










# Respuesta fisiológica de *Trichoderma* spp. (Ascomycota, Hypocreales) ante el plaguicida clorpirifós

Physiological response of *Trichoderma* spp. (Ascomycota, Hypocreales) to the pesticide chlorpyrifos

Carrizo, Facundo G.A.<sup>1,5\*</sup> ; Florencia R. Cruz<sup>1</sup> ; Analía B. Estrada<sup>1</sup> ;  
Natalia M. E. Ávila Carreras<sup>1,3</sup> ; Luciano M. Yañez<sup>1,4</sup> ;  
Marcos J. Maldonado<sup>1,6,7</sup> ; Alejandra E. Romero<sup>1,2</sup> 

- <sup>1</sup> Instituto de Investigación, Desarrollo y Transferencia para la producción de alimentos, Universidad Nacional de Jujuy. San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina.
  - <sup>2</sup> Cátedra de Química General e Inorgánica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina.
  - <sup>3</sup> Cátedra Bromatología III, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina.
  - <sup>4</sup> Cátedra Introducción a la Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, Humahuaca, Jujuy, Argentina.
  - <sup>5</sup> Grupo de Ecología Urbana y Disturbios, Instituto de Ecorregiones Andinas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Palpalá, Jujuy, Argentina.
  - <sup>6</sup> Instituto de Estudios Celulares, Genéticos y Moleculares - Universidad Nacional de Jujuy. San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina.
  - <sup>7</sup> Cátedra Microbiología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, Humahuaca, Jujuy, Argentina.
- \* Autor correspondiente: <carrizo.facundo@fca.unju.edu.ar>; <carrizo.facundo.16@gmail.com>

## Resumen

El clorpirifós (CP) es un plaguicida organofosforado clorado de amplia utilización en cultivos agrícolas, caracterizado por su persistencia ambiental y efectos tóxicos sobre flora y fauna. El tratamiento de suelos contaminados con CP busca reducir sus concentraciones; para ello, el empleo de microorganismos representa una alternativa sostenible y económica frente a métodos físico-químicos. Entre los hongos filamentosos con potencial para esta tarea, el género *Trichoderma* destaca por su diversidad genética, plasticidad ecológica y alta capacidad enzimática para la metabolización de compuestos complejos, así como

► Ref. bibliográfica: Carrizo, F. G. A.; Cruz, F. R.; Estrada, A. B.; Ávila Carreras, N. M. E.; Yañez, L. M.; Maldonado, M. J.; Romero, A. E. 2026. Respuesta fisiológica de *Trichoderma* spp. (Ascomycota, Hypocreales) ante el plaguicida clorpirifós. *Lilloa* 63 (1): 185-199. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lii/2313>

► Recibido: 9 de diciembre 2025 – Aceptado: 22 de mayo 2026 – Publicado: 7 de junio 2026.

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>



► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

por su metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos. El objetivo fue evaluar las respuestas fisiológicas de 11 cepas nativas de *Trichoderma*, aisladas de suelos de las regiones de Quebrada y Puna de la provincia de Jujuy, ante la exposición a CP y determinar su capacidad para degradarlo en condiciones controladas de laboratorio; para ello, se expusieron las cepas a medios contaminados con 200 mg/L de CP y se midieron variables como crecimiento micelial, velocidad de crecimiento, porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, producción de conidios y porcentaje de remoción de CP. Se demostró que las cepas toleraron la presencia de CP sin efectos significativos sobre su crecimiento ni sobre la producción de estructuras reproductivas, y algunas mostraron un aumento en la esporulación, lo que podría representar una respuesta adaptativa al estrés químico. Se observaron diferencias en la eficiencia de remoción de CP entre cepas, y varias de ellas alcanzaron valores superiores al 90 %. Estos resultados evidencian el potencial de las cepas autóctonas de *Trichoderma* para su aplicación en estrategias de biorremediación en suelos contaminados con CP.

**Palabras clave:** Biorremediación; biotecnología ambiental; degradación de organofosfatos.

## Abstract

Chlorpyrifos (CP) is a chlorinated organophosphate pesticide widely used in agricultural crops, characterized by its environmental persistence and toxic effects on flora and fauna. The treatment of CP-contaminated soils aims to reduce contaminant concentrations; to this end, the use of microorganisms represents a sustainable and economical alternative compared to physicochemical methods. Among filamentous fungi with potential for this purpose, the genus *Trichoderma* stands out due to its genetic diversity, ecological plasticity, high enzymatic capacity for degrading of complex compounds, versatile metabolism, and resistance to microbial inhibitors. The objective of this study was to evaluate the physiological responses of 11 native *Trichoderma* strains, isolated from soils of the Quebrada and Puna regions of Jujuy Province, to CP exposure, and to determine their ability to degrade it under controlled laboratory conditions. For this purpose, the strains were exposed to contaminated media with 200 mg/L of CP, and variables such as mycelial growth, growth rate, percentage of mycelial growth inhibition, conidia production, and percentage of CP removal were measured. The results showed that the strains tolerated the presence of CP without significant effects on their growth or on the production of reproductive structures, and some exhibited increased sporulation, which could represent an adaptive response to chemical stress. Differences in CP removal efficiency were observed among strains, with several reaching removal rates exceeding 90%. These results demonstrate the potential of native *Trichoderma* strains for application in bioremediation strategies in CP-contaminated soils.

**Keywords:** Bioremediation; environmental biotechnology; organophosphate degradation.

## INTRODUCCIÓN

El clorpirifos (CP) (O, O-dietil O-(3, 5, 6-tricloro-2-piridil fosforotioato)) es un plaguicida organofosforado-clorado empleado para el control de insectos en diversos cultivos, cuyo uso es frecuente en países en desarrollo (Bhende *et al.*, 2022; Saengsanga y Phakratok, 2023). Diversos autores afirman que la persistencia ambiental del CP en suelos depende en gran medida de condiciones edáficas (pH, humedad, porosidad, contenido de materia orgánica, entre otras), climáticas y biológicas (Solomon *et al.*, 2014; Alansary, 2024; Oyege *et al.*, 2024). En Argentina se ha detectado en productos agropecuarios tales como leche, carnes y vegetales, también en cursos de agua cercanos a regiones agrícolas, lo que muestra su dispersión e impacto sobre la biota nativa (Beldomenico, 2021). Debido a la toxicidad y permanencia del CP, el tratamiento de suelos contaminados busca reducir las concentraciones del plaguicida, para ello el empleo de microorganismos representa una alternativa sostenible y económica frente a métodos físico-químicos. (Bose *et al.*, 2021; Elzakey *et al.*, 2023). Dentro del grupo de hongos filamentosos, el género *Trichoderma* (Persoon, 1801) destaca por su diversidad genética, plasticidad ecológica y alta capacidad enzimática para metabolizar compuestos complejos (Muñoz Ríos *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2022). Su metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos lo posicionan como un aliado clave para la agricultura sustentable (Argumedo-Delira *et al.*, 2009; Amerio *et al.*, 2020). En Jujuy, *Trichoderma* spp. fue aislado en suelos de las regiones de Quebrada y Puna para estudios de control biológico (Sivila y Álvarez, 2013), pero aún son escasos los trabajos que evalúan su potencial para la remediación de suelos contaminados con CP. La importancia de la presente investigación radica en la revalorización de cepas de *Trichoderma* aisladas en las regiones de la Puna y la Quebrada de la provincia de Jujuy como productos regionales, para su posterior aplicación en procesos agroecológicos destinados a la remediación de suelos contaminados. La necesidad de este tipo de investigación es particularmente relevante para los países en desarrollo que están en proceso de transición hacia un manejo agroecológico de los cultivos, ya que se requieren soluciones sostenibles adaptadas a los contextos locales. El objetivo de este estudio fue determinar las respuestas fisiológicas inducidas por la presencia de clorpirifos en el desarrollo de *Trichoderma* spp., y la capacidad de los microorganismos para reducir sus concentraciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material biológico

Se estudiaron 11 cepas de *Trichoderma* aisladas de suelos de las regiones de la Quebrada de Humahuaca y Puna de la provincia de Jujuy. Las mismas se encuentran conservadas en la cátedra de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Jujuy (FCA-UNJu) y en proceso de identificación a nivel de especies.

### Compuestos Químicos y Medios de Cultivo

Se empleó CP concentrado emulsionable al 48 % (CLORPIRIFOS ID, YPF S.A., Buenos Aires, Argentina). Se utilizaron Agar Papa Glucosado (APG, Laboratorio Britania) y medio Czapek modificado para los ensayos, elaborado con (g/L): 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 3 g NaNO<sub>3</sub>; 0,5 g KCl; 0,5 g MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0,001 g FeCl<sub>3</sub>; 6 g glucosa; 15 g agar; agua destilada. Todos los reactivos fueron de grado analítico.

### Efectos sobre el crecimiento

Se empleó la metodología propuesta por Serbent *et al.* (2020) para la siembra y aplicación del plaguicida en superficie. Todos los ensayos se realizaron por triplicado y se incluyeron controles bióticos (sin CP). Se registraron los crecimientos de las colonias en centímetros (cm) cada 24 h, durante los 4 días siguientes de realizadas las siembras, se calcularon las velocidades de crecimiento (Muñoz Rios *et al.*, 2019) y porcentajes de inhibición del crecimiento radial de las cepas, basados en la comparación entre el crecimiento radial de los tratamientos y los controles (Stamatiu-Sánchez *et al.* 2015).

La velocidad de crecimiento *VC* se calculó como:

$$VC = \frac{(\sum x \sum y - n \sum xy)}{(\sum x)^2 - n(\sum x)^2}$$

donde *VC* = velocidad de crecimiento, *n* = número de repeticiones, *x* = tiempo de crecimiento del hongo en días, e *y* = longitud radial de la colonia fúngica (cm).

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial *PICM* se calculó de la siguiente manera:

$$PICM = 100 - (DMt.100) / DM$$

donde  $DMt$  = desarrollo de micelio de los tratamientos y  $DMc$  = desarrollo de micelio de los controles. (Los valores positivos exponen la existencia de inhibición del crecimiento.)

### Efectos sobre la producción de conidios

Al finalizar los 7 días de incubación se prepararon suspensiones de esporas de los cultivos del ensayo anterior. Se empleó el método de barrido de colonia que consiste en el raspado de la superficie del medio de cultivo con agua destilada estéril, posteriormente las suspensiones se pasaron por filtros de doble algodón (Seididamyeh *et al.* 2023). Se prepararon diluciones seriadas  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$ , se agitaron en vortex hasta obtener soluciones homogéneas y se transfirió una muestra de cada solución a la cámara de Neubauer, mediante micropipetas estériles, se procedió al conteo de conidios y se expresaron las concentraciones en número de conidios por mililitro (conidios/mL).

### Efectos sobre la producción de masa micelial

Se sembraron discos, provenientes de colonias de 7 días de edad cultivadas en agar Czapek modificado y contaminado con CP, en frascos con 30 mL de caldo Czapek modificado enriquecidos con 200 mg/L de CP y se incubaron en agitación a 150 rpm,  $27 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 15 días. Finalizada la incubación, las soluciones se llevaron a centrifuga para recuperar las masas fúngicas que, posteriormente, se introdujeron en cápsulas de aluminio para su pesaje (peso húmedo), luego se llevaron a estufa por 18 h a  $60^\circ\text{C}$ . Transcurrido el tiempo, se retiraron las cápsulas con las masas de micelio secas, se reservaron en desecador con sílica gel hasta obtener peso constante (peso seco) y luego se determinaron las masas fúngicas (g) por diferencia de pesadas (peso húmedo - peso seco). Se realizaron 3 repeticiones incluido el control biótico (ausencia de CP).

### Degradación de CP

Se inocularon discos (0,5 cm), obtenidos de colonias de 7 días de crecimiento en agar Czapek modificado suplementado con CP (200 mg/L), en frascos con 30 mL de caldo Czapek modificado con 200 mg/L de CP. Los cultivos se incubaron en condiciones de agitación (150 rpm) a  $27 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 15 días. Finalizado el período de incubación, las muestras fueron centrifugadas y, a partir del sobrenadante, se realizaron las extracciones de CP siguiendo la metodología descrita por Barberis *et al.* (2019). Posteriormente, las concentraciones residuales de CP se determinaron mediante cromatografía gaseosa (GC) en el Laboratorio de Análisis de Residuos y Trazas (LAnART-UNJu).

Para calcular el porcentaje de reducción de CP por parte de las cepas estudiadas, se compararon los valores de residuales del plaguicida obtenidos por degradación natural (control abiótico) y por la aplicación de tratamientos con las cepas, de esta manera se pudo despreciar la reducción natural del CP.

### Análisis de datos

Los datos de crecimiento de las cepas se analizaron mediante un modelo lineal mixto (LMM) con el paquete nlme en el entorno InfoStat-R (versión 2020, R 3.6.3). Se consideraron como efectos fijos los factores Cepa (11 niveles) y Tratamiento (dos niveles: control y tratamiento), así como su interacción (Cepa  $\times$  Tratamiento), con el fin de evaluar diferencias en el crecimiento entre cepas y su respuesta diferencial frente a la exposición al plaguicida. Los factores Tiempo y Réplica se incorporaron como efectos aleatorios, para considerar la variabilidad asociada a las repeticiones experimentales y mediciones temporales. El modelo se ajustó mediante el método de máxima verosimilitud restringida (REML) y se evaluó la significancia de los efectos fijos mediante pruebas F tipo III. En los casos con efectos significativos, las comparaciones de medias se realizaron con la prueba LSD de Fisher ( $\alpha = 0,05$ ), sin corrección por multiplicidad. Los resultados se expresaron como medias ajustadas  $\pm$  error estándar. Se utilizaron modelos lineales generalizados (GLM) con distribución de Poisson y función log-linked (Guisan y Zimmermann, 2000). Se comparó la respuesta Tolerancia de las once cepas de *Trichoderma* evaluadas ante la presencia (tratamientos) y Ausencia (controles) de CP (factor), cepas (factor), dos variables explicativas continuas, número de conidios y masa micelial (mm). Los análisis se realizaron con RStudio 2024 (Posit Software, PBC). Las imágenes se generaron con los paquetes ggplot2 y boxplot. Los resultados de remoción de CP se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA). Las pruebas de comparación de los tratamientos post hoc (Tukey) se realizó mediante el uso del programa estadístico INFOSTAT versión.

### RESULTADOS

El análisis indicó que el crecimiento fúngico estuvo determinado por la identidad de la cepa ( $p < 0,001$ ), la presencia de CP en el medio de cultivo ( $p = 0,0006$ ) y la interacción entre ambos factores ( $p = 0,0082$ ). El modelo empleado explica el 96 % de la variabilidad total del crecimiento ( $R^2 = 0,96$ ).

La comparación de medias (Tabla 1) mostró que algunas cepas presentaron un crecimiento mayor bajo el tratamiento con CP, lo que sugiere una posible capacidad de aprovechamiento del plaguicida. En particular, las

**Tabla 1.** Comparación de medias de crecimiento, velocidad de crecimiento (VC) y porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PICM) de cepas de *Trichoderma* spp. expuestas a CP. Cepas con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas.

**Table 1.** Comparison of mean growth, growth rate (VC), and percentage of mycelial growth inhibition (PICM) for *Trichoderma* spp. strains exposed to CP. strains with different letters indicate statistically significant differences.

Cepas	Trat.	Medias ± E.E.	VC	PICM	Cepas	Trat.	Medias ± E.E.	VC	PICM
70A	T	6,34±1,49	7,60±1,07	-2,51	66DEFG	C	5,14±1,49	5,92±0,9	
63AB	T	6,31±1,50	6,39±1,89	-4,81	56DEFG	T	4,97±1,49	5,75±0,88	-0,99
70AB	C	6,28±1,50	8,01±0,88		56DEFG	C	4,97±1,49	5,64±0,8	
63AB	C	6,04±1,50	7,00±0,24		59DEFG	C	4,93±1,49	5,74±0,52	
66BC	T	5,8±1,49	6,48±1,64	-11,51	76DEFG	T	4,88±1,49	5,32±0,81	6,35
78CD	T	5,35±1,49	6,70±0,91	-15,51	52EFG	C	4,84±1,49	5,49±1,02	
59CDE	T	5,32±1,50	6,18±1,91	0,31	52FGH	T	4,74±1,49	5,35±0,87	2,23
72DE	T	5,3±1,49	5,74±1,13	-3,99	78GH	C	4,70±1,49	5,31±0,92	
60DEF	T	5,19±1,49	5,71±1,45	-15,3	60H	C	4,36±1,49	4,72±1,32	
76DEF	C	5,17±1,49	5,96±0,72		55I	T	3,59±1,49	3,9±1,37	-23,22
72DEFG	C	5,16±1,49	5,83±1,10		55J	C	2,86±1,49	3,12±0,91	

T: cepas tratadas con CP; C: cepas control; celdas coloreadas: las cepas control establecen los valores de crecimiento de referencia por lo que no es posible calcular el PICM para las mismas.

T: strains treated with CP; C: control strains; colored cells: control strains establish the baseline growth values, making it impossible to calculate the PICM for them.

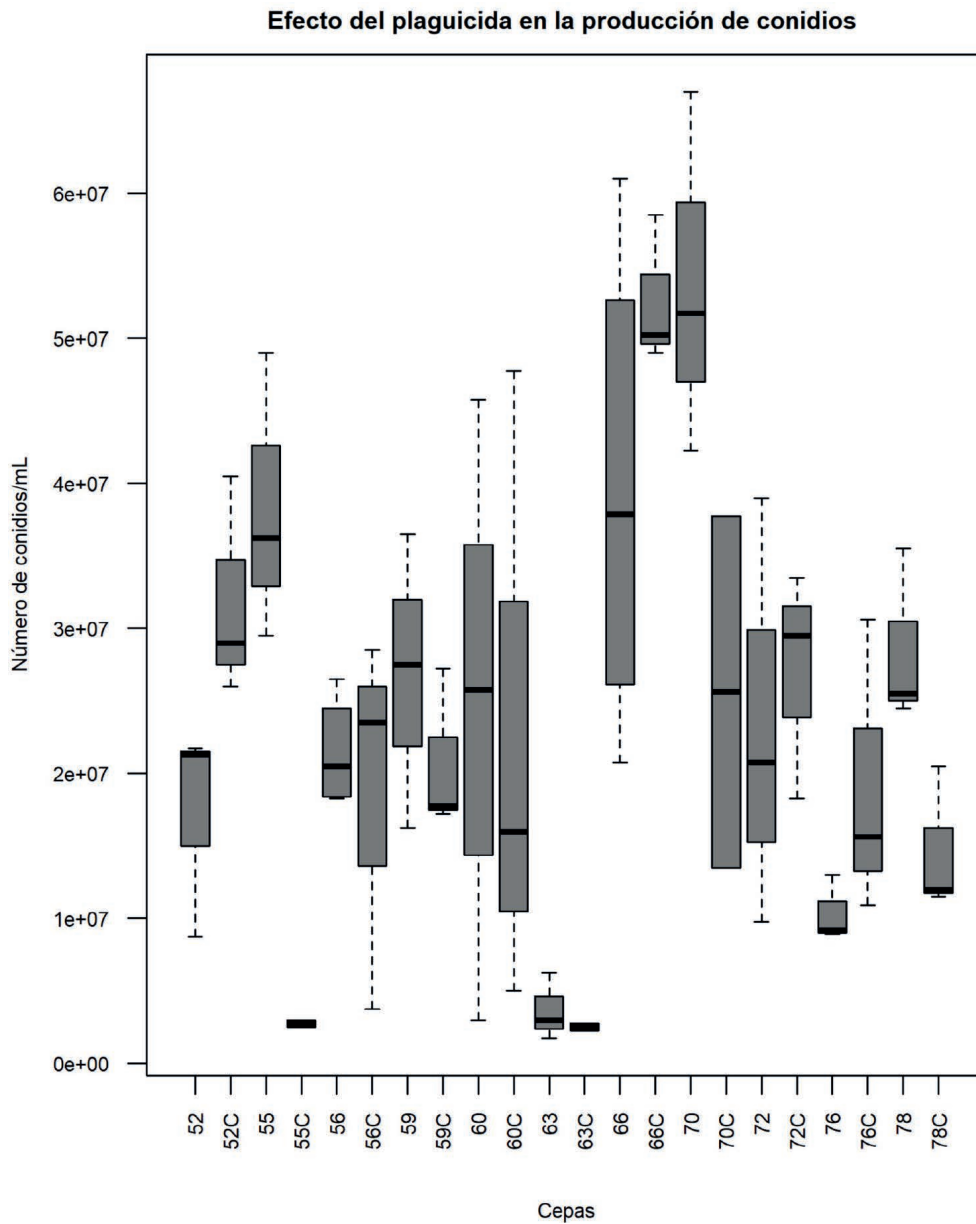
cepas T70 y T63 alcanzaron las mayores medias de crecimiento en medios contaminados y libres de CP. La VC no se ve afectada por la presencia de CP en el medio de cultivo, sin embargo, las cepas T59, T76 y T52 exponen inhibición del crecimiento (PICM) lo cual conlleva una leve reducción en sus velocidades de crecimiento comparadas con los respectivos controles.

### Conteo de conidios

En las cepas evaluadas no se exponen diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos y no se observa una tendencia general. Sin embargo, en las cepas T59, T60, T70 y T78 la exposición al plaguicida aumentó la producción de estructuras reproductivas (Fig. 1).

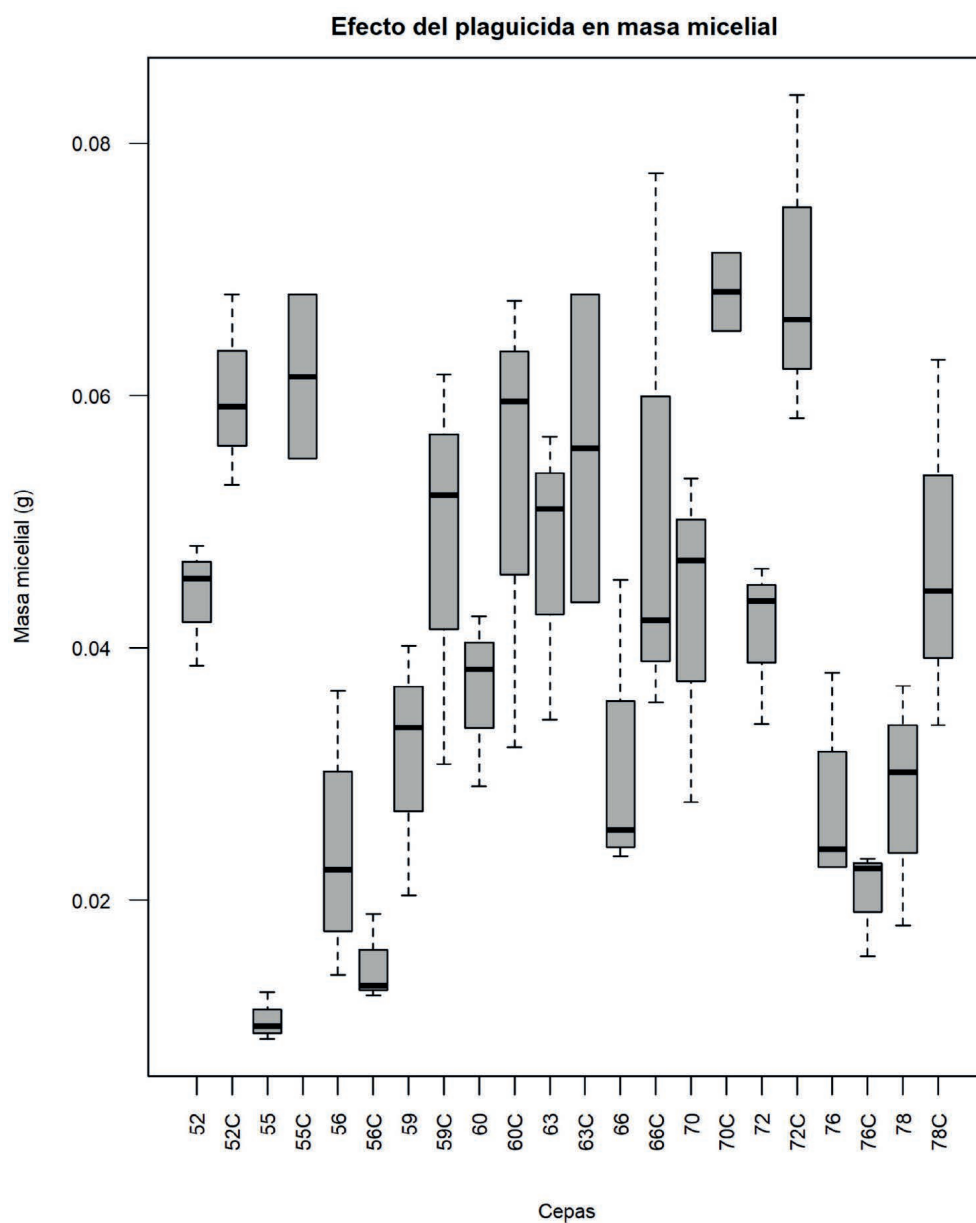
### Desarrollo de masa micelial

Se puede apreciar como generalidad que los valores son mayores en ausencia de CP (controles), excepto los tratamientos con las cepas T56 y T76 donde se produjo mayor cantidad de micelio en medios contaminados. Cabe aclarar que en ninguno de los casos se obtuvo diferencias con significancia estadística ( $p < 0,05$ ) para dichos valores (Fig. 2).



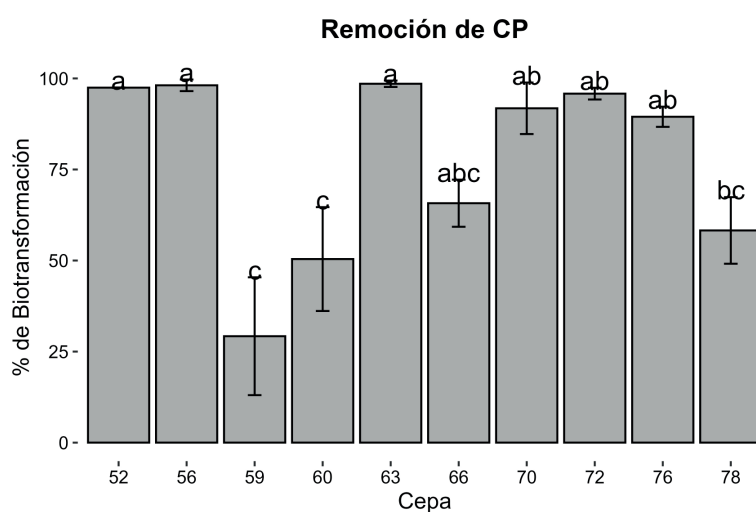
**Fig. 1.** Producción de conidios (conidios/mL) de las cepas expuestas a 200 mg/L de CP (Clorpirifos) y en medios sin CP (Control: C).

**Fig. 1.** Conidia production (conidia/mL) of strains exposed to 200 mg/L of CP (Chlorpyrifos) and in media without CP (Control: C).



**Fig. 2.** Producción de masa micelial de las cepas expuestas a 200 mg/L de CP y en medios sin CP (Control: C).

**Fig. 2.** Mycelial mass production of strains exposed to 200 mg/L of CP and in media without CP (Control: C).



**Fig. 3.** Porcentaje de Remoción del CP. Medias sin letras en común son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

**Fig. 3.** Percentage of CP Removal. Means without shared letters in common are significantly different ( $p > 0.05$ ).

### Capacidad de Degradación

Se observa que existe diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las T59 y las T72, T52, T63 y T56; los mayores porcentajes de reducción de CP se obtuvieron con las cepas T72, T52, T63 y T56, con valores superiores al 90 %. Cabe aclarar que se excluyó a la cepa T55 de este ensayo dada la sensibilidad de la misma a la exposición al plaguicida probada en ensayos anteriores.

### DISCUSIÓN

Las diferencias metabólicas entre las especies del género *Trichoderma* constituyen un factor clave en la variabilidad de sus respuestas adaptativas frente a la exposición a compuestos tóxicos como el CP. Diversos estudios han demostrado que la diversidad enzimática de este género permite su desarrollo en una amplia gama de sustratos y condiciones ambientales, principalmente a través de la expresión diferencial de enzimas oxidativas, tales como peroxidasas y monooxigenasas, implicadas en la degradación de compuestos organofosforados (Argumendo-Delira *et al.*, 2009; Gómez Gómez, 2021; Kumar *et al.*, 2022; Guo *et al.*, 2022; Zehra *et al.*, 2023). Esta plasticidad metabólica no solo favorece la tolerancia a dichos compuestos, sino que también podría permitir su utilización parcial como fuente de carbono, evidenciando la existencia de mecanismos adaptativos complejos dentro del género.

En este marco, el comportamiento diferencial entre cepas observado en el presente estudio sugiere la existencia de mecanismos adaptativos que permiten tolerar o incluso aprovechar el CP como fuente parcial de carbono, fenómeno descrito por Malla *et al.* (2023) y Azabache e Iannacone (2024) en especies expuestas a organofosforados. En este sentido, Mayo-Prieto *et al.* (2022) observaron una fuerte inhibición del crecimiento de *Trichoderma* spp. expuestas a concentraciones de CP recomendadas a campo (150 mL/hL). Además, Muñoz Ríos *et al.* (2019) reportaron que la exposición a 250 ppm de CP produjo una marcada disminución en la velocidad de crecimiento del hongo. Las diferencias observadas con los resultados del presente estudio podrían atribuirse a la menor concentración de CP empleada, así como al co-metabolismo que ocurre por la disponibilidad de glucosa como segunda fuente de carbono (Sabogal Vargas *et al.*, 2023; Yaday *et al.*, 2023). Tal como señalan Matúš *et al.* (2023) y Sud *et al.* (2020), la presencia de glucosa puede amortiguar los efectos tóxicos iniciales de los plaguicidas al favorecer una respuesta metabólica más rápida del microorganismo. La tendencia al aumento en la esporulación de ciertas cepas ante la exposición al CP se puede interpretar como una respuesta de resistencia frente al estrés químico, como lo mencionan diversos autores (Romero *et al.*, 2015; Angulo Pinedo y García Arirama, 2022; Abuhena *et al.*, 2022) que han documentado que la producción de conidios en *Trichoderma* se incrementa en ambientes desfavorables, como una estrategia de supervivencia mediante la formación de estructuras más resistentes.

Por otra parte, la producción de biomasa observada en este trabajo sugiere que la exposición al CP genera un estrés transitorio que no limita de forma permanente el crecimiento fúngico. Este tipo de respuesta fue reportada por Sabogal Vargas *et al.* (2023) y Stamatiu Sánchez *et al.* (2015), quienes señalan que el género posee mecanismos de recuperación asociados a la biotransformación de CP.

Finalmente, la alta eficiencia de reducción de las concentraciones de CP observada en las cepas es coherente con lo descrito por Soesanto *et al.* (2022) y Mahalle *et al.* (2025), quienes demostraron que tanto hongos como bacterias del suelo pueden alcanzar porcentajes de reducción superiores al 90 % en condiciones controladas. Estos resultados respaldan el potencial de *Trichoderma* spp. como agente biorremediador de suelos contaminados con organofosforados-clorados, dada su capacidad para tolerar la exposición y metabolizar el compuesto sin comprometer su crecimiento ni su capacidad reproductiva.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio aporta evidencia sobre la capacidad adaptativa de cepas autóctonas de *Trichoderma* frente a la exposición al CP, lo que resalta su potencial como herramienta biotecnológica para el manejo sostenible de suelos agrícolas. La tolerancia observada sugiere que estos hongos poseen mecanismos fisiológicos y enzimáticos capaces de enfrentar el estrés químico sin comprometer sus funciones biológicas esenciales. En este sentido, su aprovechamiento podría contribuir tanto al control biológico de fitopatógenos como a la biorremediación de suelos contaminados. Se recomienda profundizar en estudios fisiológicos y moleculares que permitan dilucidar los mecanismos de resistencia y biotransformación implicados, así como evaluar su desempeño en condiciones de campo, donde interactúan múltiples factores ambientales y biológicos. Cabe destacar que se encuentra en proceso la identificación de las especies evaluadas.

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias (UNJu) por brindar el espacio necesario para llevar a cabo este trabajo, al Consejo Interuniversitario Nacional y la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (UNJu) por financiar la presente investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abuhena, M., Kabir, M., Azim, M., Al-Rashid, J., Rasul, N. y Huq, M. (2022). A stredding method for producing high-density *Trichoderma* spores in a dual-layer by utilizing a starch-based medium in a reconditioning approach. *Bioresource Technology* 19. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101165>
- Angulo Pinedo, S. J. y García Arirama, J. M. (2022). Aplicación de microorganismos eficientes (EM) y *Trichoderma harzianum* para la biorremediación de suelos de arroz contaminados con Carbofuran, Morales–Cacatachi, 2022. (Tesis de grado), Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Alansary, N. (2024). Chlorpyrifos biodegradation study in Egyptian agricultural soil. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*.
- Amerio, N. S., Castrillo, M. L., Bichi, G. A., Zapata, P. D. y Villalba, L. L. (2020). *Trichoderma* en la Argentina: estado del arte. *Ecología Austral* 30: 113-124.

- Argumedo-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R. y Peña-Cabriales, J. (2009). El género fúngico *Trichoderma* y su relación con contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25 (4): 257-269.
- Azabache, J. e Iannacone, J. (2024). Compatibilidad de los bioplaguicidas *Clibadium sylvestre* y *Trichoderma harzianum* como alternativa en el control ecológico de plagas. *Scientia* 25 (25). Recuperado de <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Scientia/article/view/6299>
- Barberis, C., Carranza, C. S., Magnoli, K., Benito, N. y Magnoli C. E. (2019) Development an removal ability of non-toxicogenic *Aspergillus* section Flavi in presence of atrazine, chlorpyrifos and endosulfan. *Revista Argentina de Microbiología* 51 (1): 3-11. <http://doi.org/10.1016/j.ram.2018.03.002>
- Beldomenico, H. (2021). Impacto de los plaguicidas en los alimentos, el ambiente y la salud en Argentina: revisión bibliográfica y propuestas superadoras. Rafaela: Santa Fe.
- Bhende, R., Jhariya, U., Srivastava, S., Bombaywala, S., Das, S. y Dafale, N. A. (2022). Environmental distribution, metabolic fate, and degradation mechanism of chlorpyrifos: recent and future perspectives. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 194: 2301-2335.
- Bose, S., Kumar, P. S. y Vo, D. V. (2021). A review on the microbial degradation of chlorpyrifos and its metabolite TCP. *Chemosphere* 283: 131447.
- Elzakey, E. M., El-Sabbagh, S. M., Eldeen, E., Adss, I. A. y Nassar, A. M. (2023). Bioremediation of chlorpyrifos residues using some indigenous species of bacteria and fungi in wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment* 195: 779.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Gómez Gómez, A. M. (2021). Degradación del insecticida clorpirifós por *Pseudomonas aeruginosa*, rizobacteria aislada de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). (Tesis de grado), Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ciencias.
- Guo, R., Li, G., Zhang, Z. y Peng, X. (2022). Structures and biological activities of secondary metabolites from *Trichoderma harzianum*. *Marine Drugs* 20: 701.
- Kumar, G., Lal, S., Soni, S. K., Maurya, S. K., Shukla, P. K., Chaudhary, P., Bhattacharjee, A. K. y Garg, N. (2022). Mechanism and kinetics of chlorpyrifos co-metabolism by using environment restoring microbes isolated from rhizosphere of horticultural crops under subtropics. *Frontiers in Microbiology* 13: 891870.
- Mahalle, P. N., Waghmode, M. S. y Jadhav, J. P. (2025). Chlorpyrifos degradation potential of *Bacillus aryabhatai*: pathway elucidation and enzyme kinetics. *Chemosphere* 354: 151947. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025>

- Malla, M. A., Dubey, A., Kumar, A., Yadav, S. y Kumari, S. (2023). Modeling and optimization of chlorpyrifos and glyphosate biodegradation using RSM and ANN. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 252.
- Mayo-Prieto, S., Squarzoni, A., Carro-Huerga, G., Porteous-Álvarez, A. J. y Casquero, P. A. (2022). Organic and conventional bean pesticides in development of autochthonous *Trichoderma* strains. *Journal of Fungi* 8: 603.
- Matúš, P., Littera, P., Farkas, B. y Urík, M. (2023). Review on performance of *Aspergillus* and *Penicillium* species in biodegradation of organochlorine and organophosphorus pesticides. *Microorganisms* 11: 1485.
- Muñoz Ríos, M. A., Rojas Villacorta, W. A. y Malqui Ramos, I. L. (2019). Crecimiento de *Trichoderma asperellum* en medio sólido utilizando plaguicidas como fuente de carbono. *Scientia* 11 (2).
- Oyege, I., Wasswa, J., Bhaskar, M., Nkedi-Kizza, P. y Kasozi, G. (2024). Mixed-solvent sorption and moisture-regime-dependent degradation of chlorpyrifos in tropical soils. *International Journal of Environmental Research* 18.
- Romero, A. E., Yañez, L. M., Tschambler, J. A. y Bovi Mitre, M. G. (2015). Producción conidial y viabilidad de cepas de *Trichoderma* sp. en suelos de Maimará (Jujuy). En: X Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología del Suelo (REBIOS), San Salvador de Jujuy.
- Sabogal Vargas, A. M., Wilson Krugg, J., Rojas Villacorta, W., De La Cruz Noriega, M., Otiniano, N. M., Rojas Flores, S. y Mendoza Villanueva, K. (2023). In vitro compatibility of native isolates of *Trichoderma* with chlorpyrifos. *Applied Sciences* 13: 811.
- Saengsanga, T. y Phakratok, N. (2023). Biodegradation of chlorpyrifos by soil bacteria and effects on rice seedlings. *Plant, Soil and Environment* 69: 210-220.
- Solomon, K., Williams, W., Mackay, D., Purdy, J., Giddings, J. y Giesy, J. (2014). Properties and uses of chlorpyrifos in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 231: 13-34.
- Seididamyeh, M., Netzel, M. E., Mereddy, R., Harmer, J. R. y Sultanbawa, Y. (2023). Photodynamic inactivation of *Botrytis cinerea* spores by curcumin. *Food and Bioprocess Technology*.
- Serbent, M. P., Guimarães, D. K. S., Drechsler-Santos, E. R., Helm, C. V., Giongo, A. y Tabares, L. B. B. (2020). Growth and enzymatic production of *Lentinus crinitus* under herbicide exposure. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17: 2995-3012.
- Sivila, N. y Álvarez, S. (2013). Producción artesanal de *Trichoderma*. San Salvador de Jujuy: Universidad Nacional de Jujuy.
- Soesanto, L., Mugiastuti, E. y Somowiyarjo, S. (2022). Biodegradation of chlorpyrifos by *Trichoderma harzianum* metabolites in soils. *Agronomy* 12 (8): 1972.

- Stamatiu-Sánchez, K., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Nava Díaz, C., Sánchez-Escudero, J., Cruz-Sánchez, J. S. y Castillo, M. P. (2015). Tolerancia de hongos filamentosos a plaguicidas en condiciones *in vitro*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 31 (1): 23-37.
- Sud, D., Kumar, J., Kaur, P. y Bansal, P. (2020). Toxicity and degradation of chlorpyrifos. *Journal of the Chilean Chemical Society* 65 (2): 4807-4816.
- Yadav, R., Tripathi, P., Singh, R. P. y Khare, P. (2023). Soil enzymatic resilience in chlorpyrifos-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 7040-705.
- Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil, P., Upadhyay, R. S., Ali, M. A., Al-Ghamdi, A. A. y Lee, J. (2023). Enhanced protection of tomato against *Fusarium* wilt using *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University. Science* 35: 102466.