular (Mendoza et al., 2004)          | No especificado        | Bridge et al., 1997; Davis & MacGuidwin, 2000.                            |
| <i>Trichoderma</i> spp. | <i>R. similis</i>                          | Reduce densidades de nematodos >81% (Kisaakye et al., 2023)                              | No especificado        | Carlier et al., 2003; Guzmán-Piedrahita, 2010.                            |
| <i>Beauveria</i> spp.   | Nematodos generales                        | Presente en rizosfera de banano, potencial agente biológico (Ciancio et al., 2022)       | No especificado        | Ornat & Sorribas, 2008                                                    |
| <i>P. fluorescens</i>   | <i>H. multicinctus</i>                     | Reduce nematodos 41.3%-89%, menor incidencia de marchitez (60%) (Selvaraj et al., 2014)  | 36.6%-46.5%            | Sipes & Schmitt, 2000                                                     |
| <i>Bacillus</i> spp.    | Nematodos generales                        | Propiedades antagonistas comprobadas (Djiwanti et al., 2023)                             | No especificado        |                                                                           |

**Resistencia a nematodos parásitos**

Aunque la información sobre variedades resistentes a nematodos parásitos en el banano en Costa Rica es limitada, investigaciones en otros cultivos han identificado estrategias útiles. Los mecanismos de resistencia incluyen genes específicos de las plantas que inhiben la invasión de nematodos o mutaciones que refuerzan sus defensas (Bhandari et al., 2015).

En algodón, los genotipos A2-190 y LONREN-2 demostraron resistencia al nematodo reniforme *R. reniformis* (Bonfim-Junior & Inomoto, 2012). En frijol común (*Phaseolus vulgaris*), el cultivo rotativo con café mostró resistencia al nematodo de la lesión *P. jaehni* (Bonfim & Inomoto, 2012)

Asimismo, variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pimiento (*Capsicum* spp.) como Small Fry y Carolina Cayenne mostraron resistencia a nematodos formadores de nódulos (*M. incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria*) (Kwara, Kwoseh, & Starr, 2014).

En el banano, híbridos como FB920 y H 531 han mostrado menor susceptibilidad a nematodos como *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae*, mientras que variedades como 'Pisang Lilin' destacan por su alta resistencia a *M. incognita* (Tixier et al., 2008; Sundararaju et al., 2008). Además, investigaciones sobre plantas transgénicas han demostrado resistencia a múltiples especies de nematodos (Tripathi et al., 2013).

Estas estrategias, combinadas con prácticas de

Tabla 3. Influencia de la materia orgánica en la actividad microbiana y los nematodos en suelos bananeros

| Factor                         | Influencia microbiana                                                             | Influencia nematodos                                                                    | Rendimiento     | Referencias                                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Uso de pesticidas              | Alta adaptabilidad, sin disminución de actividad (Blume & Reichert, 2015)         | No abordado directamente                                                                | Hasta un 36%    | Nhung et al. 2023; Chabrier et al., 2010; Guzmán-Piedrahita et al., 2012. |
| Materia orgánica               | Aumenta la respiración microbiana (Blume & Reichert, 2015; Vidaurre et al., 2020) | Favorece la presencia de nematodos entomopatógenos                                      | No especificado | Bridge et al., 1997; Davis & MacGuidwin, 2000.                            |
| Propiedades del suelo          | Afecta la diversidad microbiana y de nematodos (Segura et al., 2015)              | Las condiciones pobres reducen la diversidad                                            | No especificado | Carlier et al., 2003; Guzmán-Piedrahita, 2012.                            |
| Control biológico              | Hongos nematófagos controlan nematodos (Soto-Barrientos et al., 2011)             | Control eficaz                                                                          | No especificado | Ornat & Sorribas, 2008                                                    |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> | <i>Helicotylenchus multicinctus</i>                                               | Reduce nematodos 41.3%-89%, menor incidencia de marchitez (60%) (Selvaraj et al., 2014) | 36.6%-46.5%     | Sipes & Schmitt, 2000                                                     |

Tabla 4. Influencia de la materia orgánica en la actividad microbiana y los nematodos en suelos bananeros

| Variedad/Híbrido               | Resistencia/Tolerancia              | Especies de nematodos                                                                   |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| FB920                          | Baja susceptibilidad                | <i>Radopholus similis</i> , <i>Pratylenchus coffeae</i> (Tixier et al., 2008)           |
| Pisang Lilin                   | Alta resistencia                    | <i>Meloidogyne incognita</i> (Sundararaju et al., 2008)                                 |
| H 531                          | Resistente                          | <i>Meloidogyne incognita</i> , <i>Helicotylenchus multicinctus</i> (Das et al., 2014)   |
| Plantain transgénico           | Resistencia amplia                  | Múltiples especies de nematodos (Tripathi et al., 2013)                                 |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> | <i>Helicotylenchus multicinctus</i> | Reduce nematodos 41.3%-89%, menor incidencia de marchitez (60%) (Selvaraj et al., 2014) |

manejo como el control biológico mediante nematodos entomopatógenos, ofrecen un enfoque integral para mitigar el impacto de los nematodos en plantaciones de banano en Costa Rica (Vidaurre et al., 2020). Adoptar variedades resistentes como las mencionadas, junto con estrategias de control biológico y prácticas agronómicas sostenibles, podría ser clave para mitigar los daños causados por los nematodos en el cultivo de banano (Tabla 4).

Limitaciones actuales en el manejo integrado

El control de nematodos plantea un desafío complejo debido a los riesgos ambientales y de salud asociados con los nematicidas químicos tradicionales (Dutta & Phani, 2023; Abd-Elgawad, 2024; Devi et al., 2020). Las restricciones regulatorias han limitado el uso de estos productos y promovido la búsqueda de alternativas más sostenibles (Dutta et al., 2019). Aunque métodos biológicos y culturales como la rotación de cultivos y el uso de variedades resistentes ofrecen cierta promesa, su eficacia varía y a menudo requieren conocimientos especializados (Dutta & Phani, 2023; Devi et al., 2020; Dutta et al., 2019). Los enfoques tecnológicos, como la ingeniería genética y las herramientas bioinformáticas, presentan un gran potencial, pero enfrentan barreras regulatorias y requieren mayor investigación (Abd-Elgawad, 2024; Dutta & Phani, 2023).

La implementación de estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) es compleja y requiere la coordinación

de diversos actores, además de considerar aspectos económicos y educativos (Elhady et al., 2024; Sikora et al., 2023; Ansari & Saleem, 2023; Duncan y Noling, 1998). Por tanto, el manejo efectivo de nematodos exige una combinación de enfoques que aborden tanto los aspectos biológicos como los socioeconómicos, y que promuevan la investigación continua y la transferencia de conocimiento a los agricultores (Elhady et al., 2024; Dutta et al., 2019).

Necesidades integrales y ecología del suelo

La adopción de enfoques integrales basados en la ecología del suelo es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Fossey et al., 2020; Robinson et al., 2013; Lal, 2007). Estos enfoques promueven prácticas agrícolas sostenibles que integran principios ecológicos, como la biodiversidad y el reciclaje de nutrientes (Hartley, 2018). Además, la ecología del suelo desempeña un papel crucial en la mitigación y adaptación al cambio climático, al mejorar la resiliencia de los ecosistemas y regular los ciclos biogeoquímicos (Simard, 2009).

Sin embargo, la implementación de estas estrategias requiere una comprensión profunda de los complejos procesos del suelo y la colaboración entre diversas disciplinas (Vereecken et al., 2016). Asimismo, es necesario desarrollar marcos de toma de decisiones que consideren los múltiples servicios ecosistémicos del suelo y que

involucren a las comunidades locales en la co-creación de soluciones (Fossey et al., 2020; Okpara et al., 2020; Hartley, 2018; Robinson et al., 2013; Bouma & McBratney, 2013). Por tanto, la gestión sostenible del suelo requiere un enfoque holístico que integre conocimientos científicos, prácticas locales y políticas públicas para asegurar la salud de los ecosistemas y el bienestar humano a largo plazo (Lal, 2007).

### **Innovaciones biotecnológicas**

El manejo de nematodos ha experimentado avances significativos gracias a la implementación de innovaciones tecnológicas. Sensores remotos y nanosensores permiten una detección temprana y precisa de poblaciones de nematodos, facilitando la toma de decisiones basadas en datos (Khan et al., 2023; Desaegeer et al., 2021). Modelos predictivos y sistemas de soporte de decisiones, combinados con datos de sensores, optimizan el manejo de nematodos al predecir ciclos poblacionales y permitir la aplicación de medidas de control específicas para cada sitio (Westerdahl, 2021). La edición genética, a través de tecnologías como RNAi y CRISPR/Cas9, ha permitido desarrollar plantas transgénicas con resistencia a nematodos y una mejor comprensión de las interacciones planta-nematodo (Khan et al., 2023; Dutta & Phani, 2023; Abd-Elgawad, 2022; Safeena & Zakeel, 2020).

La nanotecnología ha abierto nuevas posibilidades en el control de nematodos, con el desarrollo de nanocompuestos nematicidas y nanofertilizantes que ofrecen una mayor eficacia y especificidad (Khan et al., 2023; Safeena & Zakeel, 2020). Además, el control biológico, mediante el uso de agentes de biocontrol y hongos atrapadores de nematodos, complementa estas estrategias, promoviendo un manejo integrado de plagas (Antil et al., 2023; Jiang et al., 2017). En conjunto, estas innovaciones tecnológicas ofrecen herramientas precisas y eficientes para combatir las infestaciones por nematodos, mejorando la productividad agrícola y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo.

### **Discusión**

El cultivo del banana, enfrenta desafíos de manejo agronomico a nematodos fitoparásitos, los cuales afectan severamente a los rendimientos de producción y productividad, además, de generan impactos económicos y ambientales considerables. A pesar de las estrategias químicas disponibles, como el uso de oxamyl y etoprosfos, estas presentan limitaciones debido a su impacto ambiental y eficacia limitada a largo plazo. Esto destaca la necesidad de explorar enfoques sostenibles que integren prácticas agrícolas regenerativas y biológicas.

El uso de hongos y bacterias antagonistas, como *Trichoderma spp.*, *Paecilomyces lilacinus* y *Pseudomonas fluorescens*, ha mostrado ser una alternativa prometedora en el control biológico de nematodos. Estas prácticas no solo mitigan la incidencia de nematodos, sino que también mejoran la salud del suelo y la productividad del cultivo, promoviendo un enfoque agroecológico integral. Además, la incorporación de materia orgánica,

como el compost y vermicomposta, potencia la actividad microbiana, mejora la estructura del suelo y reduce la población de nematodos, equilibrando la sostenibilidad ambiental con la productividad agrícola.

El mejoramiento genético también ofrece soluciones duraderas, destacándose variedades resistentes como FB920 y Pisang Lilin, y avances en tecnologías transgénicas que prometen un control más efectivo de múltiples especies de nematodos. La combinación de estas estrategias, junto con un manejo integrado de plagas, puede contribuir significativamente a reducir las pérdidas agrícolas y garantizar la sostenibilidad del cultivo de banana en regiones como República Dominicana y Puerto Rico.

### **Conclusión**

La integración de prácticas sostenibles, control biológico y mejoramiento genético, representa el camino hacia un manejo eficiente de nematodos fitoparásitos en el cultivo de banana. Estas estrategias, no solo aseguran la productividad agrícola, sino que también promueven la sostenibilidad ambiental y económica, posicionándose como esenciales para enfrentar los desafíos agrícolas actuales.

### **Declaración de conflictos**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros, personales o institucionales que hayan influido en la realización o publicación de este artículo.

### **Contribucion de los autores**

M.C.-C.: conceptualización, revisión de literatura y redacción inicial; S.G.-P.: validación de fuentes, análisis crítico y revisión científica; D.G.-C.: edición, formateo y referencias APA; E.M.-C.: sistematización de datos y verificación bibliográfica; W.F.: coordinación general y revisión final.

### **Agradecimientos**

Agradecemos al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF) y Universidad de Puerto Rico (Recinto Mayaguez) por su respaldo institucional, y a la Universidad Nacional "Siglo XX" por su apoyo logístico y académico.

### **Referencias**

- Abd-Elgawad, M. M. (2022). Understanding molecular plant-nematode interactions to develop alternative approaches for nematode control. *Plants*, 11(16), 2141. <https://doi.org/10.3390/plants11162141>
- Abd-Elgawad, M. M. (2024). Upgrading strategies for managing nematode pests on profitable crops. *Plants*, 13(11), 1558. <https://doi.org/10.3390/plants13111558>
- Abo-Elyousr, K. A., Khan, Z., El-Morsi Award, M., & Abedel-Moneim, M. F. (2010). Evaluation of plant extracts and *Pseudomonas spp.* for control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato. *Nematropica*, 40(2), 289–299.

- Aguirre, O., Chávez, C., Giraud, A., & Araya, M. (2016). Frequencies and population densities of plant-parasitic nematodes on banana (*Musa AAA*) plantations in Ecuador from 2008 to 2014. *Agronomía Colombiana*, 34(1), 61–73. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.53915>
- Ansari, T., & Saleem, M. (2023). Plant parasitic nematodes: A silent threat to agricultural output and sustainable approaches for their management. In *Climate-resilient agriculture* (Vol. 1, pp. 799–819). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_36)
- Antil, S., Kumar, R., Pathak, D. V., & Kumari, A. (2023). Recent advances in utilizing bacteria as biocontrol agents against plant parasitic nematodes emphasizing *Meloidogyne* spp. *Biological Control*, 183, 105244. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105244>
- Araya, M., & De Waele, D. (2005). Effect of weed management on nematode numbers and their damage in different root thickness and its relation to yield of banana (*Musa AAA* cv. Grande Naine). *Crop Protection*, 24(7), 667–676. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.11.010>
- Bakry, F., Carreel, F., Jenny, C., & Horry, J-P. (2009). Genetic improvement of banana (pp. 3–50). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_1)
- Bhandari, B., Myers, G. O., Indest, M. O., & Overstreet, C. (2015). Response of five resistant cotton genotypes to isolates of *Rotylenchulus reniformis* collected from reniform nematode infested fields of Louisiana. *Nematropica*, 45(2), 252–262.
- Blume, E., & Reichert, J. M. (2015). Herbicide sorption and leaching potential in tropical soils of Costa Rica. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(6), 1232–1238. <https://doi.org/10.1002/etc.2933>
- Bonfim Junior, M. F., & Inomoto, M. M. (2012). Resistance of common bean to *Pratylenchus jaehni*. *Nematropica*, 42, 320–323. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/81866>
- Bouma, J., & McBratney, A. (2013). Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. *Geoderma*, 200, 130–139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.011>
- Bridge, J., Forgain, R., & Spaijer, P. (1997). Nematodos lesionadores de los bananos. Inibap. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/2ff9d421-c03d-4628-b4ac-c52adcb81b4f/content>
- Brito, F. S. D., Fraaije, B., & Miller, R. N. G. (2015). Sigatoka disease complex of banana in Brazil: Management practices and future directions. *Outlooks on Pest Management*, 26(2), 78–81. [https://doi.org/10.1564/v26\\_apr\\_08](https://doi.org/10.1564/v26_apr_08)
- Carlier, A., Uroz, S., Smadja, B., Fray, R., Latour, X., Dessaux, Y., & Faure, D. (2003). The Ti plasmid of *Agrobacterium tumefaciens* harbors an attM-paralogous gene, *aiiB*, also encoding N-acyl homoserine lactonase activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 4989–4993. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.8.4989-4993.2003>
- Chabrier, C., Hubervic, J., Jules-Rosette, R., & Queneherve, P. (2005). Evaluation of two oxamyl formulations for nematodes and weevil control in banana fields in Martinique. *Nematropica*, 35(1), 49–60. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69709>
- Chavarriá-Carvajal, J. A., Rodríguez-Kábana, R., Kloepper, J. W., & Morgan-Jones, G. (2001). Changes in populations of microorganisms associated with organic amendments and benzaldehyde to control plant-parasitic nematodes. *Nematropica*, 31(2), 165–180. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69623>
- Das, S. C., Balamohan, T. N., Poornima, K., Velalazan, R., Seenivasan, N., Van Den Bergh, I., & De Waele, D. (2014). Screening of banana hybrids (Phase II) resistant to *Helicotylenchus multicinctus*. *Indian Journal of Nematology*, 44(1), 9–16. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijn&volume=44&issue=1&article=003>
- Davis, E. L., & MacGuidwin, A. E. (2000). Lesion nematode disease. The Plant Health Instructor. <https://n9.cl/cbthf>
- Desaeger, J., Sikora, R. A., & Molendijk, L. P. (2021). Outlook: A vision of the future of integrated nematode management. In J. Desaeger, R. A. Sikora, & L. P. Molendijk (Eds.), *Integrated nematode management: State-of-the-art and visions for the future* (pp. 475–483). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.0065>
- Devi, T. S., Das, D., Ansari, R. A., Rizvi, R., Sumbul, A., & Mahmood, I. (2020). Role of organic additives in the sustainable management of phytoparasitic nematodes. In R. A. Ansari, A. Sumbul, & I. Mahmood (Eds.), *Management of phytonematodes: Recent advances and future challenges* (pp. 279–295). Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4087-5\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4087-5_12)
- Djiwanti, S. R., Wiratno, & Kaushik, S. (2023). Burrowing nematode in spice and fruit crops and their management by novel biocontrol strategies. In S. Kaushik (Ed.), *Nematode diseases in plants: Diagnosis and management* (pp. 395–437). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4_18)
- Dubois, T., & Coyne, D. L. (2011). Integrated pest management of banana. In D. Ortiz & R. Swennen (Eds.), *Banana breeding: Progress and challenges* (pp. 121–144). CRC Press. <https://biblio.iita.org/documents/S11InbkDuboisIntegratedNothomNodev.pdf-5661abe8cdeb1a88db97ac3f33106405.pdf>
- Duncan, L. W., & Noling, J. W. (1998). Agricultural sustainability and nematode integrated pest management. In K. R. Barker, G. A. Pederson, & G. L. Windham (Eds.), *Plant and nematode interactions* (Agronomy Monograph No. 36, pp. 251–287). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr36.c13>
- Dutta, T. K., Khan, M. R., & Phani, V. (2019). Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. *Current Plant Biology*, 17, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>
- Dutta, T. K., & Phani, V. (2023). Transgenics: Application in plant nematode management. In M. R. Khan (Ed.), *Novel biological and biotechnological applications in plant nematode management* (pp. 203–226). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4_9)
- Elhady, A., Alghanmi, L., Abd-Elgawad, M. M., Heuer, H., Saad, M. M., & Hirt, H. (2024). Plant-parasitic nematode research in the arid desert landscape: A systematic review of challenges and bridging interventions. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1432311. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1432311>
- Food and Agriculture Organization. (2015). FAOSTAT agriculture database, agricultural production, crops primary: Yams. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fossey, M., Angers, D., Bustany, C., Cudennec, C., Durand, P., Gascuel-Oudoux, C., Jaffrezic, A., Pérès, G., Besse, C., & Walter, C. (2020). A framework to consider soil ecosystem services in territorial planning. *Frontiers in Environmental Science*, 8, Article 28. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00028>
- Guzmán-Piedrahita, Ó. A. G., Zapata, J. C., & Estrada, B. V. (2012). Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agron*, 20(1), 38–50. [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia%2020\(1\) completa.pdf#page=38](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia%2020(1) completa.pdf#page=38)
- Hartley, S. E. (2018). Agroecological approaches to sustainable intensification. In *Sustainable food and agriculture: An integrated*

- approach (pp. 179–184). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr36.c13>
- Hartman, J. B., Vuylsteke, D., Speijer, P. R., Ssango, F., Coyne, D. L., & de Waele, D. (2010). Measurement of the field response of *Musa* genotypes to *Radopholus similis* and *Helicotylenchus multicinctus* and the implications for nematode resistance breeding. *Euphytica*, 172(1), 139–148. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0104-4>
- Hidalgo-Díaz, L., & Kerry, B. R. (2008). Integration of biological control with other methods of nematode management. In A. Ciancio & K. G. Mukerji (Eds.), *Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes* (pp. 29–49). Springer. <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/89yx3/integration-of-biological-control-with-other-methods-of-nematode-management>
- Jiang, X., Xiang, M., & Liu, X. (2017). Nematode-trapping fungi. *Microbiology Spectrum*, 5(1), FUNK-0022-2016. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0022-2016>
- Jones, R. K. (1979). Control of *Helicotylenchus multicinctus* parasitising banana using systemic nematicides. *Nematropica*, 9, 147–150. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/63693/61361>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Khan, M. R., Haque, Z., & Sharma, R. K. (2023). Novel biotechnological interventions in plant nematode management technologies. In M. R. Khan (Ed.), *Novel biological and biotechnological applications in plant nematode management* (pp. 167–186). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2893-4_7)
- Kisaakye, J., Fourie, H., Coyne, D., Cortada, L., Khamis, F. M., Subramanian, S., Masinde, S., & Haukeland, S. (2023). Endophytic fungi improve management of the burrowing nematode in banana (*Musa* spp.) through enhanced expression of defence-related genes. *Nematology*, 25(4), 427–442. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10229>
- Kwara, B. K., Kwoseh, C. K., & Starr, J. L. (2014). Effectiveness of root-knot nematode (*Meloidogyne* species) resistant tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and pepper (*Capsicum* species) cultivars in Ghana. *Nematropica*, 44(2), 130–136. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/84278>
- Lal, R. (2007). Soil science and the carbon civilization. *Soil Science Society of America Journal*, 71(5), 1425–1437. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0001>
- Loranger-Merciris, G., Cabidoche, Y.-M., Deloné, B., Quénéhervé, P., & Ozier-Lafontaine, H. (2012). How earthworm activities affect banana plant response to nematodes parasitism. *Applied Soil Ecology*, 52(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.10.003>
- Loranger-Merciris, G., Ozier-Lafontaine, H., Diman, J.-L., Sierra, J., & Lavelle, P. (2022). Fast improvement of macrofauna communities and soil quality in plantain crops converted to agroecological practices. *Pedobiologia*, 93–94. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150823>
- Mendoza, A., Sikora, R. A., & Kiewnick, S. (2004). Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* (strain 251) for the control of *Radopholus similis* in banana. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 69(3), 365–372.
- Nhung, T. T. P., & Quoc, L. P. T. (2023). Nematicidal effect of *Eupatorium odoratum* Linn. aqueous extract on burrowing nematodes (*Radopholus similis*) and its application to control toppling disease on cavendish banana (*Musa acuminata*). *Journal of Horticultural Research*, 31(2), 69–78.
- Okpara, U. T., Fleskens, L., Stringer, L. C., Hessel, R., Bachmann, F., Daliakopoulos, I., ... Zoumides, C. (2020). Helping stakeholders select and apply appraisal tools to mitigate soil threats: Researchers' experiences from across Europe. *Journal of Environmental Management*, 257, 110005. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110005>
- Ornat, C., & Sorribas, F. J. (2008). Integrated management of root-knot nematodes in Mediterranean horticultural crops. In A. Ciancio & K. G. Mukerji (Eds.), *Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes* (Vol. 2, pp. 295–319). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6063-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6063-2_14)
- Robinson, D. A., Jackson, B. M., Clothier, B. E., Dominati, E. J., Marchant, S. C., Cooper, D. M., & Bristow, K. L. (2013). Advances in soil ecosystem services: Concepts, models, and applications for earth system life support. *Vadose Zone Journal*, 12(4), Article vzj2013-01.0027. <https://doi.org/10.2136/vzj2013.01.0027>
- Rodríguez-Kábana, R., & King, P. S. (1985). Evaluation of selected nematicides for control of *Meloidogyne arenaria* in peanut: A multi-year study. *Nematropica*, 15, 155–164. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/download/63863/61531>
- Román, J., & Acosta, N. (1984). *Nematodos: Diagnóstico y combate*. Universidad de Puerto Rico, Servicio de Extensión Agrícola, Recinto Universitario de Mayagüez. <https://uprmweb.uprm.edu/ofarrill/HTMLobj-234/NematodosDiagnosticoyCombate.pdf>
- Safeena, M. I. S., & Zakeel, M. C. M. (2020). Nanobiotechnology-driven management of phytonematodes. In R. A. Ansari, A. Sumbul, & I. Mahmood (Eds.), *Management of phytonematodes: Recent advances and future challenges* (pp. 1–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4087-5_1)
- Segura, R. A., Serrano, E., Pocasangre, L., Acuña, O., Bertsch, F., Stoorvogel, J. J., & Sandoval, J. A. (2015). Chemical and microbiological interactions between soils and roots in commercial banana plantations (*Musa* AAA, cv. Cavendish). *Scientia Horticulturae*, 197, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.028>
- Selvaraj, S., Ganeshamoorthi, P., Anand, T., Raguchander, T., Seenivasan, N., & Samiyappan, R. (2014). Evaluation of a liquid formulation of *Pseudomonas fluorescens* against *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense and *Helicotylenchus multicinctus* in banana plantation. *BioControl*, 59(3), 345–355. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9569-8>
- Sikora, R. A., Helder, J., Molendijk, L. P., Desaegeer, J., Eves-van den Akker, S., & Mahlein, A. K. (2023). Integrated nematode management in a world in transition: Constraints, policy, processes, and technologies for the future. *Annual Review of Phytopathology*, 61(1), 209–230. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-113058>
- Simard, S. W. (2009). Mycorrhizal networks and complex systems: Contributions of soil ecology science to managing climate change effects in forested ecosystems. *Canadian Journal of Soil Science*, 89(4), 369–382. <https://doi.org/10.4141/cjss08078>
- Sipes, B. S., & Schmitt, D. P. (2000). Rotylenchulus reniformis damage thresholds on pineapple. In *Acta Horticulturae* (Vol. 529, pp. 273–280). International Society for Horticultural Science (ISHS). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.529.29>
- Sousa, A. B. P., Rocha, A. de J., Oliveira, W. D. dos S., Rocha, L. de S., & Amorim, E. P. (2024). Phytoparasitic nematodes of *Musa* spp. with emphasis on sources of genetic resistance: A systematic review. *Plants*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/plants13101299>
- Su, L., Shen, Z., Ou, Y., Tao, C., Ruan, Y., Li, R., & Shen, Q. (2017). Novel

- soil fumigation strategy suppressed plant-parasitic nematodes associated with soil nematode community alterations in the field. *Applied Soil Ecology*, 121, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.039>
- Sundararaju, P., Swarnakumari, N., & Uma, S. (2008). Evaluation of banana (*Musa* spp.) germplasm against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 78(6), 563–566.
- Tabarant, P., Villenave, C., Risède, J.-M., Roger-Estrade, J., & Dorel, M. (2011). Effects of organic amendments on plant-parasitic nematode populations, root damage, and banana plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 47(3), 341–347. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0541-9>
- Tixier, P., Salmon, F., Chabrier, C., & Quénehervé, P. (2008). Modelling pest dynamics of new crop cultivars: The FB920 banana with the *Helicotylenchus multicinctus*–*Radopholus similis* nematode complex in Martinique. *Crop Protection*, 27(11), 1427–1431. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.06.004>
- Trivedi, P. C., & Barker, K. R. (1986). Management of nematodes by cultural practices. *Nematropica*, 16(2), 213–236. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/63891>
- Tripathi, L., Tripathi, J. N., Roderick, H., & Atkinson, H. J. (2013). Engineering nematode resistant plantains for sub-Saharan Africa. *Acta Horticulturae*, 974, 99–108. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.974.11>
- Ugarte, C. M., Zaborski, E. R., & Wander, M. M. (2013). Nematode indicators as integrative measures of soil condition in organic cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 64, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.035>
- Vargas, R., Wang, A., Obregón, M., & Araya, M. (2015). Efecto de *Trichoderma* spp., *Paecilomyces lilacinus* y la inyección de nematicida en el pseudotallo en el combate de *Radopholus similis* y la producción de banano. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 61–76. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v39n2/0377-9424-ac-39-02-00061.pdf>
- Vereecken, H., Schnepf, A., Hopmans, J. W., Javaux, M., Or, D., Roose, T., & Young, I. M. (2016). Modeling soil processes: Review, key challenges, and new perspectives. *Vadose Zone Journal*, 15(5), Article vzj2015-09.0131. <https://doi.org/10.2136/vzj2015.09.0131>
- Vidaurre, D., Rodríguez, A., & Uribe, L. (2020). Edaphic factors and entomopathogenic nematodes in a neotropical banana agroecosystem [Factores edáficos y nematodos entomopatógenos en un agroecosistema neotropical de banana]. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 276–288. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37680>
- Waweru, B. W., Losenge, T., Kahangi, E. M., Dubois, T., & Coyne, D. (2013). Potential biological control of lesion nematodes on banana using Kenyan strains of endophytic *Fusarium oxysporum*. *Nematology*, 15(1), 101–107. <https://doi.org/10.1163/156854112X645606>
- Westerdahl, B. B. (2021). Scenarios for sustainable management of plant parasitic nematodes. *Indian Phytopathology*, 74(2), 469–475. <https://doi.org/10.1007/s42360-021-00370-y>
- Yang, B., Banerjee, S., Herzog, C., Ramírez, A. C., Dahlin, P., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Impact of land use type and organic farming on the abundance, diversity, community composition, and functional properties of soil nematode communities in vegetable farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 318, 107488. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107488>

## Editorial

# La Agroecología, un modelo de producción de alimentos

Agroecology, a model of food production

Paola Mariela Studer <sup>1\*</sup>

\*Autor de Correspondencia: [pstuder@fca.uncu.edu.ar](mailto:pstuder@fca.uncu.edu.ar)

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Tecnología Ambiental, Mendoza. Argentina.

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

Sr. Editor:

La agricultura es una actividad de relevancia mundial para la humanidad, sin embargo, la tecnología implementada para llevarla a cabo deviene de la Revolución Verde. En su turno, se ha instalado la idea de un diseño técnico fundado en el monocultivo y el uso de un paquete tecnológico que se conforma por la mecanización de tareas agrícolas (siembra, cosecha, manejo fitosanitario, fertilización, riego, labranzas, etc.), el uso de semillas híbridas y/o transgénicas (en el presente) y el uso de plaguicidas y fertilizantes de síntesis química (sintéticos), artificializando los agroecosistemas. Estas técnicas han desencadenando una serie de consecuencias socioeconómicas y ambientales que atentan contra la sustentabilidad de los mismos (Studer, 2021).

Algunas de estas consecuencias son: la reducción y/o pérdida de la biodiversidad, pérdida de la vida del suelo, problemas de contaminación ambiental, contaminación de las reservas de agua, pérdida de eficiencia de los plaguicidas debido al desarrollo de resistencia por parte de las especies plagas, dependencia en el uso de agroquímicos, éxodo rural, erosión cultural y pérdida de conocimientos locales. Este fenómeno ha provocado la escasa aplicabilidad de los paquetes tecnológicos a la totalidad de los productores agropecuarios, y la marginalización de gran parte de la población rural, entre otras (Barkin, 1998; Hecht, 1999; Sarandón, 2002; Barril, 2002; OIT, 2011).

La Agroecología como paradigma socio-tecnológico propone un modelo de producción de alimentos con bases científicas y metodológicas para avanzar hacia una Agricultura Sustentable. El modelo de producción se ha basado en diseños tecnológicos que se fundamentan en el cuidado del medio ambiente, de los bienes naturales (agua, suelo, biodiversidad) y del ser humano para la producción alimentaria. El modelo de producción también involucra la importancia de la sostenibilidad, donde valores como la equidad, la retribución justa al productor, el acceso igualitario a los recursos para producir, el trabajo en blanco, la dinamización de mercados locales y gobernanzas responsables y eficaces integren el norte de la sustentabilidad (Studer, 2021). Estos valores confieren a la Agroecología una naturaleza multidimensional y sistémica, que permite abordar la complejidad sociocultural de los territorios, integrando una amplia diversidad de realidades y actores sociales. Como interesados están agricultores, estudiantes, académicos, científicos, consumidores, instituciones, espacios de ferias, organizaciones sociales, etc., quienes hoy impulsan una nueva forma de producir alimentos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que el objetivo de practicar la Agroecología es optimizar las interacciones entre las plantas, los animales, los seres humanos y el medio ambiente. Paralelo a estas interacciones son los aspectos sociales que deben abordarse para lograr un sistema alimentario justo y sostenible. Por lo que desarrollar conocimientos que permitan profundizar y ampliar antecedentes en Agroecología es hoy una responsabilidad vital para comunicarlos en ámbitos científicos, políticos institucionales, educativos y de mercado. Este enfoque se dirige hacia la construcción de una agricultura sustentable que sea: suficientemente productiva, económicamente viable (donde se contemplen y evalúen todos los costos), ambientalmente adecuada (donde se conserve la base de recursos naturales y se preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global) culturalmente y socialmente aceptable, donde se promueva equidad en la distribución de la riqueza, del salario y acceso a una vida digna tanto de los trabajadores, como de los empresarios) y técnicamente posible: (donde el acceso a la tecnología sea para todos los tipos de productores y el manejo sea situado a escala y contexto) (Sarandón, 2002; Abbona, 2004; Studer, 2021).

## Referencias

Abbona, E. (2004). La Agroecología como enfoque para el Desarrollo Rural Sustentable. Su Aplicación en la Evaluación de la Sustentabilidad de Viñedos de Berisso. Publicado en "I Jornadas De Planificación y Gestión Estratégicas Urbana y Territorial". LEMIT, La Plata, República Argentina.

Barkin, D. (1998). Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable. México: Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo. ISBN: 9687671041; versión electrónica. Recuperado de <https://portalacademico.cch.unam.mx/sites/default/files/riqueza.pdf> 3.

Barril, A. (2002). Desarrollo Rural: conceptos, institucionalidad y políticas en el 2001. Grupo de Investigaciones Agrarias-GIA, IICA. Santiago de Chile.

Hecht, S.B. (1999) La evolución del pensamiento agroecológico. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. ISBN (Nordan): 9974-42-052-0. Recuperado de <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (SF). ¿Qué es la agroecología? Recuperado de: <https://www.fao.org/agroecology/overview/es/>

Organización Internacional del trabajo - OIT. (2011). Seguridad y salud en la agricultura. Repertorio de recomendaciones prácticas. Oficina Internacional del Trabajo - Ginebra: OIT, 2011. ISBN 978-92-2-324970-0 (impreso) ISBN 978-92-2-324971-7 (web pdf). Recuperado de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-/-ed\\_protect/-/-protrav/-/-safework/documents/normativeinstrument/wcms\\_161137.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-/-ed_protect/-/-protrav/-/-safework/documents/normativeinstrument/wcms_161137.pdf)

Sarandón, S.J. (2002). El desarrollo y el uso de indicadores para evaluar sustentabilidad de los agroecosistemas. En Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. SJ Sarandón (Editor). Ediciones científicas americanas, La plata. Cap 20:393-414.

Studer, P. (2021). Propuesta de indicadores y evaluación de sustentabilidad para viticultores de perfil empresarial en la zona de Luján de Cuyo, Mendoza: (Tesis de Maestría). Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Recuperado de <https://bdigital.uncu.edu.ar/19285>

## 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<sup>1\*</sup> & Manuel H. Jiménez Huamán<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 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 m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>, 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                                                                                                                                             |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dependientes</b>   | 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                              |
| <b>Independientes</b> | 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.

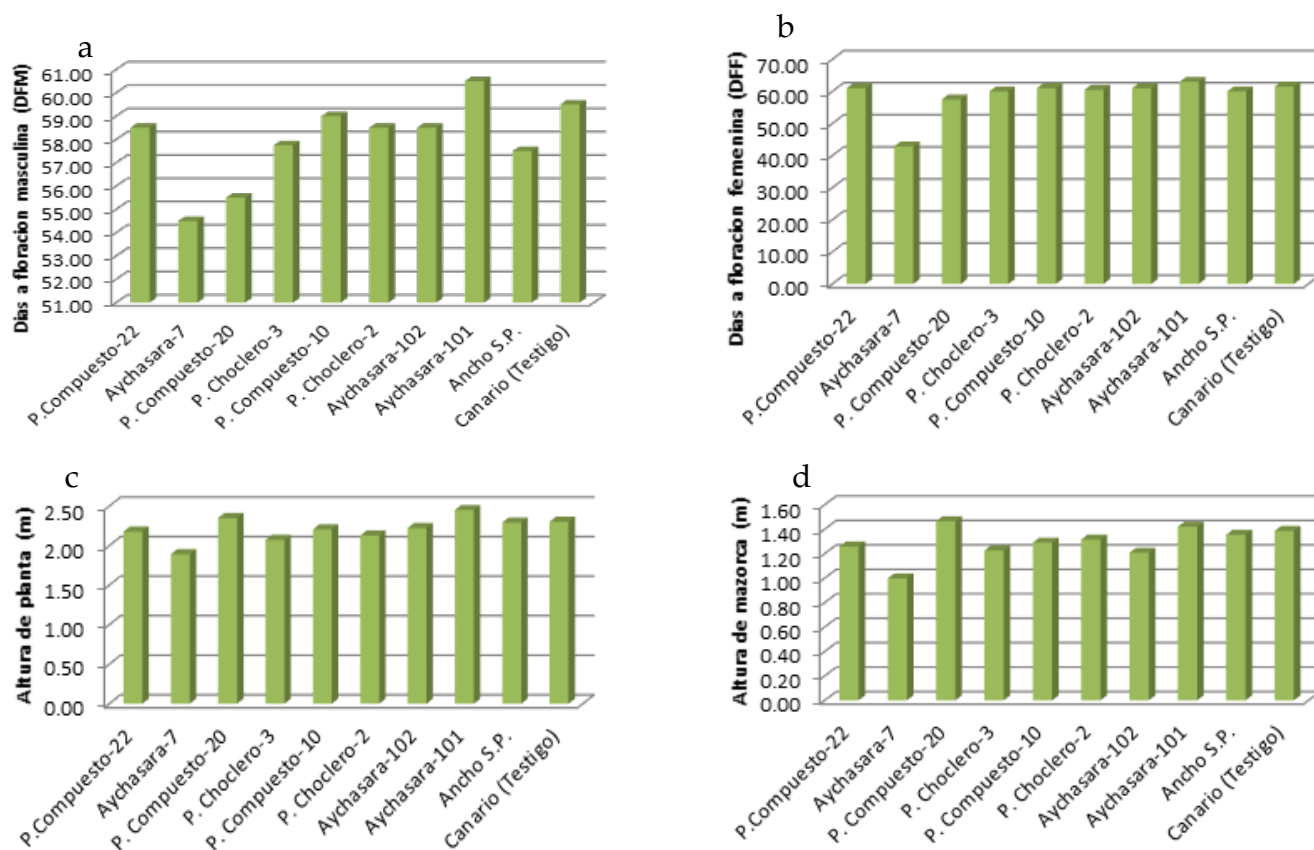
Además, las repeticiones también demostraron ser significativas ( $p = 0.573$ ), lo que resalta la confiabilidad de los resultados obtenidos en diferentes repeticiones del experimento. Finalmente, el error tiene una varianza considerable, lo que sugiere que pueden existir factores no controlados que 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

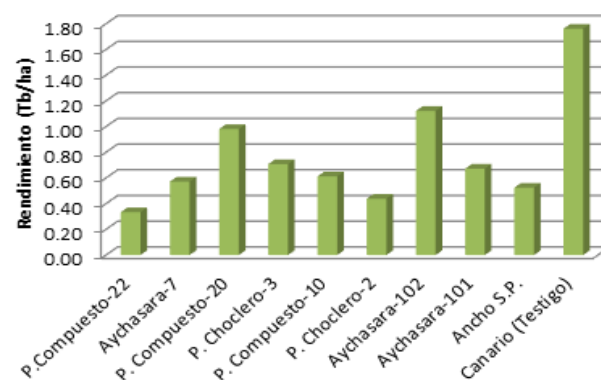
| Características agronomicas | DFM     | DFE    | ALT. PTA | ALT Mz | ASP. PTA | COB Mz | ASP Mz | SANIDAD Mz |
|-----------------------------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|--------|------------|
| Cuadrados Medios            | 5.914** | 7.211* | 0.079*   | 0.052* | 0.336**  | 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 <sup>1\*</sup>, Miguel Florido <sup>2</sup> & Nora Medrano <sup>3</sup>

\*Autor de Correspondencia: [wfuentes@fundacionvalles.org](mailto:wfuentes@fundacionvalles.org)

<sup>1,2</sup> Fundación Valles, Av. Salamanca #675, Edificio SISTECO, Cochabamba, Bolivia.

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

<sup>3</sup> 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.

## Introducción

El maíz es un cultivo fundamental en la seguridad alimentaria a nivel global, especialmente en regiones rurales como los valles interandinos de Bolivia. Sin embargo, este cereal está frecuentemente expuesto a contaminantes naturales como las micotoxinas, que representan un riesgo significativo para la salud humana y animal. Las fumonisinas, producidas principalmente por los hongos *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*, son micotoxinas comunes en el maíz y se han asociado con múltiples efectos adversos, como cáncer, enfermedades hepáticas y renales en humanos, además de ser perjudiciales para la producción agrícola (Ncube et al., 2017; Ostry et al., 2017). Estos contaminantes surgen a lo largo del ciclo del cultivo, durante la cosecha, almacenamiento y procesamiento, y son difíciles de eliminar debido a su resistencia térmica y estabilidad química (Oliveira et al., 2015; Omurtag, 2008).

La prevalencia de fumonisinas en el maíz no solo afecta la calidad del grano, sino también la seguridad alimentaria en comunidades rurales. En Malawi, por ejemplo, se reportó que más del 50% del maíz analizado contenía niveles preocupantes de fumonisinas, lo que subraya la necesidad de estrategias efectivas para mitigar este problema (Mwalwayo & Thole, 2016). En Brasil, estudios encontraron tanto fumonisinas libres como ocultas en muestras de maíz crudo, lo que evidencia que los métodos convencionales de detección podrían subestimar el nivel de contaminación real (Oliveira et al., 2015).

Diversos factores contribuyen a la incidencia de fumonisinas en el maíz, incluyendo condiciones climáticas, prácticas agrícolas inadecuadas y la presencia de plagas como *Busseola fusca*, que facilitan el desarrollo de infecciones fúngicas (Ncube et al., 2017; Nagy et al., 2006). Además, la falta de manejo adecuado en la cosecha y almacenamiento incrementa el riesgo de contaminación. Según investigaciones en Rumanía, las infecciones por *Fusarium* durante la floración y la maduración reducen tanto el rendimiento como la calidad del maíz (Nagy et al., 2006).

Frente a este desafío, las buenas prácticas agrícolas (BPA) y sistemas integrados de prevención son esenciales para controlar la presencia de micotoxinas. Estas estrategias incluyen una cosecha oportuna, un almacenamiento adecuado y la selección de granos saludables, lo que podría reducir significativamente los niveles de fumonisinas por debajo de los límites máximos permitidos (Ncube et al., 2017; Oliveira et al., 2015). Además, el monitoreo constante de las fumonisinas en el maíz es crítico para garantizar la inocuidad de los alimentos consumidos en comunidades vulnerables.

El presente estudio, determino la incidencia de fumonisinas en maíces nativos destinados al consumo familiar en los valles interandinos de Bolivia. Asimismo,

se evaluó la efectividad de un sistema integrado de prevención y control basado en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para mitigar los niveles de contaminación y proteger la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El monitoreo del Sistema Integrado de Prevención y Control de Micotoxinas en maíz (SIPCMMA) se realizó en cinco municipios: Villa Serrano, Padilla, Alcalá e Icla (Chuquisaca) y Mizque (Cochabamba), situados en los valles interandinos de Bolivia (2.000-2.500 m s.n.m.). La región presenta una temperatura promedio de 18 °C, precipitación anual de 650 mm y suelos franco arenosos y franco arcillosos, adecuados para el cultivo de maíz (Figura 1).

### Sistema integrado de prevención y control de micotoxinas en maíz (SIPCMMA)

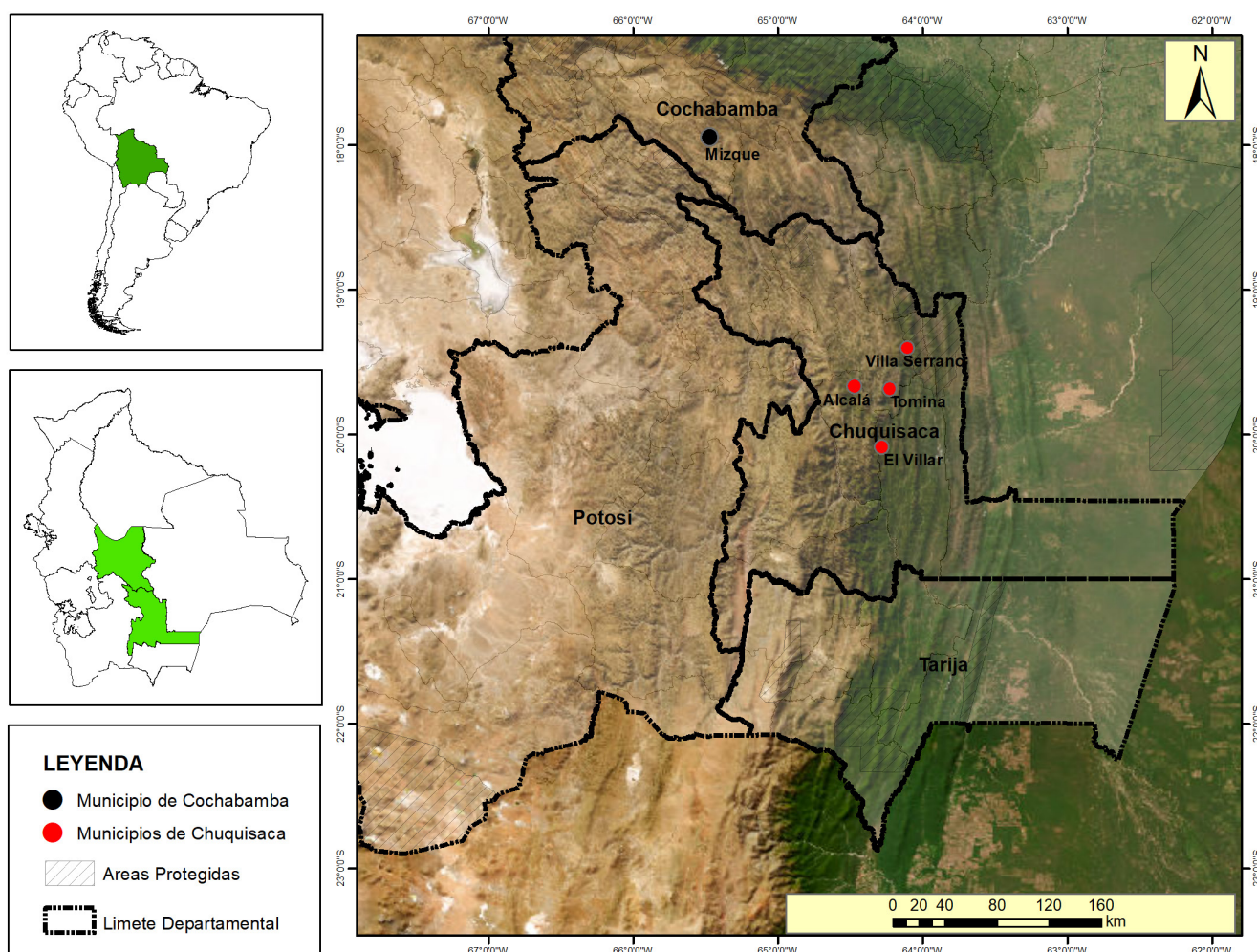
El SIPCMMA es un sistema de aseguramiento de calidad de BPA, para la prevención y control de la incidencia de micotoxinas en puntos críticos como: cosecha, secado del maíz en mazorca, pelado y selección de mazorcas, desgranado y selección del grano y almacenamiento en la casa del agricultor. Las especies del género *Fusarium* infectan el grano antes de la cosecha, de ahí el importante papel de la prevención en campo durante el desarrollo del maíz, con unas prácticas agronómicas y de almacenamiento adecuadas (Recomendación 2006/583/CE). La Figura 2 muestra el flujograma del SIPCMMA que fue aplicado por los productores participantes de este estudio de monitoreo.

### Diseño del muestreo

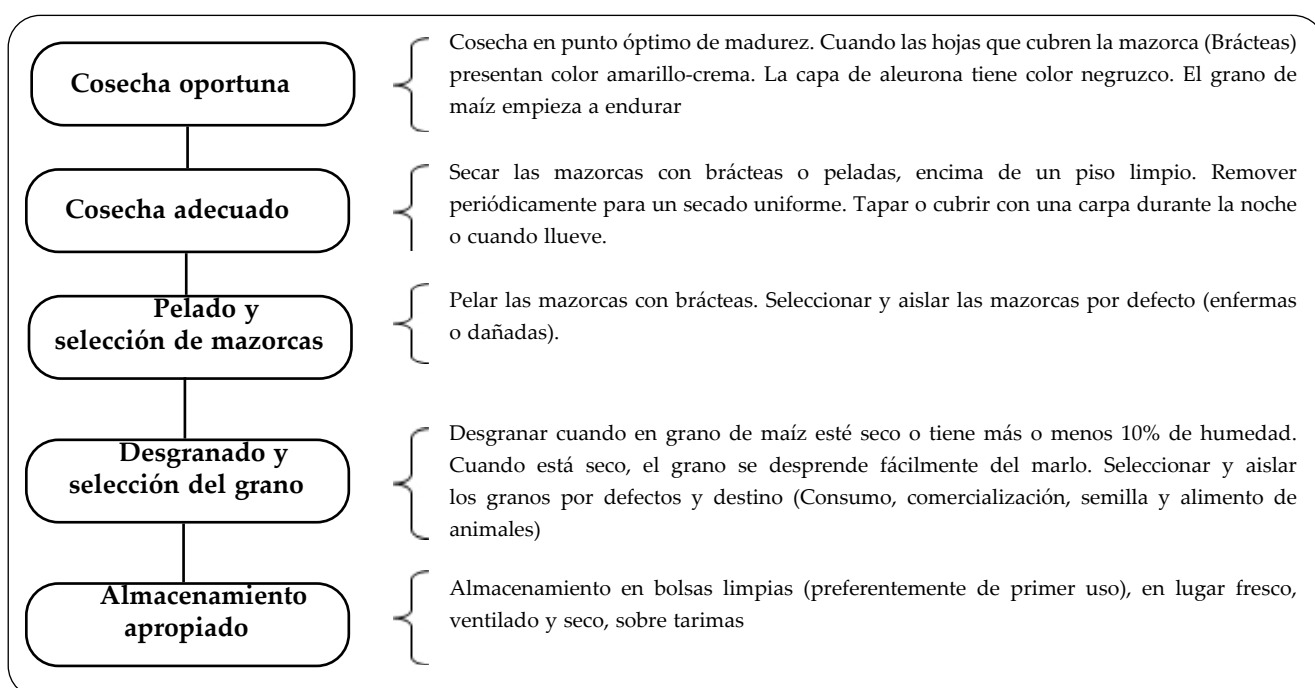
El estudio consideró una población de 241 familias productoras de maíz de cinco municipios en Chuquisaca y Cochabamba, todas registradas en la Lista de Productores Ecológicos (LPE) y participantes en la certificación orgánica. Para determinar el tamaño muestral, se utilizó la fórmula de Munch de poblaciones finitas ( $N = 241$ ,  $Z = 1,65$ ,  $p = 0,5$ ,  $q = 0,5$ ,  $e = 0,1$ ), obteniendo una muestra de 174 familias. Se aplicó un muestreo estratificado por municipio, asignando proporcionalmente las muestras: 64 en Villa Serrano, 51 en Alcalá, 27 en Padilla, 26 en Mizque y 9 en Icla.

### Muestreo

La recolección de muestras de maíz, en mazorca o grano, se realizó entre 2 y 3 meses después de la cosecha, directamente desde los almacenes familiares. Se aplicó un muestreo aleatorio simple para garantizar que cada unidad productiva tuviera la misma probabilidad de ser seleccionada. El volumen recolectado se subdividió en pequeñas porciones, combinadas para formar una muestra representativa ajustada al total producido.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de monitoreo en los municipios de estudio del SIPCMMMA



**Figura 2.** Flujo del sistema integrado de prevención y control de micotoxinas en maíz (SIPCMMMA)

## Análisis de laboratorio

En el Laboratorio de Chagas e Inmunoparasitología del Departamento de Biología de la Universidad Mayor de San Simón (FCyT - UMSS), se analizó la incidencia de las fumonisinas B1, B2 y B3 mediante el método específico para maíz, utilizando el kit comercial Fumonisin ELISA Assay (Ensayo por Inmunoabsorción Ligado a Enzimas), siguiendo el protocolo validado y aprobado por HELICA BioSystems Inc., Santa Ana, California, EE. UU.

La absorbancia se midió a 450 nm utilizando un lector de microplacas (Stat Fax 303 Plus). Tanto los estándares como las muestras fueron analizados mediante un análisis de la relación dosis-respuesta, que corresponde a una sustancia tóxica, la cual puede graficarse a través de una curva. El punto donde se detecta la toxicidad corresponde al nivel de "dosis umbral". La pendiente de la curva dosis-respuesta es crucial para predecir la toxicidad de la sustancia a dosis específicas.

### Análisis fumonisinas en laboratorio

Se pesaron 20 gramos de cada muestra de maíz previamente molida, a las cuales se les añadió etanol al 60% en una proporción de 1:2 para la extracción de fumonisinas. Las muestras fueron filtradas a través de papel de filtro Whatman N° 1 y luego diluidas con agua destilada deionizada. Tanto las muestras como los estándares fueron analizados por duplicado. Los pocillos de poliestireno fueron recubiertos con anticuerpos específicos de alta afinidad para la detección de fumonisinas B1, B2 y B3, optimizados para reaccionar de manera cruzada con los tres tipos de fumonisinas.

Las muestras extraídas y la fumonisina conjugada con la enzima Horseradish peroxidase (HRP) se mezclaron y se añadieron a los micropocillos recubiertos con los anticuerpos. En este proceso, tanto la fumonisina de la muestra como la conjugada con HRP compiten por unirse

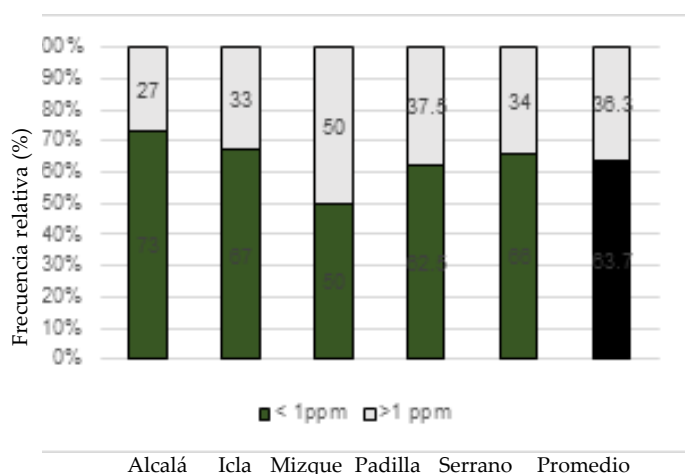


Figura 1. Frecuencia relativa de incidencia de Fumonisin en cinco municipios.

al anticuerpo adsorbido. Después de una incubación, los micropocillos fueron decantados y los reactivos no específicos se eliminaron mediante lavado. Se añadió un sustrato enzimático (TMB), lo que desarrolló un color azul cuya intensidad es inversamente proporcional a la concentración de fumonisina. Finalmente, se añadió una solución de parada ácida que cambió el color del cromógeno de azul a amarillo. La absorbancia a 450 nm (OD450) fue medida con un lector de microplacas, comparando las densidades ópticas con los estándares del kit para determinar la concentración de fumonisinas en ng/ml, ppb o ppm.

### Análisis estadístico

El análisis de la incidencia de fumonisinas en el maíz destinado al consumo y comercialización se realizó en las unidades familiares monitoreadas, elaborando tablas de distribución de frecuencias por municipio y categorizando los datos en <1 ppm y >1 ppm según el Límite Máximo Permitido (LMP) de 1 ppm. Se utilizó Microsoft Excel 2019 para construir un diagrama de dispersión a partir de los datos organizados en una hoja de cálculo. Como indicador de precisión experimental, se consideró aceptable un valor menor o igual al 25% (García et al., 2020). Este enfoque metodológico permitió una evaluación sistemática de la contaminación por fumonisinas en la región, proporcionando información clave para la gestión del riesgo en la producción de maíz.

## Resultados

### Incidencia de fumonisinas

En base a los resultados de laboratorio, se hizo el análisis de datos para los cinco municipios en estudio, se construyó la tabla de distribución de frecuencias; donde se puntualiza la frecuencia relativa en porcentaje de la incidencia de fumonisinas por municipio, para ello se agruparon los datos < 1 ppm y > a 1ppm, considerando

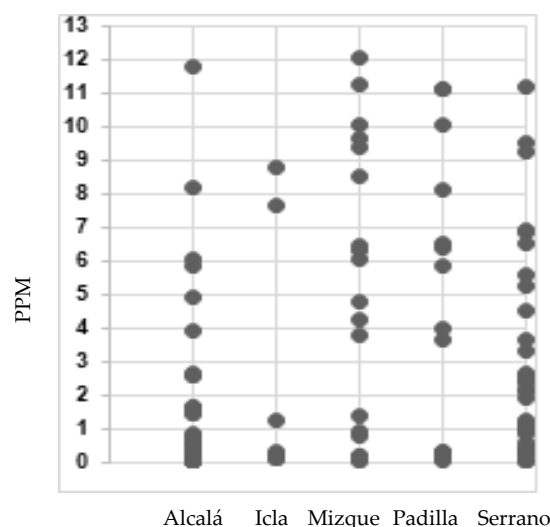


Figura 2. Distribución de fumonisinas en ppm, por municipio.

Tabla 1. Frecuencia relativa de incidencia de fumonisinas en los cinco municipios.

| Municipios | Grupos | Frecuencia absoluta | Frecuencia Relativa (%) |
|------------|--------|---------------------|-------------------------|
| Alcalá     | <1 ppm | 37                  | 73                      |
|            | >1 ppm | 14                  | 27                      |
| Icla       | <1 ppm | 6                   | 67                      |
|            | >1 ppm | 3                   | 33                      |
| Mizque     | <1 ppm | 13                  | 50                      |
|            | >1 ppm | 13                  | 50                      |
| Padilla    | <1 ppm | 15                  | 62.5                    |
|            | >1 ppm | 9                   | 37.5                    |
| V. Serrano | <1 ppm | 42                  | 66                      |
|            | >1 ppm | 22                  | 34                      |

que el límite máximo permisible (LMP) es de 1 ppm (Figura 1)

El análisis de frecuencias de incidencia de fumonisinas (Tabla 1), en los municipios de Alcalá (27%), Icla (33%), Villa Serrano (34%), Padilla (34.5%) y Mizque (50%), muestra porcentajes elevados de presencia de fumonisinas por encima del umbral permitido (1 ppm). Siendo Alcalá con 27% el municipio con menor incidencia y Mizque el municipio que con mayor incidencia con un 50%, respecto al límite máximo permisible (LMP). En base a estos resultados, la figura 3, nos permite observar la frecuencia relativa de la incidencia de fumonisinas en los municipios y su promedio.

### *Distribución y valores de fumonisinas*

En la Figura 2, observamos los valores de incidencia de fumonisinas, en función al LMP (1 ppm), el valor máximo de incidencia es de 12.05 ppm, en el municipio de Mizque y el valor mínimo es de 0.05 ppm, en el municipio de Alcalá, con una amplitud de variación de 12.00 ppm, en los valores de incidencia de fumonisinas en los cinco municipios. Además, se observa valores máximos de incidencia de fumonisinas, en los municipios de Alcalá (11.75 ppm), Icla (8.79 ppm), Mizque (12.05 ppm), Padilla (11.11 ppm) y V. Serrano (11.21 ppm), muy por encima del límite máximo permisible (LMP). Los valores por debajo de este LMP, por municipio son Alcalá (0.05 ppm), Icla (0.12 ppm), Mizque (0.07 ppm), Padilla (0.07 ppm) y V. Serrano (0.07 ppm). Con amplitudes de variación de 11.70 ppm, 8.67 ppm, 11.98 ppm, 11.04 ppm y 11.14 ppm, respectivamente.

### **Discusión**

El estudio sobre la incidencia de fumonisinas muestra una reducción significativa en su presencia en el maíz gracias a la implementación del Sistema Integral de Producción y Control de Maíz para Mitigar Fumonisinas (SIPCMMA), pasando de un 100% a un 36% en la población estudiada. Sin embargo, aunque esta disminución es notable, los niveles promedio aún superan el umbral

permitido de 1 ppm. Este resultado pone en evidencia la necesidad de revisar la eficacia real del sistema, ya que, si bien reduce los riesgos, no logra eliminar completamente el problema. Esto es consistente con estudios previos que destacan que los sistemas integrados de manejo pueden reducir, pero no necesariamente erradicar, la contaminación por micotoxinas debido a factores ambientales y de implementación (Marasas et al., 2001).

La efectividad del SIPCMMA está condicionada por múltiples factores, incluyendo las decisiones de los productores y las condiciones naturales del entorno, como el clima, la fertilidad del suelo, y la incidencia de plagas. Estas variables pueden dificultar la adopción uniforme del sistema y, por ende, influir en su eficacia. Estudios han señalado que las variaciones climáticas pueden aumentar la susceptibilidad del maíz a *Fusarium* spp., el hongo productor de fumonisinas, lo que limita el impacto de las estrategias de mitigación (Munkvold, 2003). Además, factores como la asistencia técnica, las oportunidades de mercado y la disponibilidad de mano de obra también afectan la implementación efectiva del SIPCMMA. La literatura resalta que, para maximizar la reducción de fumonisinas, es crucial adaptar los sistemas de prevención al contexto local y realizar un monitoreo constante para ajustar las prácticas conforme a las necesidades del entorno (Logrieco et al., 2008).

Por último, la amenaza constante de la incidencia de fumonisinas en el maíz subraya la importancia de continuar con la investigación. Es necesario no solo mejorar los sistemas existentes, sino también desarrollar nuevas estrategias que consideren los cambios en los contextos ambientales y socioeconómicos. Investigaciones recientes han sugerido que la integración de biotecnología y agricultura de precisión podría ofrecer herramientas más efectivas para reducir las micotoxinas en cultivos clave como el maíz (Bennett & Klich, 2003).

### **Conclusiones**

El estudio sobre la incidencia de fumonisinas muestra que la implementación del SIPCMMA ha reducido su presencia en el maíz del 100% al 36% en la población estudiada, aunque aún supera el umbral permitido de 1 ppm. La aplicación del sistema depende de decisiones de los productores y factores como clima, variedad de cultivo y asistencia técnica, lo que implica que la amenaza persiste. Es crucial seguir investigando y ajustando el sistema, difundiéndolo en diversos niveles, especialmente en salud pública, para fortalecer las acciones de mitigación y promover el SIPCMMA entre más productores, mejorando la calidad del maíz y los ingresos económicos.

### *Declaración de conflictos de interés*

Los autores no tenemos conflictos de interés

### *Agradecimiento*

Los autores agradecemos al M.Sc. Reinaldo Lozano, por generar el mapa de ubicación de los municipios

## Referencias

Bennett, J. W., & Klich, M. (2003). Mycotoxins: Toxic secondary metabolites produced by fungi. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497-516.

Logrieco, A., Battilani, P., & Moretti, A. (2008). Improving food safety by reducing mycotoxin contamination: A challenge for the mycotoxicology community. *Journal of Plant Pathology*, 90(2), 295-298.

Marasas, W. F. O., Miller, J. D., Riley, R. T., & Visconti, A. (2001). Mycotoxins – Problems remain but prevention is possible: The potential of fumonisins. *Journal of Toxicology – Toxin Reviews*, 20(2), 153-169.

Munkvold, G. P. (2003). Environmental factors influencing fumonisin contamination of maize: Implications for managing mycotoxins in developing countries. *Phytopathology*, 93(7), 685-693.

Mwalwayo, D. S., & Thole, B. (2016). Prevalence of aflatoxin and fumonisins (B1+ B2) in maize consumed in rural Malawi. *Toxicology Reports*, 3, 173-179.

Nagy, E., Voichița, H., & Kadar. (2006). The influence of *Fusarium* ear infection on the maize yield and quality (Transylvania-Romania). *Communications in Agricultural and Applied Biological Science*, 71(3 Pt B), 1147-1150.

Ncube, E., Flett, B. C., Van den Berg, J., Erasmus, A., & Viljoen, A. (2017). The effect of *Busseola fusca* infestation, fungal inoculation and mechanical wounding on *Fusarium* ear rot development and fumonisin production in maize. *Crop Protection*, 99, 177-183.

Oliveira, M. S., Diel, A. C., Rauber, R. H., Fontoura, F. P., Mallmann, A., Dilkin, P., & Mallmann, C. A. (2015). Free and hidden fumonisins in Brazilian raw maize samples. *Food Control*, 53, 217-221.

Ostry, V., Malir, F., Toman, J., & Grosse, Y. (2017). Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33(1), 65-73.

## Artículo Original

# Evaluación del rendimiento de ocho variedades de Frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), Municipio de Villa Vaca Guzmán

Performance evaluation of eight bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.), Municipality of Villa Vaca Guzmán

Sandro Velásquez Aguirre<sup>1,2</sup> & Marco A. Barrientos Pinto<sup>1\*</sup>

\*Autor de Correspondencia: [desmodium.86@gmail.com](mailto:desmodium.86@gmail.com)

<sup>1</sup> Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria, Sucre, Bolivia.

<sup>2</sup> Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Administración Agropecuaria, Monteagudo, Bolivia.

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

## Resumen

La investigación sobre el rendimiento de variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris*) es fundamental para el desarrollo agrícola en regiones productoras, como el Chaco Chuquisaqueño. La evaluación de diferentes variedades permite identificar las más adaptadas a condiciones locales y optimizar la producción. En este contexto, el presente estudio se centró en la evaluación de variedades de frejol en la comunidad de El Camotal, en el Municipio de Villa Vaca Guzmán (Chuquisaca), durante el ciclo agrícola de 2015. El presente estudio se llevó a cabo en la comunidad El Camotal, ubicada en el Cantón Ticucha, Municipio de Villa Vaca Guzmán, Departamento de Chuquisaca. El objetivo principal fue evaluar el rendimiento de ocho variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris*). Para ello, se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y ocho tratamientos. El análisis de los datos se realizó mediante un análisis de varianza y pruebas de medias, específicamente la prueba de Tukey (alfa = 0.05). Las variables evaluadas en el cultivo incluyeron la altura de la planta, área foliar, número de vainas por planta, relación grano/cascarilla y rendimiento. Los resultados indicaron que el mayor número de vainas por planta se registró en el tratamiento T1, con un promedio de 13.18 vainas/planta. En cuanto al rendimiento, el tratamiento T2 presentó el mejor resultado, con 927.50 kg/ha, seguido de T3 con 833.18 kg/ha. Estos tratamientos demostraron ser los más productivos en términos de rendimiento de frejol en la comunidad de El Camotal, ubicada en la región del Chaco Chuquisaqueño.

**Palabras claves:** adaptabilidad, Camotal, evaluación agronómica, frejol, rendimiento, variedades.

## Abstract

Research on the performance of bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) is crucial for agricultural development in producing regions, such as the Chaco Chuquisaqueño. Evaluating different varieties allows for the identification of those best adapted to local conditions, thereby optimizing production. In this context, the present study focused on the evaluation of bean varieties in the community of El Camotal, located in the Municipality of Villa Vaca Guzmán (Chuquisaca). This study was conducted in the community of El Camotal, situated in the Ticucha Canton, Municipality of Villa Vaca Guzmán, and Department of Chuquisaca. The main objective was to assess the performance of eight bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) during the 2015 agricultural cycle. A randomized complete block design was used, with four replications and eight treatments. Data analysis was performed using analysis of variance and mean comparison tests, specifically Tukey's test (alpha = 0.05). The variables assessed in the crop included plant height, leaf area, number of pods per plant, seed-to-pod ratio, and yield. The results showed that the highest number of pods per plant was obtained in treatment T1, with an average of 13.18 pods/plant. Regarding yield, treatment T2 achieved the best result, with 927.50 kg/ha, followed by T3 with 833.18 kg/ha. These treatments were found to be the most productive in terms of bean yield in the community of El Camotal, located in the Chaco Chuquisaqueño region.

**Keywords:** adaptability, Camotal, agronomic evaluation, bean, yield, varieties.

## Introducción

El frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), originario de América, es la leguminosa alimenticia más importante a nivel mundial y constituye uno de los alimentos básicos en la región Andina. Su producción y consumo se concentran mayoritariamente en países en desarrollo. Esta leguminosa es un componente fundamental de la dieta en América Latina, África y otras regiones del mundo, debido a su alto contenido de proteínas y carbohidratos. Entre las leguminosas de granos comestibles, el frejol es la especie más relevante para el consumo humano, con una producción que abarca diversas regiones y se cultiva globalmente (FAO, 2023). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de frejol en 2022 alcanzó aproximadamente 29.5 millones de toneladas, un aumento respecto a los 19.30 millones de toneladas reportados en 2007. Brasil continúa siendo el principal productor de frejol a nivel mundial, con una participación de alrededor del 18.5% en la producción global (FAO, 2023). Otros países importantes productores incluyen India, China y Estados Unidos.

En Bolivia, la superficie cultivada con frejol (*P. vulgaris*) ha experimentado un aumento significativo en los últimos años, alcanzando más de 80.000 hectáreas en 2023. Este incremento se debe a la creciente demanda con fines de exportación, especialmente hacia Brasil y otros países de América Latina, donde el frejol boliviano es reconocido por su calidad. La introducción del frejol en Bolivia se remonta a 1979, cuando se comenzó a cultivar en el departamento de Santa Cruz, con el objetivo de mejorar los estándares nutricionales de la población y proporcionar a los agricultores nuevas fuentes de ingreso y el mejor uso de la tierra.

En el departamento de Chuquisaca, la producción de frejol es particularmente relevante en localidades como Monteagudo, Padilla, Huacareta, Sopachuy, Tarabuco, Villa Serrano y Camargo, entre otras, con un enfoque creciente en la mejora de la calidad del germoplasma y la diversificación de variedades para afrontar los retos del cambio climático y las plagas (Choque, 2013). En la comunidad de Camotal, en el municipio de Villa Vaca Guzmán, la producción de frejol se realiza bajo un sistema semimecanizado y tradicional, con medianos productores que cultivan entre 1 y 3 hectáreas de terreno. La siembra se lleva a cabo en su mayoría bajo condiciones de secano, aprovechando las aguas de lluvia en el periodo de octubre a diciembre, y con siembras tardías entre enero y marzo. En 2023, se observó un incremento en la superficie cultivada en la región debido a la alta demanda de frejol para la exportación.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de diversas variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) como alternativa de producción en la comunidad de El Camotal, ubicada en el municipio de Villa Vaca Guzmán, en los agroecosistemas del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado (PN ANMI) – Serranía del Iñaño. Este estudio se enfoca en la adaptación de variedades locales y mejoradas a las

condiciones climáticas y agroecológicas de la región, con el fin de aumentar la productividad y la sostenibilidad de la producción en la zona del Chaco sur este de Bolivia.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de El Camotal, situada en el cantón Ticucha del municipio de Villa Vaca Guzmán, dentro del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado (PN ANMI) “Serranía del Iñaño”. Esta comunidad abarca aproximadamente 6.800 hectáreas y se localiza en las coordenadas geográficas 19°39'48.97" S y 63°52'40.03" W, a una altitud de 1,401 m.s.n.m. El estudio se desarrolló en la ecorregión del Bosque Boliviano-Tucumano por Chari (*Parapintadenia excelsa*) y Tipa (*Tipuana tipu*), que se caracteriza por una predominancia de especies forestales como el pacay (*Inga marginata*), tipa (*T. tipu*), nogal (*Juglans boliviana*), timboy (*Enterolobium contortisiliquum*), cedro (*Cedrela lilloi*), entre otras (Navarro & Ferreira, 2011 en Carretero et al., 2011; SERNAP, 2013).

En la actualidad, la mayoría de los agricultores de la zona se dedican a la producción comercial y de subsistencia, principalmente de maíz, maní y ají, además de la crianza de ganado bovino y porcino, y en menor medida, a la cría de ganado ovino y caprino. Se observa una práctica común de transformación de áreas boscosas en terrenos agrícolas y ganaderos. En cuanto al uso del suelo, el 5.3% está destinado a actividades agrícolas, el 23.1% a ganadería mixta, el 13.5% a actividades ganaderas de apoyo circunstancial, y el 36% restante corresponde a montes y bosques forestales de uso múltiple.

### Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro repeticiones, lo que resultó en un total de 32 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en ocho variedades de frejol, fueron ocho los tratamientos con cuatro repeticiones (Tabla 1). Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza utilizando el software estadístico InfoStat (Balzarini et al., 2008; Fernández et al., 2010; Guzmán, 2002; Reyes, 1981). Para la comparación de medias, se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0.05$ ).

## Resultados

### Altura de la planta (cm)

El análisis de varianza para la variable altura de la planta reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ), con un coeficiente de variación confiable de 7.87%. La prueba de medias de Tukey mostró que el tratamiento T5 (Frejol Blanquiscal) presentó el mayor crecimiento, alcanzando una altura promedio de 44.65 cm. Le siguió el tratamiento T7 (Perla Oriental) con 35.30 cm, T3 (Rojo Pequeño MIB 397) con 32.45 cm,

Tabla 1. Tratamientos en estudio (variedades de frejol).

| No | Nombre del tratamiento (variedad) | Procedencia         |
|----|-----------------------------------|---------------------|
| 1  | Negro Sen                         | I.I.A. El Vallecito |
| 2  | Fortaleza                         | I.I.A. El Vallecito |
| 3  | Rojo pequeño MIB 397              | I.I.A. El Vallecito |
| 4  | Rojo cuarentón (Testigo)          | Monteagudo          |
| 5  | Frejol Blanquiscal (Testigo)      | Monteagudo          |
| 6  | Negro sequia (Testigo)            | Monteagudo          |
| 7  | Perla oriental                    | I.I.A. El Vallecito |
| 8  | Carioca (Testigo)                 | Monteagudo          |

Tabla 2. Descripción de seis variables evaluadas en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.)

| Variables                      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Altura de la planta (cm)       | De 10 plantas al azar dentro de cada parcela útil por tratamiento, se procedió a medir la altura desde la base del tallo hasta el ápice terminal, esta toma de datos se realizó a los 50 días después de la siembra.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Épocas de floración            | Registrando el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas en cada variedad presenten la flor abierta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Numero de vainas/planta        | 5 plantas cosechadas de la parte central al azar dentro del área útil, totalizando luego el número de vainas por planta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Relación cascarrilla/grano (%) | Se pesaron los granos y la cascarrilla y después por diferencia se expresaron los datos obtenidos en porcentaje.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Peso de 100 semillas (gr)      | Se tomó 100 semillas o granos al azar por tratamiento y el peso de la misma se expresó en gr.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Rendimiento en grano (kg/ha)   | Para la evaluación del rendimiento se cosecharon los dos surcos centrales de cada unidad experimental/tratamiento sin tomar en cuenta los bordes con el fin de evitar el efecto de bordura, el rendimiento de grano, se procedió a calcular mediante la siguiente fórmula: (Blanco 2005).<br>$\text{Rend. (Kg/ha)} = \text{PC (Kg/parc)} \times ((10.000)/((\text{Sup.parc}) \times ((100 - \text{Hum cosch})/((100 - \text{Hum estand})) \times (\% \text{ de grano}))$ |

y T4 (Rojo Cuarentón) con 29.65 cm. En contraste, los tratamientos T2 (Fortaleza) con 25.65 cm y T6 (Negro Sequia) con 24.20 cm mostraron los menores crecimientos en comparación con los demás tratamientos (Figura 1a).

### Días a la floración

El análisis de varianza para la variable días a la floración después de la siembra mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0002$ ), con un coeficiente de variación confiable de 10.12%. La prueba de medias de Tukey indicó que el tratamiento T6 (Negro Sequia) en el periodo más largo para llegar a la floración, con 45.00 días. Le siguieron T8 (Carioca) con 44.50 días, T7 (Perla Oriental) con 43.25 días, mientras que T3 (Rojo Pequeño MIB 397) y T4 (Rojo Cuarentón) fueron los tratamientos con el menor tiempo para alcanzar la

floración, con 37.00 y 35.00 días, respectivamente. Estos resultados evidencian que T3 y T4 tuvieron el periodo más corto en comparación con los demás tratamientos (Figura 1b).

### Número de vainas por planta

El análisis de varianza, para el numero de vainas/planta, muestran diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.00104$ ), además se reporta un coeficiente de variación confiable de 23.20%. Y mediante la prueba de medias de Tukey, el T1 Negro Sen tiene el mayor número de vainas/planta, con 13.18 vainas, seguido de T6 Negro Sequia, con 11.09 vainas; T3 Rojo Pequeño MIB 397, con 10.91 vainas; T7 Perla Oriental, con 9.64 vainas y por último T8 Carioca, con 9.09 vainas y T5 Frejol Blanquiscal, con 3.45 vainas que son los tratamientos que presentaron el menor número de vainas en comparación a los demás tratamientos (Figura 1c).

### Porcentaje de grano (%)

El análisis de varianza, para la variable porcentaje de grano, no muestran diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.5954$ ), donde se reporta un coeficiente de variación confiable de 18.02%. Y mediante la prueba de medias de Tukey, el T1 Negro Sen tiene el mayor porcentaje de grano, con 67.58%, seguido T3 Rojo Pequeño MIB 397, con 61.56%; T2 Fortaleza, con 60.73% y por último T6 Negro Sequia, con 53.59% y T8 Carioca, con 52.24% que son los tratamientos que presentaron el menor porcentaje de granos en comparación a los demás tratamientos (Figura 1d).

### Porcentaje de cascarrilla (%)

El análisis de varianza, para la variable porcentaje de cascarrilla, no muestran diferencias significativas entre los tratamientos (0,5954), donde se reporta un coeficiente de variación confiable de 26.51%. Y mediante la prueba de medias de Tukey, el T8 Carioca tiene el mayor porcentaje de cascarrilla, con 47.76%, seguido T6 Negro Sequia, con 46.41%; T5 Frejol Blanquiscal, con 40.76% y por último T3 Rojo Pequeño MIB 397, con 38.44% y T1 Negro Sen, con 32.42% que son los tratamientos que presentaron el menor porcentaje de cascarrilla en comparación a los demás tratamientos (Figura 1e).

### Peso de 100 semillas (gr)

El análisis de varianza, para la variable peso de 100 semillas, muestran diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0001$ ), además se reporta un coeficiente de variación confiable de 7.06%. Y mediante la prueba de medias de Tukey, el T2 (Fortaleza) tiene el mejor peso, con 55.70 gr; seguido T4 (Rojo Cuarentón), con 45.60 gr; T1 (Negro Sen), con 25.45 gr; T7 (Perla Oriental), con 22.13 gr y por último T6 (Negro Sequia), con 16.50 gr que es el tratamiento que presentó el menor peso en comparación a los demás tratamientos (Figura 1f).

## Rendimiento (kg/ha)

El análisis de varianza para la variable rendimiento en grano (kg/ha) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0044$ ), con un coeficiente de variación de 43.63%. La prueba de medias de Tukey reveló que el tratamiento T2 (Fortaleza) alcanzó el mayor rendimiento, con 927.50 kg/ha, y presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con los demás tratamientos. Le siguieron T3 (Rojo Pequeño MIB 397) con 833.18 kg/ha, T1 (Negro Sen) con 773.64 kg/ha, y T7 (Perla Oriental) con 627.27 kg/ha. Por otro lado, los tratamientos T8 (Carioca) con 286.36 kg/ha y T5 (Frejol Blanquiscal) con 254.55 kg/

ha obtuvieron los rendimientos más bajos (Figura 2).

## Rendimiento (kg/ha)

El análisis de varianza para la variable rendimiento en grano (kg/ha) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0044$ ), con un coeficiente de variación de 43.63%. La prueba de medias de Tukey reveló que el tratamiento T2 (Fortaleza) alcanzó el mayor rendimiento, con 927.50 kg/ha, y presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con los demás tratamientos. Le siguieron T3 (Rojo Pequeño MIB 397) con 833.18 kg/ha, T1 (Negro Sen) con 773.64 kg/ha, y T7 (Perla Oriental) con 627.27 kg/ha. Por otro lado, los tratamientos T8 (Carioca) con 286.36 kg/ha y T5 (Frejol Blanquiscal) con 254.55 kg/

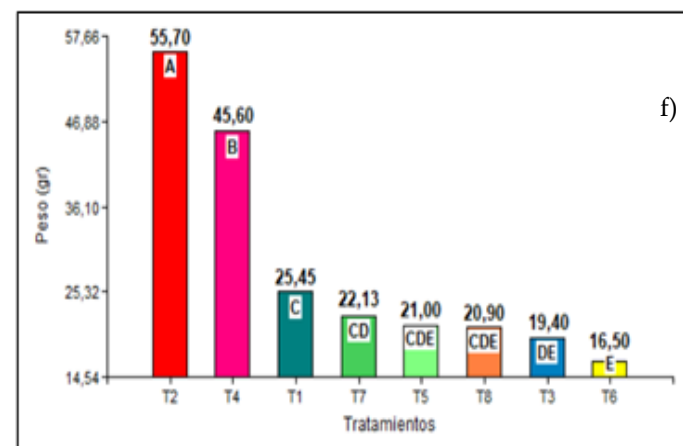
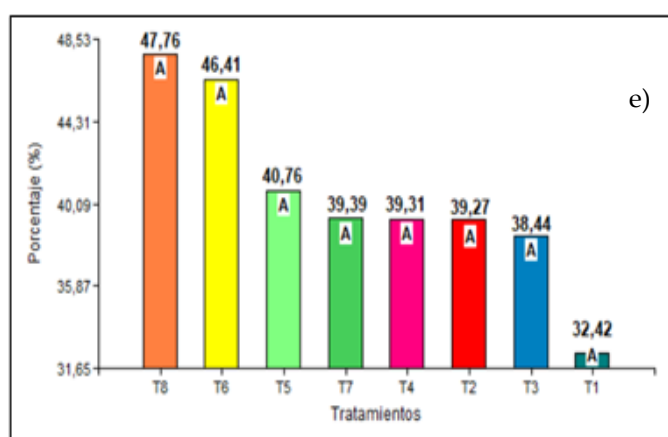
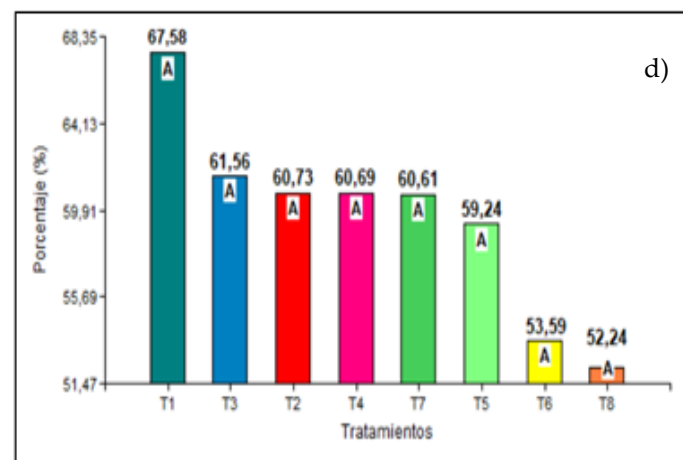
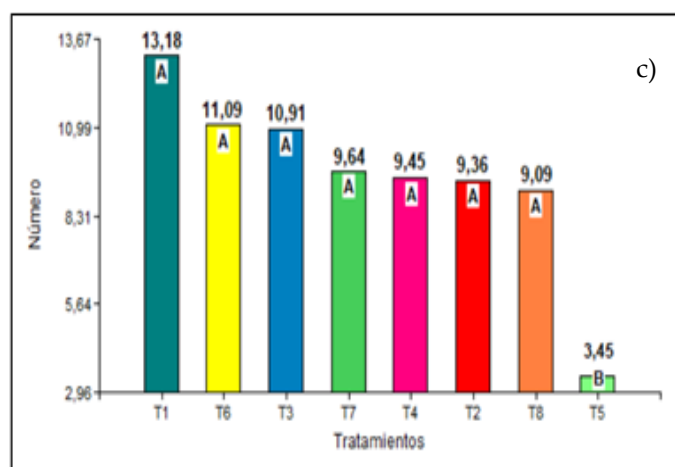
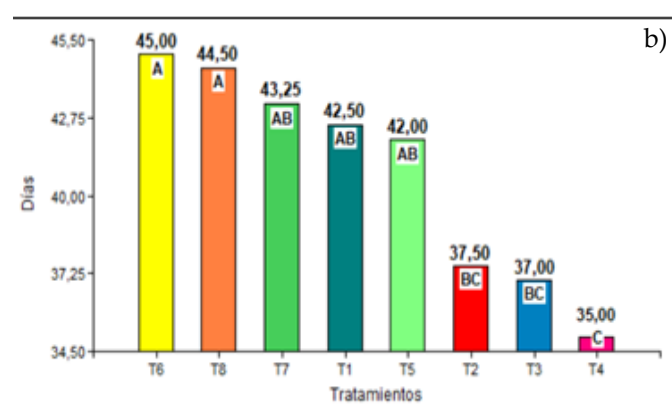
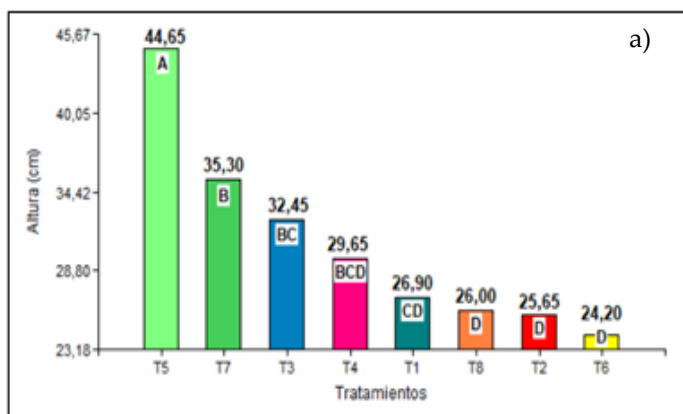


Figura 1. a) Altura de la planta (cm); b) Días a la floración; c) Número de vainas por planta; d) Porcentaje de grano (%); e) Porcentaje de cascarilla (%); f) Peso de 100 semillas de 8 variedades de frejol introducidos en la comunidad de El Camotal.

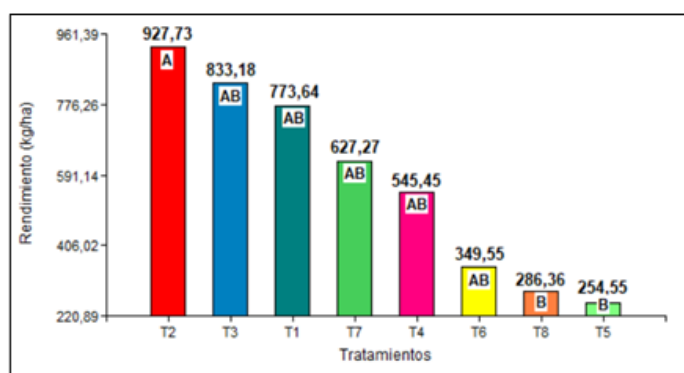


Figura 2. Rendimiento en grano (kg/ha) de ocho variedades de frejol (*P. vulgaris*), introducidos en la comunidad de El Camotal.

627.27 kg/ha. Por otro lado, los tratamientos T8 (Carioca) con 286.36 kg/ha y T5 (Frejol Blanquiscal) con 254.55 kg/ha obtuvieron los rendimientos más bajos (Figura 2).

## Discusiones

### Altura de la planta

La altura de la planta es una característica que depende tanto de factores genéticos como ambientales, y se determina principalmente por el número de nudos y la longitud de los entrenudos (Cáceres y Meza, 2001, citando a Reyes, 1992). Según Moraga y López (1993), la altura juega un papel fundamental en la competencia inter-específica, en la sanidad de las primeras vainas y en su relación con el rendimiento. Además, Galeano (2001), citado por Sequeira y Valle (2004), señala que la altura de la planta está influenciada por efectos tanto ambientales como genéticos, sugiriendo que se pueden observar comportamientos diferenciados cuando los tratamientos se aplican en condiciones adversas.

### Días a la floración

La floración es un parámetro clave para el manejo agronómico del cultivo. Los días hasta la floración están principalmente influenciados por la temperatura, el fotoperiodo y el genotipo (White e Izquierdo, 1991). Según Suarez y Solís (2006), citando a Llano (2006), en Nicaragua se considera que la floración es precoz cuando ocurre entre 30 y 33 días después de la siembra (dds), intermedia entre 34 y 37 dds, y tardía cuando supera los 38 dds.

### Vainas por planta

El número de vainas por planta es un carácter cuantitativo, ya que sus valores se expresan en números enteros (White, 1985). Este parámetro es fundamental para el rendimiento y está influenciado por factores genéticos y ambientales, especialmente durante la época de floración y la fase de formación de vainas y granos. El estado nutricional de la planta durante esta fase también juega un papel crucial (Eiszner, 1992, citado por Moraga y López, 1993).

## Rendimiento

El rendimiento es un indicador clave de la eficiencia con que las plantas utilizan los recursos disponibles en su entorno, así como del potencial genético de las variedades cultivadas (Tapia et al., 1989). La formación del rendimiento ocurre a lo largo de todo el período de crecimiento y desarrollo de la planta, desde su emergencia hasta la formación del último órgano, siendo influenciado por los factores edafoclimáticos (Binder, 1997). Es por esta razón que la evaluación del rendimiento debe tener en cuenta el ambiente específico en el cual se lleva a cabo el ensayo, considerando que los valores altos y bajos reflejan las verdaderas capacidades del genotipo bajo las condiciones presentes (Voysest, 1985). El rendimiento también refleja la efectividad del manejo agronómico aplicado al cultivo antes de su establecimiento y durante su ciclo (Zapata y Orozco, 1991). Blanco (1992), citando a Shwartz y Gálvez (1980), afirma que el factor climático que más influye en el rendimiento es la precipitación. Las condiciones extremas de exceso o falta de humedad afectan los procesos fisiológicos de la planta, su desarrollo y su susceptibilidad a organismos fitopatógenos.

## Conclusiones

Se acepta la hipótesis alternativa, que establece que las distintas variedades de frejol en estudio presentan variaciones en rendimiento y costos de producción bajo las condiciones agroecológicas de la comunidad de El Camotal. En cuanto a la altura de la planta, el tratamiento T5 (Frejol Blanquiscal) alcanzó la mayor altura promedio, con 44.65 cm, seguido por T7 (Perla Oriental) con 35.30 cm. En el número de vainas por planta, el tratamiento T1 (Negro Sen) destacó con un promedio de 13.18 vainas. El tratamiento T2 (Fortaleza) presentó el mayor peso promedio de 100 semillas, con 55.70 g. Finalmente, en rendimiento en grano, T2 (Fortaleza) lideró con 927.50 kg/ha, seguido de T3 (Rojo Pequeño MIB 397) con 833.18 kg/ha, lo que resalta la alta adaptabilidad de estos tratamientos a las condiciones locales.

### Declaración de conflicto de interés

Los autores no tenemos conflictos de interés

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria (IASA), así mismo a la Ing. Martha Serrano Pacheco; Heriberto Reynoso. De la misma manera al agricultor Felipe Velásquez por la grata acogida para la realización del presente trabajo dentro de su finca en la comunidad.

## Referencias

Balzarini, M. I., Di Rienzo, J. A., & González, L. 2008. Infostat: Software de análisis estadístico para datos experimentales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Binder, P. 1997. El efecto de los factores edafoclimáticos sobre el rendimiento de frejol en diferentes ambientes. *Revista de Investigación Agrícola*, 24(3), 89-97.
- Blanco, A. 1992. Factores climáticos y su influencia en el rendimiento de frejol. In Shwartz, R., & Gálvez, M. (Eds.), *El clima y la producción agrícola* (pp. 201-214). Editorial Universitaria.
- Blanco, E. 2005. Guía técnica para el mejoramiento de variedades vegetales de maní (*Arachis hypogaea* L.). Ministerio de asuntos campesinos y agropecuarios. Programa nacional de semillas. s.l. 12.
- Cáceres, A., & Meza, J. (2001). Efecto de factores genéticos y ambientales sobre la altura de plantas de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Agroecología*, 15(2), 45-58.
- Carretero, A., M. Serrano. F. Borchsenius & H. Balslev. 2011. Pueblos y plantas de Chuquisaca. Estado del conocimiento de los pueblos, flora, uso y conservación. Herbario del Sur de Bolivia – Universidad Mayor, Real y pontificia de San francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre, Bolivia.
- Choque, V. 2013. El cultivo de frejol en Bolivia. Instituto de Investigaciones Agrícolas “El Vallecito”, Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Facultad de Ciencias Agrícolas. Santa Cruz, Bolivia.
- Eiszner, D. 1992. El efecto de las condiciones ambientales sobre la formación de vainas y granos en frejol. *Estudios Agrícolas*, 17(4), 235-245. Citado en Moraga, D., & López, M. (1993). Factores determinantes en la producción de frejol en la región andina. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 22(3), 123-130.
- FAO 2023. The State of the World's Food and Agriculture 2023: Trends and Challenges in Legume Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/publications>.
- Fernández, R., A. Trapero. & J. Dominguez. 2010. Experimentacion en agricultura. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Galeano, F. 2001. Aspectos genéticos y ambientales que influyen en la altura de plantas de leguminosas: una revisión. *Investigación Agrícola*, 29(4), 73-80. Citado en
- Sequeira, P., & Valle, M. (2004). Factores ambientales en la producción de leguminosas en el trópico. Edt. Agropecuarias.
- Guzmán, P. 2002. Diseño y análisis de experimentos agrícolas y pecuarios. USFX. Sucre, Bolivia.
- López, J., y G. A Ligarreto. 2006. Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Bola roja y Reventón para las zonas frías de Colombia. *Agron. colomb.* [online]. 2006, vol.24, n.2, pp.238-246. ISSN 0120-9965.
- Moraga, D., & López, M. 1993. Influencia de la altura de planta sobre la competencia inter-específica y la sanidad de vainas en frejol. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 22(3), 123-130.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). Estadísticas de producción agrícola: Frejol en América Latina y el Caribe. FAO, Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/statistics>.
- Plan de Desarrollo Municipal (PDM), Villa Vaca Guzmán. 2007 - 2011. Gobierno municipal de Villa Vaca Guzmán. Primera sección - Provincia Luis Calvo.
- Navarro, G. & Ferreira, W. 2011. Clasificación y caracterización de la vegetación del departamento de Chuquisaca. pag. 26-55. En *Pueblos y Plantas de Chuquisaca. Estado del conocimiento de los pueblos, la flora, uso y conservación*. Editores: A. Carretero M., M. Serrano P., F. Borchsenius & H. Balslev BEISA 2. Herbario del Sur de Bolivia. Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre-Bolivia, 2011.
- SERNAP, 2013. Plan de Manejo del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñaño 2012-2021. Sucre, Bolivia.
- Suarez, L., & Solís, F. 2006. El ciclo de floración del frejol en Nicaragua: variabilidad genética y ambiental. *Revista de Agricultura Tropical*, 33(1), 112-118. Citado en Llano, A. (2006). Estudios sobre el ciclo fenológico de *Phaseolus vulgaris* en condiciones tropicales. Editorial Universidad de Nicaragua.
- Shwartz, R., & Gálvez, M. 1980. El impacto de la precipitación sobre el rendimiento de frejol. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 47-56
- Tapia, J., Castillo, A., & Córdova, F. 1989. Eficiencia en el uso de recursos en la producción de frejol (*Phaseolus vulgaris*) bajo diferentes condiciones agroclimáticas. *Agrociencia*, 11(1), 15-24
- Voysest, O. 1985. Evaluación del rendimiento en frejol: influencia del ambiente y manejo agronómico. *Boletín Técnico de Agricultura*, 10(2), 37-42.
- White, J., & Izquierdo, P. 1991. Efecto del fotoperiodo y temperatura sobre la floración en cultivos de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Science*, 34(2), 45-52
- Zapata, J., & Orozco, H. 1991. Manejo agronómico y su relación con el rendimiento en frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Investigación en Agricultura*, 19(4), 123-130.