



# Interacción entre *Cladorrhinum samala* (Sordariales, Ascomycota) y tomate (*Solanum lycopersicum* var. *platense*): promoción del crecimiento vegetal y colonización radicular

Interaction between *Cladorrhinum samala* (Sordariales, Ascomycota) and tomato (*Solanum lycopersicum* var. *platense*): promotion of plant growth and root colonization

Martin, Mara<sup>1</sup>; Juan S. Guidobono<sup>2,3</sup>; Laura Gasoni<sup>4</sup>  
Viviana A. Barrera<sup>1,4</sup>; Mario C. Nazareno Saparrat<sup>2,5,6\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Agrobiotecnología y Biología Molecular (IABIMO), INTA-CONICET. Las Cabañas y De los Reseros s/n, Hurlingham, C.P. 1686, Castelar, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, 1425 CABA, Argentina.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología de Poblaciones, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires IEGEBA, UBA, Buenos Aires, 1428 CABA, Argentina.

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola, 1712 Castelar, Argentina.

<sup>5</sup> Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), UNLP, CCT-La Plata-CONICET, 1900 La Plata, Argentina.

<sup>6</sup> Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, 1900 La Plata, Argentina.

\* Autor correspondiente: <masaparrat@yahoo.com.ar>

## Resumen

En la actualidad, se han intensificado las investigaciones orientadas a la identificación de fuentes alternativas para la producción de biofertilizantes a base de hongos del suelo, con especial énfasis en especies poco estudiadas y escasamente caracterizadas. Durante el presente estudio se llevó a cabo un análisis comparativo de la capacidad de promoción del crecimiento de plantas de tomate por parte de tres aislamientos

► Ref. bibliográfica: Martin, M.; Guidobono, J. S.; Gasoni, L.; Barrera, V. A.; Nazareno Saparrat, M. C. 2025. Interacción entre *Cladorrhinum samala* (Sordariales, Ascomycota) y tomate (*Solanum lycopersicum* var. *platense*): promoción del crecimiento vegetal y colonización radicular. *Lilloa* 62 – Suplemento N° 2: "Interacciones biológicas en un mundo cambiante": 111-129. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/2134>

► Recibido: 20 de febrero 2025 – Aceptado: 19 de mayo 2025 – Publicado: 27 de junio 2025.



► 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.

nativos de *Cladorrhinum samala* (INTA-AR1, INTA-AR5 e INTA-AR32), y dos cepas de referencia: *C. samala* CBS 302.9 y *C. foecundissimum* CBS 180.66. Los resultados obtenidos permitieron identificar a la cepa *C. samala* INTA-AR1 como la más prometedora, debido a los incrementos significativos en el peso seco radicular y en el peso fresco del tallo con respecto al tratamiento control (sin inoculación fúngica) y a los tratamientos con los otros hongos. Se evidenció un incremento del índice de verdor, que demostró un aumento progresivo asociado al incremento en el porcentaje de inóculo aplicado. Se observó que las hifas colonizaban la raíz de manera superficial a las 72 h y posteriormente en forma endófito a los 40 días. Este estudio permitió la selección de la cepa nativa de *C. samala* INTA-AR1 como candidata para su aplicación en diversos cultivos como promotora del crecimiento vegetal.

**Palabras clave:** *Cladorrhinum samala*; microorganismos del suelo; endófito radical; PGPF.

## Abstract

Currently, research aimed at identifying alternative sources for the production of biofertilizers based on soil fungi has intensified, with special emphasis on understudied and poorly characterized species. This study conducted a comparative analysis of the growth-promoting capacity of tomato plants by three native isolates of *Cladorrhinum samala* (INTA-AR1, INTA-AR5, and INTA-AR32) and two reference strains: *C. samala* CBS 302.9 and *C. foecundissimum* CBS 180.66. The results identified the *C. samala* INTA-AR1 strain as the most promising, due to significant increases in root dry weight and stem fresh weight compared to the control treatment (without fungal inoculation) and the treatments with the other fungi. A progressive increase in the greenness index was observed, correlating with an increase in the percentage of inoculum applied. Hyphae were observed to colonize the root superficially at 72 h and subsequently endophytically at 40 days. This study led to the selection of the native *C. samala* INTA-AR1 strain as a candidate for application in various crops as a plant growth promoter.

**Keywords:** *Cladorrhinum samala*; soil microorganisms; root endophyte; PGPF.

## INTRODUCCIÓN

Un conjunto de problemáticas y soluciones sustentables engloban a la agricultura actual, entre las cuales se encuentra la búsqueda de alternativas sostenibles en la producción de alimentos para el abastecimiento de la población humana creciente (FAO, 2016).

Desde la década de 1970 las investigaciones se orientaron en la búsqueda de alternativas ambientalmente amigables para el control de patógenos y la promoción del crecimiento vegetal. Entre ellos, los bioinsumos conteniendo PGPM (“*Plant Growth Promoting Microorganisms*”), involucran la utilización de hongos, algas y/o bacterias (Mamani y Filippone, 2018; Santoyo *et al.*, 2021). Los hongos promotores del crecimiento vegetal conocidos como PGPF (*Plant Growth-Promoting Fungi*), actúan a través de mecanismos directos, como el aumento en el suministro de nutrientes y la biosíntesis de fitohormonas; y mecanismos indirectos, como la acción antagónica contra agentes fitopatógenos (Valland y Goodman, 2004). Diversos hongos pertenecientes al phylum Ascomycota han sido reportados por poseer capacidad endófito y comportamiento como promotores del crecimiento vegetal. Los taxones descritos *Alternaria* y *Phoma* (Clase Dothideomycetes), *Aspergillus* y *Penicillium* (Clase Eurotiomycetes), *Beauveria bassiana*, diferentes especies de *Chaetomium* y *Fusarium*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum*, *T. asperellum* y *T. saturnisporum* (Clase Sordariomycetes). También se han reportado representantes del phylum Basidiomycota como *Serendipita* (syn. *Piriformospora*; Clase Agaricomycetes), entre otros (Gill *et al.*, 2016; Hossain *et al.*, 2017; Martín *et al.* 2019; Spagnoletti y Chiocchio 2020; Adedayo y Babalola 2023).

Entre los años 2022 y 2023 se produjo una crisis de fertilizantes minerales (provocada por la guerra de Ucrania, caída de las exportaciones y aumento de los precios), generando escasez en la provisión de insumos desde Rusia y Bielorrusia como sales de potasio y metales catalizadores para la síntesis de amonio (Chojnacka *et al.*, 2023). Los fertilizantes son claves para incrementar el rendimiento de los cultivos; sin embargo, su uso inapropiado contribuye al cambio climático. Hay acciones que se realizan para mitigar el impacto de los efectos negativos provocados por el mal uso de los fertilizantes. Uno de los actores más importantes a nivel mundial es el IFA (*International Fertilizer Association*), cuya misión es la de promover el uso eficiente y responsable de los fertilizantes desde su producción hasta el manejo. Junto con la FAO se generó el código internacional sobre la conducta para el uso y manejo sustentable de los fertilizantes (*The international code of conduct for the sustainable use and management of fertilizers*). La importancia de la comunidad microbiana presente en la rizósfera es un factor determinante en la dinámica poblacional y en la composición de la vegetación de la rizósfera (Oliveros-Bastidas *et al.*, 2009).

Los microorganismos del suelo constituyen uno de los reservorios de biodiversidad más grandes del planeta, desempeñando un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y los procesos que en ellos ocurren (Ros *et al.*, 2024). En este contexto, los procesos que tienen lugar en la rizósfera han captado creciente interés, dado su importancia para comprender las interacciones suelo-planta. Algunos microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas de diferentes maneras: Pueden colonizar las células radiculares de forma intracelular (i-PGPM) o permanecen en la rizósfera de manera extracelular (e-PGPM). Ambos tipos desempeñan un papel crucial en la mejora del crecimiento y desarrollo vegetal mediante diversos mecanismos (Gopalan *et al.*, 2023).

Se pueden mencionar varias investigaciones realizadas sobre diferentes grupos de hongos como agentes activos en la formulación de biofertilizantes, indicadas como alternativas para la producción hortícola sostenible (Bohner *et al.*, 2013; Calabi-Floody *et al.*, 2018; Farias *et al.*, 2018; Chojnacka *et al.*, 2023). Las interacciones entre las plantas y los PGPF han demostrado generar efectos beneficiosos tanto en los órganos subterráneos como en los aéreos (Hossain *et al.*, 2017). El tomate (*Solanum lycopersicum*), es ampliamente utilizado como modelo de estudio sobre promoción del crecimiento vegetal debido a su sensibilidad y respuesta significativa a la inoculación con microorganismos beneficiosos del suelo, como hongos endófitos, micorrícicos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Hernández-Valladares *et al.*, 2021; Leventis *et al.*, 2021; Miranda *et al.*, 2023). El tomate originario de América del Sur, es la segunda hortaliza más consumida a nivel mundial, después de la papa. Presenta una alta adaptabilidad a diversas condiciones de cultivo, sin embargo, puede presentar deficiencias nutricionales principalmente de potasio, fósforo, calcio, boro y zinc, las cuales pueden afectar la calidad, apariencia y producción de frutos (Blancard, 2011).

El género *Cladorrhinum* Saccardo y Marchal (1885) es un representante de la familia Lasiosphaeriaceae perteneciente al Orden Sordariales (Sordariomycetes, Pezizomycotina, Ascomycota). En Argentina este género, hasta la fecha, está representado por las especies: *C. samala*, *C. bulbillosum* y *C. australe* (Carmarán *et al.*, 2015). Investigaciones iniciadas por Gasoni y Gurfinkel (1997) indicaron que *C. samala* A32 (actualmente tipificada como INTA-AR1) reveló un hábito endófito en raíces de plantas de algodón, ejerciendo estimulación del crecimiento vegetal en sustratos deficientes en fósforo. Los hongos endófitos se definen comúnmente como microorganismos cuya colonización interna en los tejidos vegetales puede demostrarse sin que se manifiesten síntomas evidentes de enfermedad o daño, al menos durante parte de su ciclo de vida (Schulz y Boyle, 2005). Estos hongos son componentes habituales del microbioma del suelo, y establecen asociaciones mutualistas con las plantas con las que interactúan (Waqar *et al.*, 2023). Se resalta la importancia de su estudio por los múltiples beneficios que generan en los cultivos, como el incremento en la absorción de nutrientes,

protección frente al estrés (biótico o abiótico), entre otros (Maciá-Vicente *et al.*, 2009). Se pueden clasificar de acuerdo con sus relaciones ecológicas con los hospedantes, como “clavicipitaceos” y “no clavicipitaceos” siguiendo a Rodríguez *et al.* (2009). *Cladorrhinum samala* fue incluido en la categoría no clavicipitaceos (Clase 2), en respuesta a su capacidad para colonizar diversos órganos vegetales y conferir protección frente a distintos tipos de estrés (Rodríguez *et al.*, 2009). Además, estos autores, describieron que esta clase de endófitos resulta fundamental para el crecimiento de algunas plantas y pueden llegar a incrementar la biomasa de raíces y brotes. Sin embargo, no hay información disponible sobre el tipo de interacción que se genera entre *Cladorrhinum* y las plantas de tomate.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto promotor del crecimiento de tres aislamientos nativos de *C. samala* y de dos cepas de referencia pertenecientes al género en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var. *platense*). Se evaluó también el efecto de diferentes concentraciones del inóculo de la cepa seleccionada *C. samala* INTA-AR1 en el crecimiento vegetal del tomate y el tipo de interacción que mantiene con sus raíces.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cepas fúngicas y variedad vegetal

Las cepas de referencia utilizadas en este trabajo pertenecen a las especies *C. samala* CBS 302.9 y *C. foecundissimum* CBS 180.66 (Centro de Biodiversidad Fúngica de los Países Bajos). Se estudiaron también tres cepas nativas de *C. samala* (INTA-AR1, INTA-AR5, INTA-AR32) obtenidas de suelos de diversas regiones de Argentina (Carmarán *et al.*, 2015). Todas las cepas están depositadas en la colección de cultivos del Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMYZA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

Los ensayos se realizaron con plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) de la variedad Platense. Las semillas utilizadas en el estudio fueron provistas por el programa Pro-Huerta (campaña 2018/2019) perteneciente a la Estación Experimental Agropecuaria Área Metropolitana de Buenos Aires (EEA AMBA - INTA). Para todos los ensayos que requirieron cultivos *in vitro* de plantas de tomate, se utilizó medio de cultivo agar-agua al 1,2% (AA) dispuesto en distintos recipientes, según los requerimientos específicos de cada experimento. Los recipientes utilizados fueron: placas de Petri de 90 mm con 15 ml de medio, vasos de plástico con 125 ml de medio de cultivo y frascos de vidrio con 4 ml de medio de cultivo.

Para los cultivos *in vitro*, las semillas de tomate fueron previamente desinfectadas superficialmente antes de colocarlas sobre la superficie del medio de cultivo en cada recipiente. Para la desinfección superficial, las semillas se sometieron a tratamientos de lavado con alcohol al 70 % durante 30”,

con agitación manual moderada. Luego, se sumergieron en hipoclorito de sodio al 1 % durante otros 30" con agitación leve (Maeso y Walasek, 2012). Posteriormente, se realizaron tres lavados consecutivos con agua destilada estéril, cada uno de 30" de duración (Mroginski *et al.*, 1991). Para finalizar el tratamiento de desinfección, las semillas fueron transferidas, con pinzas desinfectadas, sobre hojas de papel de filtro estériles (101-102, Double Rings) y se dejaron secar durante 4 horas para evitar la humedad que pudiera inducir su germinación. Luego, se procedió según los requerimientos de cada ensayo. Todos los recipientes, fueron sellados con cinta de laboratorio (Parafilm®) y colocados en condiciones controladas a 25 °C y fotoperíodo de 16 h (Mir-154-PE, Panasonic) (Coronel, 2017).

### **Selección de las cepas de *Cladorrhinum* para promoción del crecimiento vegetal**

Se evaluó la promoción del crecimiento en plantas de tomate inoculadas con *C. samala* CBS 302.9, INTA-AR1, INTA-AR5 y INTA-AR32 y la cepa de referencia *C. foecundissimum* CBS 180.66. Primeramente, las semillas de tomate desinfectadas fueron cultivadas *in vitro* en frascos de vidrio con el medio de cultivo e incubadas, siguiendo el protocolo previamente descrito, durante 7 días. A una distancia de 1 cm de la plántula se colocó un disco obtenido con sacabocado (5 mm) de Agar Papa Glucosado (APG) colonizado previamente con las cepas de *Cladorrhinum* y un disco sin el hongo para los tratamientos control. Luego de tres días de crecimiento (Gasoni y Stegman de Gurfinkel, 1997), se realizó el trasplante de cada plántula (inoculada y no inoculada) a tubetes C125 de 125 cm<sup>3</sup> de polipropileno (Dassplastic) con sustrato compuesto por suelo, arena, vermiculita y perlita (3:3:3:1). Para mantener las condiciones controladas en la cámara de cultivo y evaluar exclusivamente la interacción hongo-planta, el sustrato fue esterilizado previamente en autoclave mediante dos ciclos consecutivos de 1 hora a 121 °C. Se colocaron 20 réplicas por tratamiento, con un total de 120 plantines de tomate, en condiciones controladas de 25 °C y un fotoperíodo de 16 horas de luz blanca. Al cabo de 40 días se midió la longitud del tallo, su peso fresco y seco, la longitud de las raíces y su peso seco.

### **Evaluación del efecto de la cepa seleccionada sobre plantas de tomate**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo anterior, se realizó un ensayo de interacción en suelo. Para ello, en primer lugar se obtuvo el inóculo fúngico cultivando la cepa de *C. samala* INTA-AR1 en arroz bajo condiciones de fermentación en estado sólido. Estos cultivos fúngicos se realizaron en frascos, que fueron incubados a 25 °C durante 15 días (Saparrat *et al.*, 2010).

Una vez colonizado completamente el arroz fue transferido a bandejas desinfectadas superficialmente con papel absorbente en la base, y luego colocadas sobre mesada en una zona con bajo flujo de corrientes de aire a temperatura ambiente. Se registró el peso de las bandejas a tiempo cero y luego, diariamente. Una vez que el peso se mantuvo constante (a las 72 h) se trituró el arroz con homogenizador (PH91, SMT process) hasta obtenerse un particulado fino y se tamizó utilizando una malla de 1 mm (Zonytest, Rey y Ronzini SRL.) previamente esterilizada por radiación UV (Borda y Arbeláez, 1993). El inóculo así preparado, se colocó en tubos de centrífuga de 50 ml estériles (Corning Incorporated) y se almacenó en una zona sin humedad y en oscuridad.

Con respecto a las plántulas, éstas se obtuvieron a partir de semillas que fueron incubadas en bandejas de germinación que contenían un sustrato no esterilizado compuesto por suelo, arena, vermiculita y perlita (3:3:3:1). El ensayo se realizó durante diez días en condiciones de invernáculo, con luz natural y temperaturas de  $28 \pm 5$  °C en el mes de febrero, con el objetivo de evaluar el comportamiento de las plántulas en un ambiente más cercano al natural, preservando la microbiota nativa del sustrato

Posteriormente, las plántulas desarrolladas se trasplantaron a macetas de 3 kg, con el mismo sustrato mencionado anteriormente para el ensayo en las bandejas de germinación, al cual se le suplementaron diferentes cantidades del inóculo del hongo formulado a base de arroz. El ensayo se llevó a cabo con tres tratamientos: 1 % m/m; 0,5 % m/m; 0% (control sin inóculo), se utilizaron 25 plantas por tratamiento haciendo un total de 75 plantas. Luego de 63 días en condiciones de invernáculo, se descalzaron las plantas de las macetas y se midieron las variables: índice de verdor, longitud del tallo, longitud de raíz, peso fresco tallo, peso seco tallo, peso seco raíz.

Adicionalmente, se llevó a cabo un ensayo utilizando 3 concentraciones de inóculo fúngico en sustrato sólido, como se describió previamente, para evaluar específicamente el índice de verdor. Para ello, se tomaron diferentes concentraciones del inóculo (2 %, 1%, 0,5 %) y se mezclaron con 600 g de sustrato compuesto por suelo, arena, vermiculita y perlita (3:3:3:1), para el tratamiento control se siguió la misma metodología sin aplicación del inóculo. Paralelamente, se cultivaron semillas de tomate *in vitro* en frascos de vidrio, y tras siete días se trasplantaron 10 plántulas por bandeja por tratamiento. Las plántulas se incubaron por 60 días en condiciones controladas de 25 °C y fotoperíodo de 16 horas. La medición del índice de verdor, se realizó en todas las plantas tomando tres hojas vegetativas de los entrenudos apicales con un equipo medidor de clorofila SPAD 502 Plus (Konica, Minolta).

### Evaluación microscópica de raíces de plantas de tomate en sistemas conteniendo *C. samala*

Se realizaron microcultivos en portaobjetos (Deltalab, Eurotubo®) para ello se colocó AA al 1,2 % en condiciones de esterilidad hasta cubrir completamente el portaobjetos. Una vez solidificado se cortaron los extremos con un bisturí estéril. Se colocó en un extremo del portaobjetos una plántula de tomate cultivada *in vitro* en placa de Petri por diez días a 25 °C, con fotoperiodo de 16 h. En el otro extremo del portaobjetos se sembró la cepa *C. samala* INTA-AR1, previamente incubada a 28 °C durante 72 h. Estas condiciones de esterilidad permiten evitar la interferencia de hongos contaminantes en la interacción hongo-planta. Se colocaron los portaobjetos dentro de una placa de Petri estéril durante 72 h a 25 °C, se realizó por triplicado. Luego de la incubación, las raíces colonizadas fueron teñidas con azul de anilina al 1 % y se observaron en microscopio óptico (BX51, Olympus), en campo claro. Se tomaron fotografías de las estructuras fúngicas observadas. Las imágenes fueron tomadas con una cámara digital Cool Snap-Pro (Media Cybernetics, Inc.) acoplada al microscopio y editadas con el programa Image-Pro Solution.

Para evaluar la interacción a mayor plazo se realizaron cultivos *in vitro* en vasos de plástico con 150 ml de medio de cultivo como fue descrito previamente, con una semilla por vaso por triplicado. Cada recipiente fue inoculado con un disco de APG (5 mm de diámetro) con la cepa *C. samala* INTA-AR1 y se incubaron los vasos durante 40 días a 25 °C con fotoperiodo de 16 h. Se realizaron las tinciones de las raíces con azul de anilina 1 % y blanco de calcoflúor 1 g/l (Fluka, Sigma-Aldrich). Las observaciones se llevaron a cabo con microscopio óptico y de fluorescencia, respectivamente. Finalmente, se tomaron muestras de las raíces colonizadas y se colocaron en placas de Petri con medio APG a 28 °C por 72 h. Se realizaron las tinciones de las raíces con azul de anilina 1 % y blanco de calcoflúor 1 g/l (Fluka, Sigma-Aldrich). Las observaciones se llevaron a cabo con microscopio óptico y de fluorescencia respectivamente, utilizando filtro WU con emisión de 420 nm para calcoflúor.

### Análisis estadísticos

Para analizar el efecto de las cepas de *Cladorrhinum* evaluadas sobre la promoción de crecimiento, se utilizó un modelo de cuadrados mínimos generalizados (GLS por su denominación en inglés, *Generalized Least Squares models*) (Zuur et al., 2009). Se incluyó en el mismo análisis la modelación de la falta de homogeneidad de la varianza mediante una función de varianza constante (Pinheiro y Bates, 2000). Como prueba *a posteriori* para visualizar las diferencias entre cepas, se utilizó el test de Tukey.

Para evaluar el efecto de diferentes concentraciones del inóculo sólido de la cepa seleccionada sobre el índice de verdor en plántulas de tomate, se realizó un análisis de la varianza con una posterior visualización de las medias comparadas mediante análisis descriptivos, ya que en los casos de ANOVA donde se obtienen diferencias significativas para dos grupos no es necesario realizar test post hoc (Quinn y Keough, 2002). El valor de significancia utilizado en ambos análisis fue de 0,05 y se evaluaron previamente los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, mediante los test de Shapiro-Wilks y de Levene, respectivamente. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Las variables que no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se analizaron con pruebas no paramétricas, como el test de Kruskal–Wallis ( $p \leq 0,05$ ) (Kruskal y Wallis, 1952), empleando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

## RESULTADOS

### Selección de las cepas de *Cladorrhinum* para promoción del crecimiento vegetal

En el análisis de promoción en cultivo de tomate, se observaron diferencias significativas en peso seco del tallo (estadístico  $F = 4,87$ , grados de libertad = 4,  $p$ -valor < 0,01), destacándose la cepa *C. samala* INTA-AR1 con los valores más altos para esta variable. Esta cepa, no mostró diferencias significativas en comparación con los tratamientos *C. foecundissimum* CBS 180.66 y INTA-AR32, pero sí en relación con los tratamientos control y al resto de las cepas evaluadas. En cuanto al peso seco de raíz, se obtuvieron valores superiores con la cepa *C. samala* INTA-AR1 con resultados significativos (estadístico  $F = 2,94$ , grados de libertad = 5,  $p = 0,02$ ). No se observaron diferencias significativas con *C. foecundissimum* CBS 180.66, aunque sí frente a los otros tratamientos incluido el tratamiento control. Las demás variables analizadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1). En la figura 1 se muestra la comparación de las masas radiculares de las plantas colonizadas con *C. samala* INTA-AR1 y las raíces de las plantas control.

### Evaluación del efecto de la cepa seleccionada sobre plantas de tomate

En la evaluación de la cepa *C. samala* INTA-AR1 aplicada en el cultivo de tomate en maceta, se destacan las diferencias significativas para las variables relacionadas con el tallo y el índice de verdor. En este caso, las mediciones realizadas en plantas de tomate inoculadas con *C. samala* INTA-AR1 fueron sometidas al análisis no paramétrico por no cumplir los supuestos de homocedasticidad, normalidad o ambos.

**Tabla 1.** Valores obtenidos de las variables medidas en plantas de tomate expuestas a la inoculación de cepas de *Cladorrhinum* spp. respecto de un tratamiento control (sin aplicación del inóculo fúngico).

**Table 1.** Values obtained from the variables measured in tomato plants exposed to inoculation with *Cladorrhinum* spp. strains compared to a control treatment (without fungal inoculum application).

Cepas	Medidas del tallo			Medidas de la raíz	
	Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Longitud (cm)	Peso fresco (g)
<i>C. samala</i> INTA-AR 1	8,71 ± 0,6 <sup>a</sup>	1,19 ± 0,15 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,06 <sup>a</sup>	18,25 ± 0,86 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,07 <sup>a</sup>
<i>C. foecundissimum</i> CBS 180.66	9,65 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,55 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,06 <sup>ab</sup>	18,25 ± 1,54 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,04 <sup>a</sup>
<i>C. samala</i> INTA-AR 32	9,24 ± 0,78 <sup>a</sup>	1,67 ± 0,25 <sup>a</sup>	0,28 ± 0,04 <sup>abc</sup>	16,69 ± 1,77 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>b</sup>
<i>C. samala</i> CBS 302.9	8,57 ± 0,72 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,15 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,02 <sup>cd</sup>	17,54 ± 1,05 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,01 <sup>b</sup>
<i>C. samala</i> INTA-AR 5	8,44 ± 0,52 <sup>a</sup>	1,32 ± 0,18 <sup>a</sup>	0,18 ± 0,03 <sup>d</sup>	18,37 ± 0,68 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,01 <sup>b</sup>
Control	8,24 ± 0,059 <sup>a</sup>	1,48 ± 0,18 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	16,83 ± 0,81 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>b</sup>

\* Diferentes letras para cada parámetro analizado denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



**Fig. 1.** Raíces de plantas de tomate: En la parte superior se observa la planta control sin inoculación y en la parte inferior la planta inoculada con *Cladorrhinum samala* INTA-AR1.

**Fig. 1.** Tomato plant roots: The upper part shows the control plant without fungal inoculation, while the lower part shows the plant inoculated with *Cladorrhinum samala* INTA-AR1.

El tratamiento con una concentración de inóculo del 1% presentó el mayor valor de peso fresco del tallo (estadístico  $H = 48,72$ ;  $gl = 5$ ;  $p < 0,001$ ), superando significativamente al tratamiento con 0,5% y al control (sin inoculación). Para la longitud del tallo (estadístico  $H = 32,20$ ; grados de libertad = 5,  $p$ -valor  $< 0,01$ ) y el peso seco del tallo (estadístico  $H = 28,97$ , grados de libertad = 5,  $p$ -valor  $< 0,001$ ), también se registraron los valores más altos para el tratamiento al 1%. No obstante, estas variables no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con 1% y 0,5% de inóculo, aunque ambos tratamientos se diferenciaron significativamente del control. Para el índice de verdor (estadístico  $H = 42,28$ , grados de libertad = 5,  $p < 0,001$ ) se observaron los mayores valores significativos en el tratamiento al 1%. Al igual que en las variables anteriores, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos al 1% y al 0,5%, pero sí respecto al tratamiento control. No se observaron diferencias significativas en las variables vinculadas a la raíz (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores obtenidos de las variables medidas en plantas de tomate aplicando los diferentes tratamientos del inóculo sólido.

**Table 2.** Values obtained from the variables measured in tomato plants with the different solid inoculum treatments.

Tratamiento	Índice de verdor	Medidas del tallo			Medidas de la raíz	
		Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Longitud (cm)	Peso fresco (g)
Trat. 1%	38,15 ± 0,79 <sup>a</sup>	65,18 ± 1,81 <sup>b</sup>	67,69 ± 2,36 <sup>c</sup>	4,67 ± 0,25 <sup>b</sup>	35,4 ± 2,42 <sup>a</sup>	0,52 ± 0,05 <sup>ab</sup>
Trat. 0.5%	37,03 ± 0,79 <sup>a</sup>	63,31 ± 1,89 <sup>b</sup>	57,87 ± 2,46 <sup>b</sup>	3,97 ± 0,26 <sup>b</sup>	44,27 ± 2,47 <sup>b</sup>	0,63 ± 0,05 <sup>b</sup>
Control	27,93 ± 0,75 <sup>b</sup>	48,28 ± 1,81 <sup>a</sup>	23,18 ± 2,36 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,25 <sup>a</sup>	41,00 ± 2,37 <sup>ab</sup>	0,43 ± 0,05 <sup>a</sup>

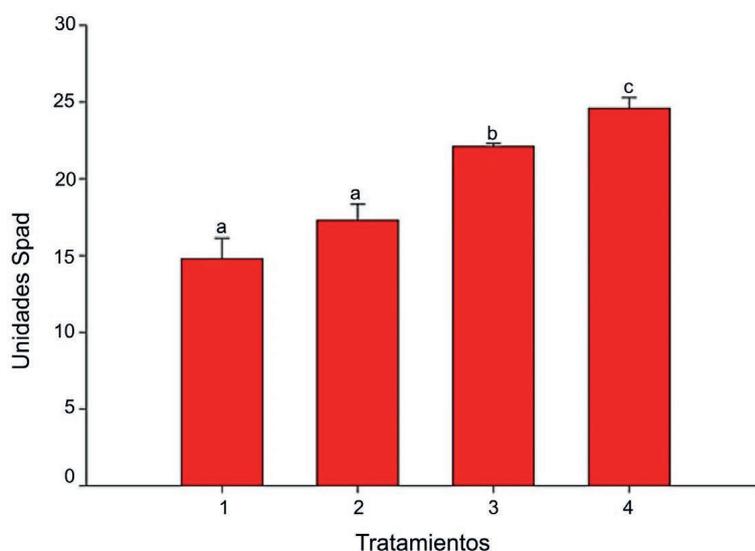
\* Diferentes letras para cada parámetro analizado denotan diferencias significativas (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos para evaluar específicamente el índice de verdor en las plantas de tomate inoculadas con diferentes concentraciones de arroz colonizado con *C. samala* INTA-AR1, mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (estadístico  $F = 19,14$ , grados de libertad = 3,  $p < 0,001$ ) (Fig. 2 y Fig. 3). El tratamiento con un 2 % de inóculo presentó los valores más altos de índice de verdor, respecto al resto de los tratamientos (Fig. 2 y Fig. 3).



**Fig. 2.** Bandejas con plantas de tomate en sustrato inoculado con diferentes concentraciones de *Cladorrhinum samala* INTA-AR1 en arroz: a) Tratamiento control. b) Tratamiento 0,5 %. c) Tratamiento 1 %. d) Tratamiento 2 %.

**Fig. 2.** Trays with tomato plants grown in substrate inoculated with different concentrations of *Cladorrhinum samala* INTA-AR1 on rice: a) Control treatment. b) 0.5% treatment. c) 1% treatment. d) 2% treatment.



**Fig. 3.** Índice de verdor en plantas de tomate tratadas con *Cladorrhinum samala* INTA-AR1: 1) Control. 2) Tratamiento 0,5 %. 3) Tratamiento 1 %. 4) Tratamiento 2 %.

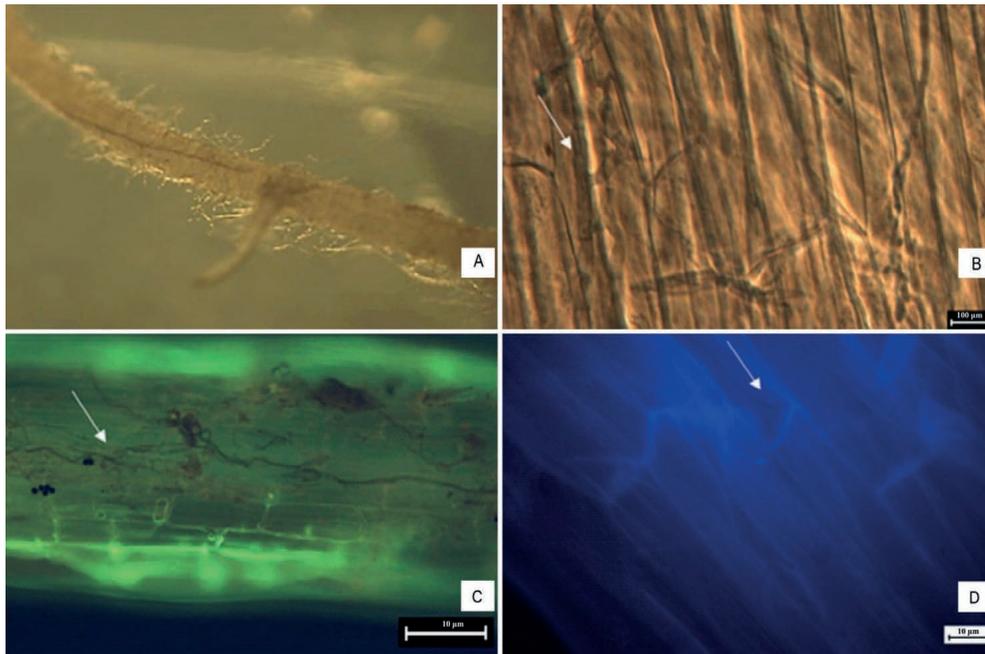
**Fig. 3.** Greenness index in tomato plants treated with *Cladorrhinum samala* INTA-AR1: 1) Control. 2) 0.5% treatment. 3) 1% treatment. 4) 2% treatment.

### Evaluación microscópica de raíces de plantas de tomate en sistemas conteniendo *C. samala*

Mediante observación microscópica de las raíces de plantas de tomate control (Fig. 4A) y de aquellas en interacción con la cepa *C. samala* INTA-AR1, se identificaron dos patrones de interacción. El primero correspondió al enrollamiento superficial de las hifas alrededor de las raíces correspondiente a la interacción a corto plazo de 72 h (Fig. 4B-C). El segundo patrón fue la colonización fúngica inter- e intracelular de las hifas en los tejidos radiculares correspondiente a la interacción a largo plazo de 40 días (Fig. 4D).

## DISCUSIÓN

Esta publicación contribuye al conocimiento sobre hongos endófitos de plantas los cuales se investigan como fuente alternativa de fertilizantes para la obtención de metabolitos secundarios bioactivos esenciales para la estimulación de la germinación, la elongación del tallo y la expansión foliar (Waqas et al., 2012; Răut et al., 2021). El análisis del efecto de promoción del crecimiento en plantas de tomate utilizando diferentes cepas pertenecientes al género *Cladorrhinum* permitió seleccionar una cepa de *C. samala* que podría utilizarse para el desarrollo de bioinsumos con potencial como biofertilizante para cultivos intensivos. La cepa nativa *C. samala* INTA-AR1 y la cepa de referencia *C. foecundissimum* CBS 180.66 demostraron efectos positivos en los parámetros evaluados (tanto en raíces como en tallos), destacándose los mejores resultados con la cepa INTA-AR1.



**Fig. 4.** Raíces de tomate colonizadas con *Cladorrhinum samala* INTA-AR1. A) Observación de la raíz bajo lupa. B) Raíz en interacción en microcultivo teñida con azul de anilina 1 %, la flecha indica hifa superficial (ref. 100  $\mu\text{m}$ ). C) y D) Raíz teñida con calcoflúor, la flecha indica hifa intracelular (ref. 10  $\mu\text{m}$ ).

**Fig. 4.** Tomato roots colonized by *Cladorrhinum samala* INTA-AR1. A) Root observed under a stereomicroscope. B) Root interacting in microculture stained with 1% aniline blue; the arrow indicates a superficial hypha (scale bar: 100  $\mu\text{m}$ ). C) and D) Root stained with calcofluor; the arrow indicates an intracellular hypha (scale bar: 10  $\mu\text{m}$ ).

Gasoni y Stegman de Gurfinkel (1997) ya habían reportado que la cepa *C. samala* INTA-AR1 actuaba como PGPF en ensayos de interacción con plantas de algodón, los autores evidenciaron una asociación planta-hongo a las 48 hs. Basándose en ese dato, y dado que se desconocían los tiempos de interacción con plantas de tomate, se decidió establecer un período de contacto hongo-planta de tres días para el cultivo *in vitro*. El presente estudio confirma y amplía el rango de plantas sobre las cuales la cepa *C. samala* INTA-AR1 ejerce un efecto promotor del crecimiento vegetal. Por otro lado, estos resultados respaldan la clasificación de endófitos no clavicipitáceo (Rodríguez *et al.*, 2009), *C. samala* coloniza un amplio rango de hospedantes y puede incrementar notablemente la biomasa radicular, lo que resalta su potencial como biofertilizante alternativo.

Para la medición del índice de verdor se incorporó un nuevo ensayo en bandejas, debido a que en la evaluación previa con inóculos sólidos de *C. samala* INTA-AR1 al 0,5 % y 1 % no se observaron diferencias significativas, aunque sí se evidenció una tendencia al aumento en los niveles del índice de verdor. Se utilizaron 10 plántulas por bandejas, debido a limitaciones en el ensayo, lo que impidió establecer réplicas verdaderamente independientes. Sin embargo, todas las unidades experimentales dentro de cada

tratamiento fueron manejadas de manera homogénea y bajo condiciones controladas, permitiendo una evaluación preliminar de las tendencias del efecto del inóculo sobre las variables estudiadas (Soval-Villa *et al.*, 2002; Porto *et al.*, 2014). Estos resultados obtenidos en bandejas resultan útiles en etapas exploratorias del estudio, si bien este tipo de ensayos pierde independencia de las réplicas sirve como un modelo a escala de prototipo para analizar el comportamiento de las plantas en contacto con los PGPF en el suelo.

Es relevante destacar el estudio de las hifas de *C. samala* INTA-AR1 en interacción con el tejido radicular de las plantas de tomate mediante microscopía. En una etapa inicial (primeras 72 horas), se observó que el hongo interactuaba de forma superficial con la rizodermis. Para evaluar posibles interacciones más profundas a lo largo del tiempo, se realizó un análisis a los 40 días, donde se evidenció la colonización del tejido cortical. Un patrón similar de interacción también fue reportado por Gasoni y Stegman de Gurfinkel (1997) en plantas de algodón, lo que sugiere una interacción efectiva entre la cepa *C. samala* INTA-AR1 y el tejido radicular de las plantas hospedantes.

La utilización del inóculo de *C. samala* INTA-AR1 en granos de arroz como soporte y vehículo de aplicación en el ensayo incrementó la biomasa radicular. Según Rothen (2018), muchos hongos endofíticos, bajo condiciones adecuadas, promueven beneficios significativos en el desarrollo de las plantas, particularmente en el crecimiento radicular. En cuanto al efecto de aumento de los valores de índice de verdor en hoja asociado al incremento de la concentración del inóculo sólido, este puede ser un indicador asociado al contenido relativo de nutrientes como el nitrógeno según lo descrito por Mendoza *et al.* (1998). Diversos autores concluyeron que el estado fenológico del cultivo influye también en los valores registrados por el medidor de clorofila, lo cual puede atribuirse a las variaciones en la actividad fisiológica de las hojas a lo largo del tiempo (Rodríguez *et al.*, 1998; Hurtado *et al.*, 2017; Novoa *et al.*, 2002). Por lo tanto, *C. samala* INTA-AR1 generó en las plantas de tomate una mejora en su estado nutricional, al menos evidenciado por el aumento en el índice de verdor. Futuros estudios deben realizarse para confirmar si este efecto es debido a la activación del metabolismo de nitrógeno de la planta y/o modula en forma específica la síntesis de clorofila a nivel foliar. El éxito en la producción del cultivo de tomate depende del estado fisiológico de las plántulas durante la etapa de vivero, ya que el trasplante posterior requiere ejemplares vigorosos que aseguren un adecuado establecimiento y desarrollo del cultivo (Balaguera *et al.*, 2008). La estimulación del desarrollo radicular inducida por *C. samala* INTA-AR1 podría resultar especialmente beneficiosa, dado que un sistema radicular robusto incrementa las probabilidades de éxito durante el trasplante.

Es importante destacar que hasta la fecha no existen registros sobre la producción de propágulos de hongos del género *Cladorrhinum* en granos de cereales, como arroz. Este sustrato sólido (Michel-Aceves *et al.*, 2008), es uno de los más utilizados para la obtención de propágulos de otros hongos filamentosos, como diferentes especies de los géneros *Beauveria* y *Trichoderma* (Martí *et al.*, 2021). Por lo tanto, éste es el primer reporte sobre la producción de inóculo del género *Cladorrhinum* bajo condiciones de fermentación sólida usando granos de arroz como sustrato.

## CONCLUSIÓN

La capacidad de *C. samala* INTA-AR1 para colonizar raíces de tomate y su impacto como promotor en el crecimiento de sus plántulas, tal como fue observado en parámetros vinculados con los niveles de verdor (relativo al estado nutricional de la plantas), son indicativos del valor potencial de esta cepa para el desarrollo de un biofertilizante para el cultivo de tomate, e inclusive para otras especies vegetales. Así, este estudio refuerza la actividad benéfica de esta especie fúngica en otras especies de plantas correspondientes a cultivos intensivos, y ofrece alternativas rentables para la producción de inóculo fúngico utilizando arroz como soporte.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada gracias a los recursos financieros derivados de los subsidios correspondientes al Proyecto de Incentivos a la Investigación (A344) de la Universidad Nacional de La Plata; CONICET (PIP 11220200100527CO) y FONCyT (PICT 2019-0207; PICT 2021 Aplicados CAT II 00036). Proyecto INTA PD I069.

## CONFLICTO DE INTERESES

No existen conflictos de intereses entre autores o con terceros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adedayo, A. A. y Babalola, O. O. (2023). Rhizosphere plant-growth-promoting fungi enhance the growth of crop plants. *Journal of Fungi* 9: 239.
- Balaguera H. E., Álvarez-Herrera, J. G. y Rodríguez, J. D. (2008). Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía Colombiana* 26 (2): 246-255. Retrieved April 29, 2025, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652008000200009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000200009&lng=en&tlng=es)

- Blancard, D. (2011). Enfermedades del tomate: Identificar, conocer y controlar. *Ediciones Mundi-Prensa*, Madrid (España)- Cuauhtémoc (México).
- Bohner, T. O. L., Araújo, L. E. B. y Nishijima, T. (2013). O impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. *Revista eletrônica do curso de direito da UFSM* 8: 329-341. URL <https://doi.org/10.5902/198136948280>
- Borda, F. y Arbeláez, G. (1993). Determinación del antagonismo del aislamiento T 95 de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* en plantas de pepino cohombro. *Agronomía Colombiana* 10: 45-51.
- Calabi-Floody, M., Medina, J., Rumpel, C., Condrón, L. M., Hernández, M., Dumont, M. y de La Luz Mora, M. (2018). Smart fertilizers as a strategy for sustainable agriculture. *Advances in Agronomy* 147: 119-157. URL <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.003>
- Carmarán, C. C., Berretta, M., Martínez, S., Barrera, V., Munaut, F. y Gasoni, L. (2015). Species diversity of *Cladorrhinum* in Argentina and description of a new species, *Cladorrhinum australe*. *Mycological Progress* 14: 1-11.
- Chojnacka, K., Skrzypczak, D., Szopa, D., Izydorzyc, G., Moustakas, K. y Witek-Krowiak, A. (2023). Management of biological sewage sludge: Fertilizer nitrogen recovery as the solution to fertilizer crisis. *Journal of Environmental Management* 326: 116602. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116602>
- Coronel, C., Alzugaray, C. y Bueno, M. (2017). Utilización de técnicas biotecnológicas para la multiplicación clonal de leñosas nativas de interés maderero y medicinal. XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Farias, C. P., Carvalho, R. C., Resende, F. M. L. y Azevedo, L. C. B. (2018). Consortium of five fungal isolates conditioning root growth and arbuscular mycorrhiza in soybean, corn, and sugarcane. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90 (4): 3649-3660. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180161>
- Gasoni, L. y Stegman de Gurfinkel, B. (1997). The endophyte *Cladorrhinum foecundissimum* in cotton roots. Effects on phosphorus uptake and host grow. *Mycological Research* 101 (7): 867-870.
- Gill, S. S., Gill, R., Trivedi, D. K., Anjum, N. A., Sharma, K. K., Ansari, M. W., ... y Tuteja, N. (2016). *Piriformospora indica*: potential and significance in plant stress tolerance. *Frontiers in Microbiology* 7: 332. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00332>
- Gopalan, N. R., Nikhil, P. T., Sharma, R. y Mohapatra, S. (2023). The use of microbes as a combative strategy for alleviation of abiotic and bio-

- tic stresses. *Unravelling Plant-Microbe Synergy* (pp 175-193). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99896-3.00010-2>
- Hernández-Valladares, N. L., Palemón-Alberto, F., Damián-Nava, A., Cruz-Lagunas, B., Herrera-Castro, N. D., Ortega-Acosta, S. Á., Jiménez, J. T. y Reyes-García, G. (2021). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y su efecto en ecotipos de tomate. *Revista fitotecnia mexicana* 44 (4): 581-589. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.581>
- Hossain, M. M., Sultana, F. y Islam, S. (2017). Plant growth-promoting fungi (PGPF): phytostimulation and induced systemic resistance. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives: Volume 2: Microbial Interactions and Agro-Ecological Impacts* (pp 135-191).
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E. y Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *Idesia (Arica)* 35 (4): 129-130. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017000400129>
- Kruskal W. H. y Wallis. W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583-621.
- Leventis, G., Tsiknia, M., Feka, M., Ladikou, E. V., Papadakis, I. E., Chatzispavlidis, I., Papadopoulou K. y Ehaliotis, C. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance growth of tomato under normal and drought conditions, via different water regulation mechanisms. *Rhizosphere* 19: 100394.
- Maciá-Vicente J. G., Jansson H. B. y Lopez-Llorca L. V. (2009). Assessing fungal root colonization for plant improvement. *Plant Signaling & Behavior* 4 (5): 445-447. <https://doi.org/10.4161/psb.4.5.8393>
- Maeso, D. y Walasek, W. (2012). Evaluación de métodos para desinfectar semillas de tomate contra cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*). *Agrociencia (Uruguay)* 16 (1): 134-142.
- Mamani de Marchese, A. y Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 38 (1): 9-21.
- Martí, A. S., Ferrer, A. S., Gómez, R. B. y Casacuberta, A. A. (2021). Producción de biopesticidas fúngicos: una alternativa para la valorización de residuos agroindustriales. *IndustriaAmbiente: Gestión Medioambiental y Energética* 33: 24-30.
- Martin, M., Saparrat, M. C. N., Barrera, V. A. y Gasoni, L. (2019). Mini-review: *Cladorrhinum* species, their diversity and application in biotechnology. *Nova Hedwigia* 108 (3-4): 489-503.
- Mendoza, M., González, G., Santelises, A., Etchevers Barra, J. y Santizó Rincón, J. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana* 16 (2): 135-141.
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M. A., Martínez-Rojero, R. D., Rodríguez-Morán, N. L., Ariza-Flores, R. y Barrios-Ayala, A. (2008). Producción masiva de *Trichoderma harzianum rifai* en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 14 (2): 185-191.

- Miranda, V., Silva-Castro, G. A., Ruiz-Lozano, J. M., Fracchia, S. y García-Romera, I. (2023). Fungal endophytes enhance wheat and tomato drought tolerance in terms of plant growth and biochemical parameters. *Journal of Fungi* 9 (3): 384.
- Mroginski, L. A. y Roca, M. W. (1991). Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales *in vitro*. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia* 19-40.
- Novoa, S. A. R. y Villagrán A. N. (2002). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62 (1): 166-171. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100017>
- Oliveros-Bastidas, A. D. J., Macías, F. A., Fernández, C. C., Marín, D. y Molinillo, J. M. (2009). Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. *Química Nova* 32: 198-213. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000100035>
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) (2016). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria. Recuperado de: [goo.gl/6E2TtQ](http://goo.gl/6E2TtQ).
- Pinheiro, J. C. y Bates, D. M. (2000). Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. *Springer science & business media*.
- Porto, J. S., de Queiroz Costa, R., Rebouças, T. N. H., Lemos, O. L., Luz, J. M. Q. y Amorim, F. (2014). Índice SPAD e crescimento do tomateiro em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Scientia Plena* 10 (11).
- Quinn, G. P. y Keough, M. J. (2002). Experimental Design y Data Analysis for Biologists. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806384>
- Răut, I., Călin, M., Capră, L., Gurban, A. -M., Doni, M., Radu, N. y Jecu, L. (2021). *Cladosporium* sp. isolate as fungal plant growth promoting agent. *Agronomy* 11 (2): 392. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020392>
- Rodríguez, R. J., White Jr., J. F., Arnold, A. E. y Redman, R. S. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist* 182 (2): 314-330. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>
- Ros, M., Medrano, L., Alguacil, M. del M., Alejandre, J., Del Rio, G., Sacristan, D., Delgado-Baquerizo, M., Sánchez-Rodríguez, A. R., Ochoa-Hueso, R. y Pascual, J. A. (2024). Bioindicadores para el monitoreo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del suelo. *Ciencia del Suelo* 42 (2). <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/867>
- Rothen, C., Miranda, V., Fracchia, S., Godeas, A. y Rodríguez, A. (2018). *Microdochium bolleyi* (Ascomycota: Xylariales): Physiological characterization and structural features of its association with wheat. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 53 (2): 1-10.
- Saccardo, P. A. y Marchal, E. L. (1885). Reliquiae mycologicae Westendorpianae. *Revue Mycologique Toulouse* 7: 140-149.

- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. D. C. y Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR). *Biology* 10 (6): 475. <https://doi.org/10.3390/biology10060475>
- Saparrat, M. C. N., Estevez J. M., Troncozo M. I., Arambarri, A. y Balatti, P. (2010). *In vitro* depolymerization of *Scutia buxifolia* leaf-litter by a dominant Ascomycota *Ciliochorella* sp. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64 (3): 262-266. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.02.001>
- Schulz, B. y Boyle, C. (2005). The endophytic continuum. *Mycological research* 109 (6): 661-686.
- Spagnoletti, F. N. y Chiocchio, V. M. (2020). Tolerance of dark septate endophytic fungi (DSE) to agrochemicals *in vitro*. *Revista Argentina de Microbiología* 52 (1): 43-49.
- Soval-Villa, M., Wood, C. W. y Guertal, E. A. (2002). Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form, and nighttime nutrient solution strength. *Journal of plant nutrition* 25 (10): 2129-2142.
- Valland, G. E. y Goodman, R. M. (2004). Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agriculture. *Crop Science* 44: 1920-1934.
- Waqar, S., Bhat, A. A. y Khan, A. A. (2023). Endophytic fungi: Unravelling plant-endophyte interaction and the multifaceted role of fungal endophytes in stress amelioration. *Plant Physiology and Biochemistry* 206: 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108174>
- Waqas, M., Khan, A. L., Kamran, M., Hamayun, M., Kang, S. -M., Kim, Y. -H. y Lee, I. J. (2012). Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes host-plant growth during stress. *Molecules* 17 (9): 10754-10773. <https://doi.org/10.3390/molecules170910754>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N. y Meesters, E. H. W. G. (2009). *A Beginner's Guide to R*. New York: Springer.