



Hongos asociados a semillas de sorgo y persistencia de *Fusarium* tras la desinfestación superficial*

Fungi associated with sorghum seeds and persistence of *Fusarium* after surface disinfestation

Pablo Daniel Velazquez¹

* Recepción: 2 de febrero, 2026. Aceptación: 30 de abril, 2026. El trabajo fue desarrollado dentro de las actividades técnicas regulares del autor en la Estación Experimental Agropecuaria Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Departamento de Producción. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. velazquez.pablo@inta.gob.ar (<https://orcid.org/0000-0002-8591-8050>).

Resumen

Introducción. La distinción entre colonización superficial e infección interna por *Fusarium* spp. en semillas de sorgo (*Sorghum* spp.) mediante métodos convencionales es limitada, lo que dificulta determinar la localización del inóculo. **Objetivo.** Caracterizar la comunidad fúngica asociada a semillas comerciales de sorgo y evaluar la persistencia de *Fusarium* spp. tras la desinfestación superficial como indicador de la probable ubicación del inóculo. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, entre noviembre de 2024 y noviembre de 2025. Se evaluaron semillas de treinta híbridos comerciales a través de *blotter test* sin desinfestación (200 semillas por híbrido). Se identificaron los géneros fúngicos y se registró su incidencia (%). Con base en ella se seleccionaron doce híbridos centinela y se les aplicó un *blotter test* con desinfestación superficial (NaOCl 2 %, 2 min; 100 semillas por híbrido) para evaluar la persistencia del patógeno. El análisis fue descriptivo mediante la comparación de incidencias antes y después del tratamiento. **Resultados.** Se identificaron dieciséis géneros fúngicos, con predominio de *Alternaria*, *Fusarium* y *Cladosporium*. *Fusarium* spp. presentó variación entre híbridos, con un rango de incidencia de 0-78 % en la evaluación sin desinfestación. En los híbridos centinela, la desinfestación superficial produjo reducciones variables entre materiales, con valores elevados en algunos híbridos. Esto sugiere la eliminación del inóculo principalmente superficial en unos, mientras que en otros permaneció tras el tratamiento. **Conclusión.** La combinación de *blotter test* y desinfestación superficial permitió caracterizar los hongos asociados a semillas comerciales de sorgo y analizar la persistencia de *Fusarium* spp. en relación con su probable localización en la semilla. Los patrones diferenciales entre híbridos permitieron interpretar el origen del inóculo y resaltaron la utilidad del método para la evaluación sanitaria de semillas y el manejo preventivo.

Palabras clave: *Sorghum*, *blotter test*, sanidad de semillas, diagnóstico fitopatológico, comunidad fúngica.



Abstract

Introduction. The distinction between superficial colonization and internal infection by *Fusarium* spp. in sorghum (*Sorghum* spp.) seeds is limited when using conventional diagnostic methods, hindering the interpretation of inoculum localization. **Objective.** To characterize the fungal community associated with commercial sorghum seeds and to evaluate the persistence of *Fusarium* spp. after surface disinfestation as an indicator of the likely localization of the inoculum. **Materials and methods.** The study was conducted at the Estación Experimental Agropecuaria Paraná of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, between November 2024 and November 2025. Seeds from thirty commercial hybrids were evaluated using a blotter test without surface disinfestation (200 seeds per hybrid). Fungal genera were identified, and their incidence (%) was recorded. Based on *Fusarium* spp. incidence, twelve sentinel hybrids were selected and subjected to a blotter test with surface disinfestation (2 % NaOCl for 2 min; 100 seeds per hybrid) to assess pathogen persistence. The analysis was descriptive, based on the comparison of incidence before and after treatment. **Results.** Sixteen fungal genera were identified, with *Alternaria*, *Fusarium*, and *Cladosporium* as the most prevalent. *Fusarium* spp. showed variation among hybrids, with an incidence range of 0-78 % in the evaluation without disinfestation. In sentinel hybrids, surface disinfestation resulted in variable reductions, with high values in some hybrids, suggesting the removal of mainly superficial inoculum, whereas in others pathogen persistence was observed after treatment. **Conclusion.** The combination of blotter test and surface disinfestation allowed the characterization of fungi associated with commercial sorghum seeds and the analysis of *Fusarium* spp. persistence in relation to its likely localization within the seed. Differential patterns among hybrids allowed the interpretation of inoculum origin and highlighted the usefulness of the method for seed health evaluation and preventive management.

Keywords: *Sorghum*, blotter test, seed health, plant disease diagnosis, fungal community.

Introducción

La calidad sanitaria de la semilla es un factor determinante para el establecimiento del sorgo, ya que condiciona la emergencia, el vigor inicial y el rendimiento potencial del cultivo (International Seed Testing Association [ISTA], 2025; Reed et al., 2022). En la región pampeana, estos procesos son particularmente sensibles a condiciones ambientales frecuentes durante la siembra, como bajas temperaturas, elevada humedad del suelo y episodios de saturación hídrica, los cuales pueden retrasar la germinación y generar heterogeneidad en la implantación (Otegui et al., 2023). En este contexto, la presencia de hongos asociados a la semilla adquiere relevancia agronómica por su posible impacto sobre la sanidad inicial del cultivo.

Entre los géneros de mayor importancia se encuentra *Fusarium*, ampliamente reportado como componente de la comunidad fúngica relacionada a semillas de cereales. Este género puede colonizar el grano durante la maduración o la poscosecha y, en determinados casos, transmitirse a plántulas, donde afecta raíces, mesocótilo y la base del tallo (Ekwomadu & Mwanza, 2023; Gebeyaw, 2020; Shabana et al., 2022). No obstante, gran parte de la evidencia disponible proviene de otros cultivos o de sistemas experimentales, por lo que su extrapolación a semillas comerciales de sorgo debe interpretarse con cautela.

Los métodos convencionales de diagnóstico, como el *blotter test*, permiten detectar hongos asociados a semillas, pero presentan limitaciones para distinguir entre estructuras superficiales removibles mediante desinfestación y aquellas localizadas en tejidos internos (Mancini et al., 2016; Martín et al., 2022). Esta diferenciación es agronómicamente relevante, ya que el inóculo superficial suele ser más susceptible a tratamientos químicos, mientras que el interno puede persistir y contribuir a la infección temprana del cultivo (Ekwomadu & Mwanza,

2023; ISTA, 2025; Shabana et al., 2022). Sin embargo, en la mayoría de los casos su localización se deduce a partir de criterios indirectos, por lo que las interpretaciones deben considerarse de carácter inferencial y no confirmatorio.

La información disponible sobre la distribución del inóculo de *Fusarium* spp. en semillas comerciales de sorgo es limitada, así como sobre su comportamiento frente a procedimientos de desinfestación superficial, particularmente bajo condiciones de producción locales. De igual manera, se conoce poco sobre la variabilidad entre materiales comerciales en cuanto a la persistencia del patógeno luego de estos tratamientos, lo que dificulta interpretar el significado sanitario de su detección en análisis convencionales de semillas.

Los enfoques de evaluación dirigida permiten organizar el diagnóstico sanitario de conjuntos amplios de genotipos mediante la selección de subgrupos contrastantes, optimizando recursos y facilitando la interpretación de patrones biológicos (Denancé & Grimault, 2022; ISTA, 2025). En este estudio, la estrategia se aplicó de manera operativa para seleccionar híbridos representativos del gradiente de incidencia observado, sin implicar una estimación formal de riesgo epidemiológico en sentido estricto. Esto permite centrar el análisis en materiales con comportamientos diferenciales, lo que favorece la evaluación de la persistencia del patógeno frente a la desinfestación superficial.

Se planteó la hipótesis de que los híbridos comerciales presentan niveles contrastantes de incidencia de *Fusarium* spp., y que su persistencia luego de la desinfestación superficial es compatible con su localización en tejidos internos de la semilla, mientras que su eliminación sugiere una asociación superficial (Ekwomadu & Mwanza, 2023; Shabana et al., 2022). No obstante, este criterio constituye una aproximación indirecta, ya que la permanencia también podría explicarse por remoción incompleta del inóculo superficial o por su protección física en estructuras de la semilla. En este contexto, el objetivo de este estudio fue caracterizar la comunidad fúngica asociada a semillas comerciales de sorgo y evaluar la persistencia de *Fusarium* spp. tras la desinfestación superficial como indicador de la probable ubicación del inóculo.

Materiales y métodos

Sitio y material vegetal utilizado

La investigación se realizó en el Laboratorio de Patología Vegetal de la Estación Experimental Agropecuaria Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, en Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, entre noviembre de 2024 y noviembre de 2025. Se utilizaron semillas de treinta híbridos comerciales de sorgo aportadas por quince empresas semilleras participantes del Ensayo Comparativo de Rendimiento 2024/25. Cada híbrido correspondió a un único lote comercial independiente, por lo que el lote se consideró como la unidad experimental. Los materiales se codificaron como H1, H2, etc., y el término “híbrido” se utilizó como identificador para cada lote evaluado.

Las muestras se almacenaron en bolsas de papel bajo refrigeración (4-8 °C) y se procesaron de manera escalonada durante el período de estudio, aplicando un protocolo experimental estandarizado y condiciones de incubación homogéneas. No se dispuso de información detallada sobre los tratamientos de curado aplicados (fungicidas, insecticidas u otros aditivos), por lo que este factor no pudo ser controlado experimentalmente y se consideró como una posible fuente de variación en la detección de la comunidad fúngica asociada a las semillas.

Blotter test con restricción hídrica

La evaluación sanitaria se realizó mediante la técnica de papel húmedo o *blotter test*, de acuerdo con los lineamientos de la International Seed Testing Association (2025). Este método, ampliamente utilizado en laboratorios de análisis de semillas, permite detectar hongos asociados al material de siembra y constituye una herramienta clave de

diagnóstico preventivo (Mancini et al., 2016). El *blotter test* resulta adecuado para estudios comparativos de sanidad en semillas comerciales bajo condiciones experimentales estandarizadas.

Se empleó una variante del *blotter test* basada en restricción hídrica para limitar la germinación y favorecer la expresión de estructuras fúngicas. Cada unidad experimental consistió en una bandeja de polipropileno de 22 × 14,5 × 4 cm con cincuenta semillas dispuestas sobre una base de algodón y papel de filtro humedecidos con 30 mL de una solución salina de 11,8 g/L de cloruro de sodio (Carvalho Senigalia et al., 2020; Sautua et al., 2018; Sautua et al., 2019).

Las unidades se dispusieron bajo un diseño completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por híbrido. La incubación se realizó durante siete días a 25 ± 2 °C, con un fotoperíodo de 12 h de luz (fluorescente blanca + NUV) y 12 h de oscuridad. Estas condiciones permitieron una expresión homogénea del desarrollo fúngico en las semillas.

Evaluación e identificación de hongos

Tras la incubación, las semillas fueron evaluadas mediante observación macroscópica y, cuando resultó necesario, microscópica. Se registraron estructuras de fructificación (conidióforos, conidios, esporangióforos y micelio), junto con rasgos morfológicos asociados a la colonia, como coloración, textura y patrón de crecimiento. La identificación se realizó a nivel de género con base en las características y en criterios morfológicos convencionales para hongos asociados a semillas (Mancini et al., 2016; Scandiani et al., 2021; Vishunavat et al., 2023). Dado el enfoque metodológico, no se efectuó confirmación a nivel de especie ni pruebas de patogenicidad, por lo que los resultados deben interpretarse en términos descriptivos. En consecuencia, no se descarta la presencia de especies con diferentes comportamientos epidemiológicos dentro de cada género reconocido.

Diseño experimental general

El estudio se desarrolló en tres etapas consecutivas: (i) evaluación sanitaria preliminar, (ii) selección de híbridos centinela basada en riesgo y (iii) validación mediante desinfestación superficial. Este enfoque integró criterios epidemiológicos y agronómicos, lo que permitió priorizar materiales según su riesgo sanitario y optimizar recursos analíticos del laboratorio. Asimismo, permitió abordar de manera sistemática el análisis sanitario de un conjunto amplio de híbridos comerciales.

Etapas 1: Evaluación de hongos asociados a semillas sin desinfestación superficial

Para cada híbrido se analizaron doscientas semillas distribuidas en cuatro repeticiones de cincuenta unidades, sin desinfestación superficial. El objetivo fue caracterizar la composición fúngica viable asociada a la semilla, con énfasis en hongos estrictamente superficiales e infecciones internas con relevancia epidemiológica por su capacidad de transmisión semilla-plántula (Batzner et al., 2024; Vishunavat et al., 2023). Este enfoque permitió obtener una visión inicial del perfil sanitario asociado a cada material.

La variable principal fue la incidencia (%), definida como el cociente entre el número de semillas con hongo y el número total de semillas, multiplicado por 100. También se estimó la prevalencia (%) de cada género, entendida como la proporción de híbridos en los que dicho hongo estuvo presente al menos en una semilla. Ambas variables se trataron como proporciones binomiales para su análisis descriptivo.

Se calcularon estadísticos descriptivos (media, mínimo, máximo y amplitud) por género y por híbrido. Asimismo, se construyó la distribución ordenada de la incidencia de *Fusarium* spp. con el propósito de seleccionar materiales representativos del gradiente sanitario observado, dado que este género fue priorizado como variable

focal del estudio (Batzner et al., 2024; Vishunavat et al., 2023). Este procedimiento permitió definir un criterio objetivo para la selección del subgrupo centinela.

Para los géneros más frecuentes, principalmente *Fusarium* spp. y *Alternaria* spp., se estimaron intervalos de confianza del 95 % (IC 95 %) mediante el método de Wilson, recomendado para proporciones extremas y tamaños muestrales moderados (McGrath & Burke, 2024). No se realizaron pruebas de significación entre híbridos (ANOVA, χ^2 o GLM), ya que el propósito de esta etapa fue exclusivamente descriptivo. Los resultados se interpretaron en términos de tendencias sanitarias y no de inferencias estadísticas.

Etapas 2: Selección de híbridos centinela para *Fusarium* spp.

A partir del gradiente sanitario de *Fusarium* spp. obtenido en la etapa 1, los híbridos se ordenaron de forma descendente según su incidencia promedio. Sobre esta distribución se seleccionó un subgrupo sanitario de contraste compuesto por doce híbridos representativos del gradiente completo, a través de un enfoque dirigido por riesgo orientado a priorizar materiales contrastantes. Estos híbridos se consideraron “centinela” por su función como indicadores del riesgo sanitario asociado a la posible transmisión de *Fusarium* spp., en concordancia con metodologías actuales de vigilancia epidemiológica y diagnóstico basado en riesgo para patógenos transmitidos por semilla (Denancé & Grimault, 2022; ISTA, 2025; Thomas-Sharma et al., 2016).

El criterio de selección incluyó híbridos con incidencias muy altas ($\approx 60\text{--}85\%$), uno de riesgo alto-intermedio ($\approx 40\%$), híbridos de riesgo medio-bajo ($\approx 6\text{--}15\%$) y un grupo con incidencia nula (0%), utilizados como referencia de riesgo muy bajo. Estas categorías se definieron de manera operacional a partir de los valores naturales obtenidos en la etapa 1. En función de ello, el subgrupo centinela se compuso de los híbridos H3, H13, H14, H18, H23, H25, H39, H41, H42, H48, H71 y H72.

Etapas 3: Ensayo de desinfestación superficial

Sobre los doce híbridos centinela se realizó un blotter test complementario para evaluar la persistencia de *Fusarium* spp. luego de la desinfestación superficial. Las semillas se desinfestaron mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % durante 2 min. Estudios recientes describen parámetros equivalentes (soluciones al 1 % durante 3 min) para remover eficazmente inóculo superficial en poáceas (Shabana et al., 2022), lo que respalda la validez del procedimiento aplicado.

Luego de la desinfestación, las semillas se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril y se secaron sobre papel estéril. Cada híbrido se evaluó en dos repeticiones de cincuenta semillas, incubadas bajo las mismas condiciones de la etapa 1. La reducción del número de repeticiones respecto a la etapa preliminar respondió al carácter dirigido de esta fase, dado que se aplicó sobre un subconjunto de híbridos centinela previamente seleccionados para representar el gradiente sanitario observado, sin comprometer la interpretación comparativa de los resultados.

El blotter sin desinfestación (etapa 1) se utilizó como referencia para interpretar la persistencia del hongo. En esta etapa se registró nuevamente la presencia de *Fusarium* spp. y se calcularon la incidencia (%) con su IC 95 %, la reducción absoluta (puntos porcentuales) y la reducción relativa (%). La reducción absoluta se definió como la diferencia entre la incidencia sin desinfestación y la incidencia registrada después del tratamiento, mientras que la reducción relativa se obtuvo dividiendo la reducción absoluta por la incidencia inicial y multiplicando el resultado por 100.

En función de estos indicadores, cada híbrido se clasificó en una de cuatro categorías: 1) mayormente superficial, 2) probable interna, 3) indefinida y 4) no aplica. La primera categoría correspondió a reducciones ≥ 80

%, la segunda a ≤ 30 %, la tercera a reducciones intermedias (30-80 %) y la cuarta a la ausencia del patógeno antes y después del tratamiento. Estos umbrales se definieron de manera operacional a partir de la distribución empírica de los datos. La clasificación se basó en valores puntuales de reducción relativa y se utilizó como criterio operativo para interpretar la localización del inóculo; por lo tanto, debe considerarse sujeta a la variabilidad inherente a la estimación de proporciones binomiales, especialmente en valores cercanos a los umbrales.

Análisis estadístico

Los análisis descriptivos y los intervalos de confianza se calcularon con R, versión 4.3.0. Las proporciones y sus intervalos de confianza al 95 % (IC 95 %) se estimaron utilizando el paquete “binom”, mediante métodos apropiados para variables binarias. La organización y manipulación de datos se efectuaron con el paquete “dplyr”. El análisis se orientó a la descripción y comparación epidemiológica de los patrones observados entre condiciones (con y sin desinfestación) y entre híbridos, con base en las estimaciones puntuales y sus intervalos de confianza.

No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales ni modelos comparativos formales, dado que el diseño del estudio —incluida la selección dirigida de híbridos centinela y la estructura de replicación en la etapa de desinfestación— no estuvo orientado a estimar los efectos causales, sino a identificar e interpretar epidemiológicamente patrones sanitarios. En consecuencia, los resultados se analizaron en términos descriptivos. Este enfoque es consistente con el carácter exploratorio del estudio y con el uso de indicadores operativos para la interpretación de los datos.

Resultados

Etapa 1: Evaluación de hongos asociados a semillas sin desinfestación superficial

En el análisis superficial se detectaron dieciséis géneros fúngicos asociados a las semillas de sorgo. Los géneros con mayor incidencia promedio fueron *Alternaria*, *Fusarium* y *Cladosporium*, seguidos por *Mucor* y *Penicillium*. Los demás presentaron resultados bajos o muy bajos, entre ellos *Phoma*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Bipolaris*, *Exserohilum*, *Epicoccum*, *Gonatobotrys*, *Periconia*, *Chaetomium*, *Rhizopus* y *Stemphylium*.

La prevalencia mostró un patrón concordante con la incidencia, con predominio nuevamente de *Alternaria*, *Fusarium* y *Cladosporium* como los géneros de ocurrencia más amplia. *Penicillium* y *Mucor* exhibieron valores intermedios, mientras que *Aspergillus*, *Bipolaris*, *Phoma*, *Curvularia* y *Exserohilum* se registraron en una proporción menor de materiales. Los géneros restantes aparecieron en pocos híbridos (Figura 1).

Fusarium spp. presentó un gradiente sanitario amplio entre híbridos, desde ausencia total hasta elevados niveles de incidencia (≈ 80 %). Los híbridos H23, H14, H3 y H42 registraron los niveles más altos, mientras que H48, H71 y H72 no presentaron el patógeno. Este gradiente permitió identificar patrones diferenciales entre materiales y constituyó la base para la selección del subgrupo centinela en la etapa 2.

Etapa 2: Selección de híbridos centinela para *Fusarium* spp.

A partir de la distribución ordenada de las incidencias de *Fusarium* spp., se definieron cuatro segmentos operativos: incidencia muy alta (≈ 60 -80 %), alta-intermedia (≈ 40 %), media-baja (≈ 6 -15 %) y muy baja o nula (0 %). Estas categorías permitieron representar el gradiente sanitario observado. Con base en este criterio se conformó un subgrupo de doce híbridos: incidencia muy alta (H23, H14, H3, H42, H18), alta-intermedia (H13), media-baja (H25, H41, H39) y muy baja o nula (H48, H71, H72). Este conjunto funcionó como centinela, ya que incluyó

materiales con valores extremos, intermedios y ausencia del patógeno, y estableció el vínculo operativo entre la etapa 1 y la etapa 3.

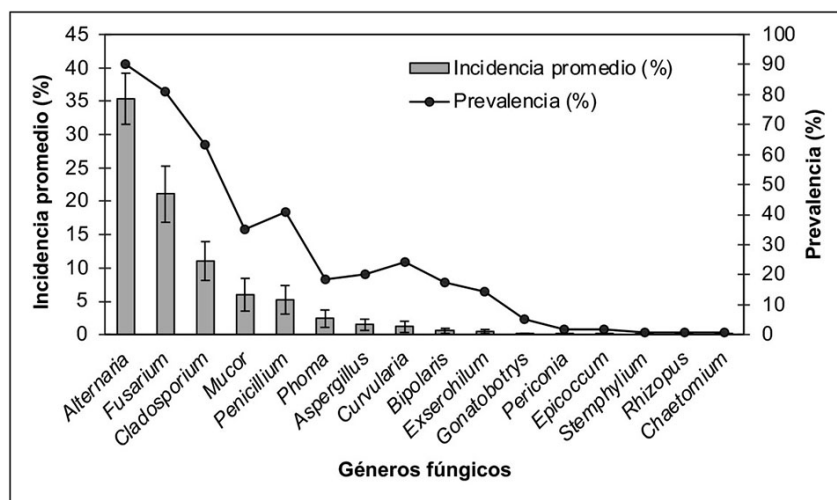


Figura 1. Incidencia promedio (%) y prevalencia (%) de géneros fúngicos detectados en semillas de treinta híbridos comerciales de sorgo mediante *blotter test* sin desinfección superficial. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Noviembre 2024-noviembre 2025.

Figure 1. Mean incidence (%) and prevalence (%) of fungal genera detected in seeds of thirty commercial sorghum hybrids using a blotter test without surface disinfection. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. November 2024-November 2025.

Etapas 3: Ensayo de desinfección superficial

La desinfección superficial aplicada a los doce híbridos del subgrupo centinela permitió evaluar la persistencia de *Fusarium* spp. en comparación con la condición sin desinfección. A partir de las diferencias observadas en la incidencia, los materiales se agruparon en cuatro categorías operativas (Cuadro 1). Esta clasificación permitió establecer un criterio operativo para interpretar la localización del inóculo en la semilla.

Los híbridos H18 y H39 mostraron reducciones relativas iguales o superiores al 80 %, lo que se asoció con una eliminación casi completa del patógeno y permitió clasificarlos como “mayormente superficial”. En contraste, H25 y H41 presentaron reducciones bajas (≤ 30 %), relacionadas con una persistencia marcada del patógeno tras la desinfección, por lo que se clasificaron como “probable infección interna”. Un grupo intermedio integrado por H23, H14, H3, H42 y H13 exhibió reducciones moderadas (30-80 %), sin evidencia concluyente sobre la localización del inóculo; estos materiales fueron clasificados como “indefinida”. Finalmente, H48, H71 y H72 no registraron presencia de *Fusarium* spp. en ninguna de las condiciones, por lo que se agruparon en la categoría “no aplica”.

Se observaron patrones diferenciales de respuesta entre híbridos, reflejados en las variaciones de incidencia registradas entre ambas condiciones. Los materiales con reducciones altas se distinguieron claramente de aquellos con persistencia intermedia o baja del patógeno. Estos patrones se ilustran en la Figura 2.

En conjunto, la etapa 3 mostró reducciones variables entre híbridos. Algunos materiales exhibieron valores elevados, lo que sugiere la eliminación de inóculo mayormente superficial, mientras que en otros persistió el patógeno tras la desinfección. Estas variaciones permitieron discriminar la probable localización del inóculo en semillas comerciales de sorgo. Asimismo, los resultados respaldan el uso de la desinfección superficial como herramienta operativa para la interpretación sanitaria asociada a *Fusarium* spp.

Cuadro 1. Clasificación de híbridos de sorgo según la respuesta a la desinfestación superficial para la detección de *Fusarium* spp. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Noviembre 2024-noviembre 2025.

Table 1. Classification of sorghum hybrids according to their response to superficial disinfestation for the detection of *Fusarium* spp. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. November 2024-November 2025.

Categoría epidemiológica*	Criterio operativo	Híbridos incluidos
Mayormente superficial	Eliminación casi completa del patógeno después de la desinfestación; reducciones relativas iguales o superiores a aproximadamente 80 %.	H18, H39
Probable infección interna	Persistencia marcada del patógeno; reducciones relativas bajas (aproximadamente ≤ 30 %).	H25, H41
Infección indefinida	Reducciones intermedias (30-80 %) sin evidencia concluyente sobre la localización del inóculo.	H23, H14, H3, H42, H13
No aplica	Ausencia de <i>Fusarium</i> spp. en ambas condiciones evaluadas.	H48, H71, H72

* Las categorías epidemiológicas se definieron según la persistencia o eliminación del patógeno después de la desinfestación superficial.
/ * Epidemiological categories were defined according to pathogen persistence or elimination after superficial disinfestation.

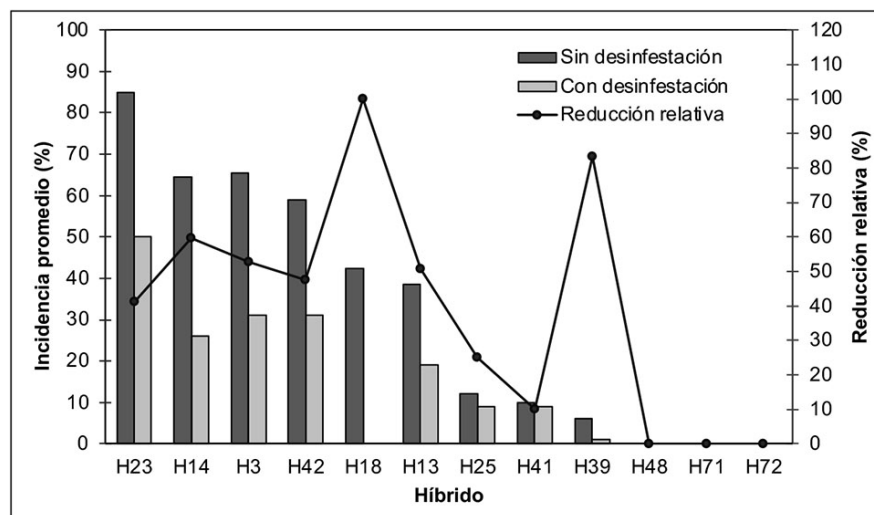


Figura 2. Incidencia (%) de *Fusarium* spp. sin y con desinfestación superficial y reducción relativa (%) en doce híbridos centinela seleccionados por riesgo sanitario. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Noviembre 2024-noviembre 2025.

Figure 2. Incidence (%) of *Fusarium* spp. before and after surface disinfestation and relative reduction (%) in twelve sentinel hybrids selected according to sanitary risk. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. November 2024-November 2025.

Discusión

La ausencia de información sobre la composición del tratamiento de curado aplicado por las empresas semilleras restringió la evaluación de la eficacia de fungicidas comerciales sobre los hongos detectados. En consecuencia, la interpretación se centró en la respuesta de los híbridos a la desinfestación superficial y en la probable localización del inóculo, sin atribuir efectos al tratamiento previo. Esta limitación provoca incertidumbre en la clasificación de los híbridos cercanos a los umbrales, mientras que, con los valores extremos, resulta más

robusta. Esta situación es frecuente en estudios con semillas comerciales, donde la falta de trazabilidad dificulta la comparación entre fungicidas y favorece el uso de enfoques complementarios (Ekwomadu & Mwanza, 2023; ISTA, 2025; Shabana et al., 2022).

La evaluación sanitaria preliminar mostró una composición fúngica similar a la registrada en semillas comerciales de sorgo, con predominio de géneros saprófitos y hongos de almacenamiento como *Alternaria* y *Cladosporium*. Este patrón coincide con estudios sobre comunidades fúngicas asociadas a semillas de cereales, donde estos géneros aparecen como componentes dominantes detectables mediante métodos de incubación (Kesho & Abebe, 2020). En términos cuantitativos, la frecuencia observada se ubica dentro de los rangos reportados en la literatura, con incidencias elevadas y alta prevalencia relativa, aunque con variación entre estudios.

Esta variabilidad se atribuye a diferencias en las condiciones de producción, almacenamiento y en la metodología de análisis. Distinguir entre patógenos de campo, hongos de almacenamiento y colonizadores saprófitos resulta fundamental para interpretar el origen del inóculo. Los patógenos de campo reflejan infección previa, mientras que los hongos de almacenamiento se asocian con humedad residual y los colonizadores saprófitos con condiciones de poscosecha (Parikka et al., 2012).

La variabilidad observada en *Fusarium* spp. entre híbridos coincide con estudios que documentan diferencias significativas en la carga de inóculo según el genotipo y las condiciones de producción (Munkvold, 2009; Parikka et al., 2012). Investigaciones realizadas en ambientes contrastantes señalan que la humedad en poscosecha, la duración del llenado de grano y la integridad del tegumento influyen sobre la penetración del patógeno y su eventual localización interna en la semilla. Estas diferencias reflejan la capacidad variable del hongo para colonizar el embrión o los tejidos subepidérmicos, aspecto de importancia agronómica por su impacto potencial en la emergencia y la sanidad temprana del cultivo (Munkvold, 2009).

La selección del subgrupo centinela mediante un enfoque dirigido por riesgo permitió representar de manera fiel el gradiente epidemiológico identificado en la primera etapa. Este enfoque coincide con estrategias modernas de vigilancia fitosanitaria que recomiendan priorizar unidades contrastantes para optimizar recursos sin disminuir la capacidad diagnóstica (Mastin et al., 2020; Parnell et al., 2017). Además, la representación mejoró la interpretación de la respuesta del patógeno frente a la desinfestación superficial, y proporcionó una base más consistente que una selección aleatoria o uniforme.

La etapa de validación mediante desinfestación superficial discriminó eficazmente entre inóculo superficial e infección interna. La persistencia de *Fusarium* spp. tras el tratamiento es consistente con el comportamiento de patógenos transmitidos por semilla capaces de sobrevivir cuando el inóculo se encuentra protegido en tejidos internos, lo que incrementa la probabilidad de transmisión a plántulas (Munkvold, 2009). Las reducciones elevadas en varios híbridos concuerdan con descripciones metodológicas clásicas que indican que los tratamientos con hipoclorito eliminan preferentemente el inóculo superficial, mientras que las infecciones internas pueden persistir (Sauer & Burroughs, 1986; Shabana et al., 2022).

La existencia de híbridos clasificados como “indefinidos” pone de manifiesto la complejidad inherente a la sanidad de semillas. Las reducciones intermedias pueden originarse por infecciones mixtas, la variabilidad en la profundidad del inóculo o las diferencias fisiológicas entre semillas de un mismo lote, lo que dificulta una interpretación concluyente mediante métodos convencionales. Estudios previos señalan que los patógenos transmitidos por semilla pueden localizarse tanto en superficie como en tejidos internos, lo que genera respuestas diagnósticas heterogéneas (Martín et al., 2022). Estos casos resaltan la necesidad de incorporar herramientas complementarias para lograr una clasificación precisa, como técnicas moleculares o ensayos de transmisión semilla-plántula (Mancini et al., 2016).

El estudio presentó limitaciones relacionadas con la identificación y la validación patogénica. La detección se realizó a nivel de género, sin discriminar especies dentro del complejo *Fusarium*, las cuales pueden diferir ampliamente en patogenicidad y comportamiento epidemiológico. Tampoco se evaluó la transmisión semilla-

plántula en condiciones controladas o de campo, por lo que el impacto directo de la infección interna sobre la emergencia constituye una línea de investigación relevante (Leslie & Summerell, 2006; Munkvold, 2009). A pesar de ello, la combinación secuencial de una evaluación sanitaria inicial con una validación mediante desinfestación superficial se alinea con enfoques actuales de diagnóstico y muestreo sanitario orientados por riesgo, utilizados en patología de semillas (Mastin et al., 2020; Parnell et al., 2017).

La integración de una evaluación sanitaria preliminar externa con una validación dirigida mediante desinfestación superficial constituyó un marco consistente para interpretar la presencia de *Fusarium* spp. en semillas comerciales de sorgo. Este planteo coincidió con enfoques de muestreo dirigido que incorporan criterios epidemiológicos para priorizar materiales contrastantes en estrategias de diagnóstico y evaluación sanitaria (Mastin et al., 2020; Parnell et al., 2017). Estudios futuros deberían orientarse hacia la identificación específica del complejo *Fusarium*, la evaluación del impacto de la infección interna sobre la emergencia y el vigor, y la validación multisitio del riesgo en distintos contextos ambientales.

Conclusiones

La combinación de una evaluación sanitaria preliminar con un blotter test dirigido con desinfestación superficial facilitó la caracterización de los hongos asociados a semillas comerciales de sorgo y, en particular, el análisis de la persistencia de *Fusarium* spp. en relación con su probable localización en la semilla. Este enfoque permitió interpretar el origen del inóculo a partir de los patrones diferenciales de persistencia entre híbridos. En conjunto, se destaca la utilidad de este esquema metodológico como herramienta para la evaluación sanitaria de semillas y como apoyo para la toma de decisiones de manejo preventivo en sorgo.

Agradecimientos

El autor agradece a la Ing. Agr. María Gabriela Díaz (Departamento de Producción, Estación Experimental Agropecuaria Paraná) por su colaboración mediante el suministro de las semillas de los híbridos comerciales utilizados en esta investigación.

Conflicto de intereses

El autor declara que no existen conflictos de intereses financieros, comerciales, académicos ni personales relacionados con el desarrollo de este estudio. Los híbridos comerciales utilizados fueron aportados únicamente con fines experimentales y se mantuvieron codificados para garantizar la confidencialidad y la imparcialidad del análisis. Ninguna empresa semillera ni entidad externa influyó en el diseño experimental, la recolección de datos, el análisis, la interpretación de los resultados ni la elaboración del manuscrito, por lo que se afirma la total independencia del trabajo.

Referencias

- Batzer, J. C., Shirazi, A., Gill, D., Platner-Heidt, E., Nicolaus, K., Bray, A., Mohan, K., Mathew, F. M., & Mueller, D. S. (2024). Seedborne fungal detection differs with seed assay method, and fungal diversity and abundance are impacted by fungicide treatment, harvest timing, and storage environment. *PhytoFrontiers*, 4(4), 767-780. <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-06-24-0076-R>
- Carvalho Senigalia, R. L., Kratz, D., Barbosa Coelho, M. de F., Clarete Camili, E., Rodrigues de Aquino Arantes, C., & Ramos Machado dos Santos, A. S. (2020). Restrição hídrica em teste de sanidade de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 49617-49627. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-564>
- Denancé, N., & Grimault, V. (2022). Seed pathway for pest dissemination: The ISTA Reference Pest List, a bibliographic resource in non-vegetable crops. *EPPO Bulletin*, 52(2), 434-445. <https://doi.org/10.1111/epp.12834>
- Ekwoadu, T. I., & Mwanza, M. (2023). *Fusarium* fungi pathogens, identification, adverse effects, disease management, and global food security: a review of the latest research. *Agriculture*, 13(9), Artículo 1810. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
- Gebeyaw, M. (2020). Review on: impact of seed-borne pathogens on seed quality. *American Journal of Plant Biology*, 5(4), 77-81. <https://doi.org/10.11648/j.ajpb.20200504.11>
- International Seed Testing Association. (2025). *International rules for seed testing*.
- Kesho, A., & Abebe, W. (2020). Detection of seed borne fungi associated with some cereals and legume crops of seeds grown in main season at Holetta Agricultural Research Center. *American Journal of Life Sciences*, 8(5), 91-95. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20200805.11>
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.
- Mancini, V., Murolo, S., & Romanazzi, G. (2016). Diagnostic methods for detecting fungal pathogens on vegetable seeds. *Plant Pathology*, 65(5), 691-703. <https://doi.org/10.1111/ppa.12515>
- Martín, I., Gálvez, L., Guasch, L., & Palmero, D. (2022). Fungal pathogens and seed storage in the dry state. *Plants*, 11(22), Artículo 3167. <https://doi.org/10.3390/plants11223167>
- Mastin, A. J., Gottwald, T. R., van den Bosch, F., Cunniffe, N. J., & Parnell, S. (2020). Optimising risk-based surveillance for early detection of invasive plant pathogens. *PLoS Biology*, 18(10), Artículo e3000863. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000863>
- McGrath, O., & Burke, K. (2024). Binomial confidence intervals for rare events: importance of defining margin of error relative to magnitude of proportion. *The American Statistician*, 78(4), 437-449. <https://doi.org/10.1080/00031305.2024.2350445>
- Munkvold, G. P. (2009). Seed pathology progress in academia and industry. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 285-311. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081916>
- Otegui, M. E., Andrade, F., Cirilo, A., & Mercau, J. (2023). Fecha de siembra. En F. Andrade, M. E. Otegui, A. Cirilo, & S. Uhart (Eds.), *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz* (pp. 311-327). MAIZAR.

- Parikka, P., Hakala, K., & Tiilikkala, K. (2012). Expected shifts in *Fusarium* species' composition on cereal grain in northern Europe due to climate change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(10), 1543-1555. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.680613>
- Parnell, S., van den Bosch, F., Gottwald, T. R., & Gilligan, C. A. (2017). Surveillance to inform control of emerging plant diseases: an epidemiological perspective. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 591-610. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035334>
- Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128, 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Sauer, D. B., & Burroughs, R. (1986). Disinfection of seed surfaces with sodium hypochlorite. *Phytopathology*, 76(7), 745-749.
- Sautua, F. J., Casey, S. A., Zapata, R. L., Scandiani, M. M., & Carmona, M. A. (2019). A comparison of methods for the detection of *Ascochyta rabiei* in chickpea seeds. *Summa Phytopathologica*, 45(2), 197-199. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/185396>
- Sautua, F. J., Scandiani, M. M., Gordo, M., Carmona, M. A., Tartabini, M. L., & Luque, A. G. (2018). Detection and chemical control of *Cercospora sojina* infecting soybean seed in Argentina. *Tropical Plant Pathology*, 43, 552-558. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0245-x>
- Scandiani, M. M., Formento, A. N., & Luque, A. G. (2021). *Identificación de patógenos en semillas de maíz*. Syngenta.
- Shabana, Y. M., Ghoneem, K. M., Rashad, Y. M., Arafat, N. S., Fitt, B. D. L., Richard, B., & Qi, A. (2022). Distribution and biodiversity of seed-borne pathogenic and toxigenic fungi of maize in Egypt and their correlations with weather variables. *Plants*, 11(18), Artículo 2347. <https://doi.org/10.3390/plants11182347>
- Thomas-Sharma, S., Abdurahman, A. A., Ali, S., Andrade-Piedra, J. L., Bao, S., Charkowski, A. O., Crook, D., Kadian, M., Kromann, P., Struik, P. C., Torrance, L., Garrett, K. A., & Forbes, G. A. (2016). Seed degeneration in potato: the need for an integrated seed health strategy to mitigate the problem in developing countries. *Plant Pathology*, 65(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/ppa.12439>
- Vishunavat, K., Prabakar, K., & Anand, T. (2023). Seed health: testing and management. En M. Dadlani, & D. K. Yadava (Eds.), *Seed Science and Technology* (pp. 335-364). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_14