

# Nematodos fitoparásitos en la mira: explorando el potencial patogénico de los géneros *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* en soja en Paraguay

Plant parasitic nematodes in the spotlight: exploring the pathogenic potential of the genera *Helicotylenchus*, *Scutellonema*, and *Tylenchorhynchus* in soybean in Paraguay

Alejandro Gini-Alvarez<sup>1,2</sup>, Fernando Lugo<sup>1,2</sup>, Gabriela Caballero-Mairesse<sup>1,3</sup>, Guillermo Enciso-Maldonado<sup>3</sup>, Diego Bonussi<sup>4</sup>, Fernando Lombardo<sup>4</sup>, Víctor Lezcano<sup>4</sup>, Federico Barreto<sup>4</sup>, Linzy Espinoza<sup>4</sup> y Horacio López-Nicora<sup>1,5</sup>\*

<sup>1</sup> Universidad San Carlos. Clínica Vegetal. Asunción, Paraguay.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Asunción. Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas. Campus Universitario. San Lorenzo, Paraguay.

<sup>3</sup> Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica (CEDIT). Hohenau, Itapúa, Paraguay.

<sup>4</sup> Sustentap. Hohenau, Itapúa, Paraguay.

<sup>5</sup> The Ohio State University. Department of Plant Pathology. Columbus, OH, 43210, U.S.A.



doi 10.57201/IEUNA2313335

Sección: Artículo Original

\*Autor correspondiente:  
lopez-nicora.1@osu.edu

Editor de área:

Andrea A. Arrúa Alvarenga<sup>2</sup>,  
Universidad Nacional de  
Asunción. Centro Multidisciplinario  
de Investigaciones Tecnológicas  
(CEMIT). San Lorenzo, Paraguay

Recibido:

30 de abril de 2023

Aceptado:

30 de mayo de 2023

Recibido en versión modificada:

16 de junio de 2023

Este es un artículo publicado en  
acceso abierto bajo una Licencia  
Creative Commons "CC BY

4.0".

Declaración de conflicto: Los  
autores declaran no tener conflicto  
de intereses.

e-ISSN 2709-0817

Como citar: Gini- Alvarez, A.,  
Lugo, F., Caballero-Mairesse, G.,  
Enciso-Maldonado, G., Bonussi,  
B., Lombardo, F., Lezcano, V.,  
Barreto, F., Espinosa, L. & Lopez-  
Nicora, H. (2023). Nematodos  
fitoparásitos en la mira:  
explorando el potencial  
patogénico de los géneros  
*Helicotylenchus*, *Scutellonema* y  
*Tylenchorhynchus* en soja en  
Paraguay. *Revista  
investigaciones y estudios.-UNA*,  
14 (1), 34-43.

**Resumen.** La soja es considerada uno de los cultivos más importantes del mundo, de igual manera los nematodos son de suma importancia a nivel mundial por su capacidad de causar enfermedades. Los nematodos fitoparásitos de los géneros *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* han sido reportados en varias zonas de producción de soja. El presente estudio tuvo como objetivo, determinar el factor reproductivo de *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* en cultivos de soja. Se seleccionaron cuatro campos comerciales de soja, en Itapúa y Canindeyú, los cuales fueron nombrados parcela comercial 1, 2, 3 y 4. Dentro de estos campos, se procedió a tomar 10 muestras compuestas al inicio de la siembra (población inicial) y al momento de la cosecha (población final). Se evaluó el factor reproductivo (FR) para cada nematodo fitoparásito usando la prueba de *t* de Student y se comparó si FR era igual o menor a uno ( $H_0$ ) o mayor que uno ( $H_a$ ). El nematodo *Helicotylenchus* fue detectado en las cuatro parcelas, pero solo en las parcelas comerciales 3 y 4 el FR fue significativamente mayor a 1 (*P*-value). Se identificó la presencia de *Scutellonema* en las parcelas comerciales 1, 2 y 4 y el FR fue significativamente superior a 1 (*P*-value). *Tylenchorhynchus* fue identificado en las parcelas comerciales 2 y 3 y en ambos casos, el FR fue significativamente superior a 1. Por lo tanto, se comprobó que los géneros *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* se reproducen en campos asociados al cultivo de soja, por lo que pueden ser considerados posibles patógenos de este cultivo en Paraguay.

**Palabras clave:** *Scutellonema*, *Helicotylenchus*, *Tylenchorhynchus*, Soja, Factor Reproductivo.

**Abstract.** Soybean is considered one of the most important crops in the world, and nematodes are equally important globally due to their ability to cause diseases. Phytoparasitic nematodes of the genera *Helicotylenchus*, *Scutellonema*, and *Tylenchorhynchus* have been reported in several soybean production areas. This study aimed to determine the reproductive factor of *Helicotylenchus*, *Scutellonema*, and *Tylenchorhynchus* in soybean crops. Four commercial soybean fields were selected in Itapúa and Canindeyú, which were named commercial plot 1, 2, 3, and 4. Within these fields, 10 composite samples were taken at the beginning of planting (initial population) and at harvest time (final population). The reproductive factor (RF) for each phytoparasitic nematode was evaluated using the Student's t-test, comparing if the RF was equal to or less than one ( $H_0$ ) or greater than one ( $H_a$ ). *Helicotylenchus* nematode was detected in all four plots, but only in commercial plots 3 and 4, the RF was significantly higher than 1 (*P*-value). The presence of *Scutellonema* was identified in commercial plots 1, 2, and 4, and the RF was significantly higher than 1 (*P*-value). *Tylenchorhynchus* was identified in commercial plots 2 and 3, and in both cases, the RF was significantly higher than 1. Therefore, it was confirmed that the genera *Helicotylenchus*, *Scutellonema*, and *Tylenchorhynchus* reproduce in soybean-associated fields, making them potential pathogens of this crop in Paraguay.

**Keywords:** *Scutellonema*, *Helicotylenchus*, *Tylenchorhynchus*, Soybean, Reproductive Factor.

## Introducción

La soja (*Glycine max* [L.] Merrill) es actualmente el rubro de mayor importancia del Paraguay, para la zafra 2021/2022 se registró un área de siembra de más de 3 millones de hectáreas, con una producción de más de 9 millones de toneladas (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas [CAPECO], 2022). En Paraguay, este cultivo genera ingresos de más de USD 3.000 millones, los cuales constituyen aproximadamente el 17 % del producto interno bruto (PIB) y 55,6 % de las exportaciones (Banco Central del Paraguay [BCP], 2022), además que una disminución del 15 % de las exportaciones del complejo soja, provocaría una caída del PIB en 1,04 %. (Carosini et al., 2020; Morínigo Aguayo et al., 2018). En este contexto, el conocimiento de los patógenos que afectan a los campos de cultivo de soja es fundamental, ya que cualquier patógeno que afecte la producción podría tener un impacto directo en la economía del país.

Entre estos patógenos, los nematodos están clasificados como fitoparásitos muy importantes a nivel mundial, ya que pueden ocasionar pérdidas en la productividad y rentabilidad del cultivo de soja (Machado et al., 2019a). Los factores edafoclimáticos relativos a la estructura de las comunidades de nematodos como la humedad (40-80 %), la temperatura (15-30 °C) y el pH (5-7) son fundamentales para el crecimiento de las poblaciones (Griffiths et al., 2003). Los nematodos parásitos mayormente asociados a la soja son, el nematodo de la agalla (*Meloidogyne* spp.), *Pratylenchus brachyurus*, el nematodo del quiste de la soja (*Heterodera glycines*) y el nematodo reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2013; Machado et al., 2019b), sin embargo, otros nematodos, como *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* son considerados como potenciales patógenos para la soja (Machado, 2014). Los dos primeros han sido reportados en varias zonas productoras de maíz y pueden adaptarse a cultivos anuales en sistemas de monocultivos (Lopes, 2015; Taylor, 1960, Niblack, 1992). En los años 90 se señalaba que la soja es un huésped de *Helicotylenchus* y que su elevada cantidad tiene el potencial de ser dañina para otros cultivos como el maíz (Niblack, 1992). En los últimos años, la presencia de estos nematodos ha aumentado en las plantaciones de soja, convirtiéndose en posibles patógenos de la soja y otros cultivos del sistema productivo de la soja (Favoreto et al., 2019).

La presencia y abundancia de nematodos en el suelo se puede medir a través de la determinación del factor reproductivo ( $FR = \text{población final [Pf]} / \text{población inicial [Pi]}$ ), resulta ser un método aplicable. Una planta huésped se considera apta para los nematodos fitoparásitos cuando el nematodo puede multiplicarse en ella, y así, la idoneidad de un huésped se determina mediante el FR, por consiguiente, permite determinar la resistencia o susceptibilidad de un hospedero específico a un nematodo específico (Anwar & McKenry, 2010). De esta manera, un  $FR > 1$  indica que el huésped permitió la reproducción del nematodo en cuestión. Un  $FR < 1$  indicaría que el cultivo no es un huésped adecuado o que el manejo o tratamiento implementado redujo la población del nematodo al final de la temporada.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, especies de nematodos que anteriormente eran de segunda importancia han aumentado su potencial de convertirse en patógenos de la soja debido al incremento de su reproducción. Esto está ligado a la falta de manejo de estos nematodos como también, debido a la poca información relacionada a la reproducción de estos nematodos en la soja. El objetivo del trabajo fue determinar

la reproducción mediante el factor reproductivo de *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* en el cultivo de soja.

## Materiales y métodos

### Muestreo de suelo

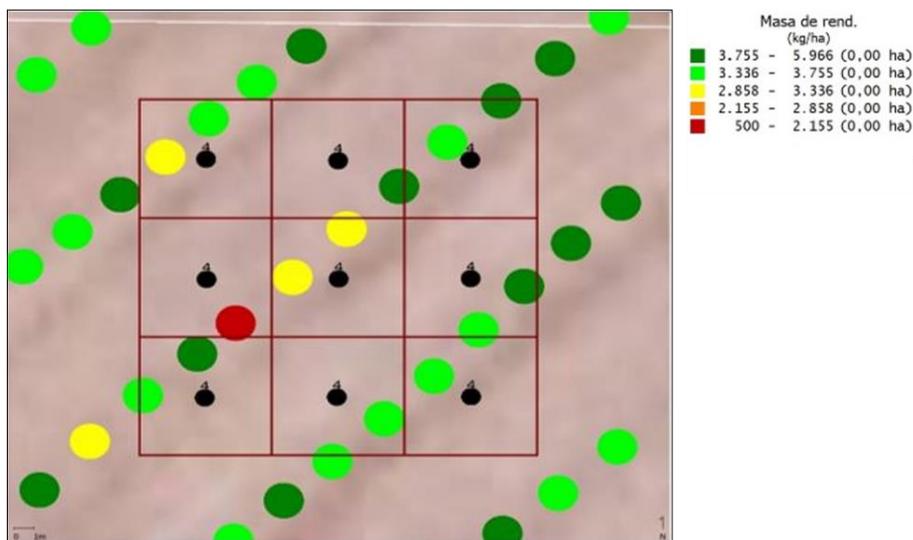
La presente investigación se realizó en parcelas de producción de soja en fincas de agricultores, parcela comercial (PC). Estas se encuentran en los distritos de Jesús (PC 1, 53 ha), Bella Vista (PC 2, 104 ha) e Itapúa Poty (PC 4, 58 ha), localidades del departamento de Itapúa, y en el distrito de Curuguaty (PC 3, 168 ha), departamento de Canindeyú. Las variedades cultivadas fueron Soja Var. DM 62R63 (Jesús), Soja Var. DM 62R63R (Bella Vista), Soja Var. Great 5R47 (Itapúa Poty) y Soja – Nidera (Curuguaty).

Durante el mes de octubre de 2020, al momento de la siembra, sobre los mapas de cosecha de cada PC fueron distribuidos 10 puntos de muestreo georreferenciados (Figura 1), en celdas de muestreo de 400 m<sup>2</sup> (20 m × 20 m), cada una con 9 submuestras ubicadas en forma equidistante dentro de la celda de muestreo (Figura 2), tomadas con un calador de suelo a profundidades de 0-20 cm (López-Nicora et al., 2021), lo que resultó en la recolección de un total de 40 muestras de suelo durante la siembra (población inicial de nematodos). Durante el año 2021, al momento de la cosecha, otras 40 muestras (población final de nematodos) fueron recolectadas dentro de las mismas celdas de muestreo.

Luego, las muestras se colocaron en bolsas plásticas con las etiquetas correspondientes y se trasladaron a la Clínica Vegetal de la Universidad San Carlos, localizada en la ciudad de Asunción. Allí se almacenaron en un refrigerador a 4 °C hasta el momento de su procesamiento.



**Figura 1.** Zonas afectadas por nematodos PC 2 (A). Puntos de muestreo PC 1, PC 4, PC 2 (B, C, D). Muestreo con calador de suelo (E). Muestras listas para envío (F).



**Figura 2.** Celda de muestreo de 400 m<sup>2</sup> sobre datos georreferenciados de cosecha. Los puntos de colores representan el rendimiento de las parcelas. Los puntos en el centro de las celdas representan las submuestras tomadas.

### Extracción, identificación y cuantificación de nematodos

Para el procesamiento de las muestras, cada muestra de suelo fue homogeneizada, rompiendo manualmente los terrones de tierra aglomerados, mezclando uniformemente hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, la extracción de los nematodos fue realizada a partir de 100 cm<sup>3</sup> de suelo por medio de la técnica de flotación-centrifugación adaptada de Jenkins (1964).

Para determinar la población inicial y final de nematodos (nematodos/cm<sup>3</sup> de suelo), los mismos fueron identificados a nivel de género y cuantificados con un microscopio invertido (Olympus CKX53, Tokio, Japón) a 40× de magnificación.

Se determinó el factor reproductivo de los géneros *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus*, mediante la fórmula de Oostenbrink (1966):

$$FR = Pf/Pi$$

donde FR (Factor Reproductivo), Pi (Población inicial) y Pf (Población final)

### Análisis de datos

La prueba de *t Student* de una cola con un nivel de significancia al 5 %, en donde se estableció la hipótesis, donde  $H_0 \leq 1$  y  $H_a > 1$  para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias del FR. Para realizar la prueba de *t* se utilizó el software R versión 1.2.1335 (RStudio Team, 2018). Para datos del factor reproductivo, se aplicó una transformación  $\log(x+1)$ , para estabilizar la varianza y generar una distribución normal. A partir de todos estos datos, el software devolvió un valor *P* el cual fue comparado con el nivel de significancia.

### Resultados

En cuanto a las poblaciones del nematodo *Helicotylenchus* en las diferentes zonas de cultivo de soja evaluadas, se registró tanto la población inicial (Pi) como la población final (Pf) de nematodos en cada zona. En promedio, se encontró que la Pi osciló entre 25 y 138 nematodos/cm<sup>3</sup>, mientras que la Pf osciló entre 0 y 301

nematodos/cm<sup>3</sup>. Estos resultados sugieren que las poblaciones de nematodos son altamente variables entre las diferentes zonas de cultivo analizados.

Como indica la Figura 3.A, la mayoría de las poblaciones de nematodos experimentaron un aumento significativo en su factor reproductivo, lo que indica una alta tasa de reproducción de estas poblaciones. En particular, los mayores valores de FR fueron registrados en las zonas de Bella Vista y Curuguaty, con un promedio de 4,6 y 4,1, respectivamente. Por otro lado, las poblaciones de la zona de Itapúa Poty registraron en promedio un FR más bajo de 1,8.

En Curuguaty e Itapúa Poty un aumento significativo en el FR de *Helicotylenchus*. El FR en las localidades de Jesús y Bella Vista no fue significativamente mayor a 1 en las poblaciones de *Helicotylenchus*, por lo que no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0 \leq 1$ ).

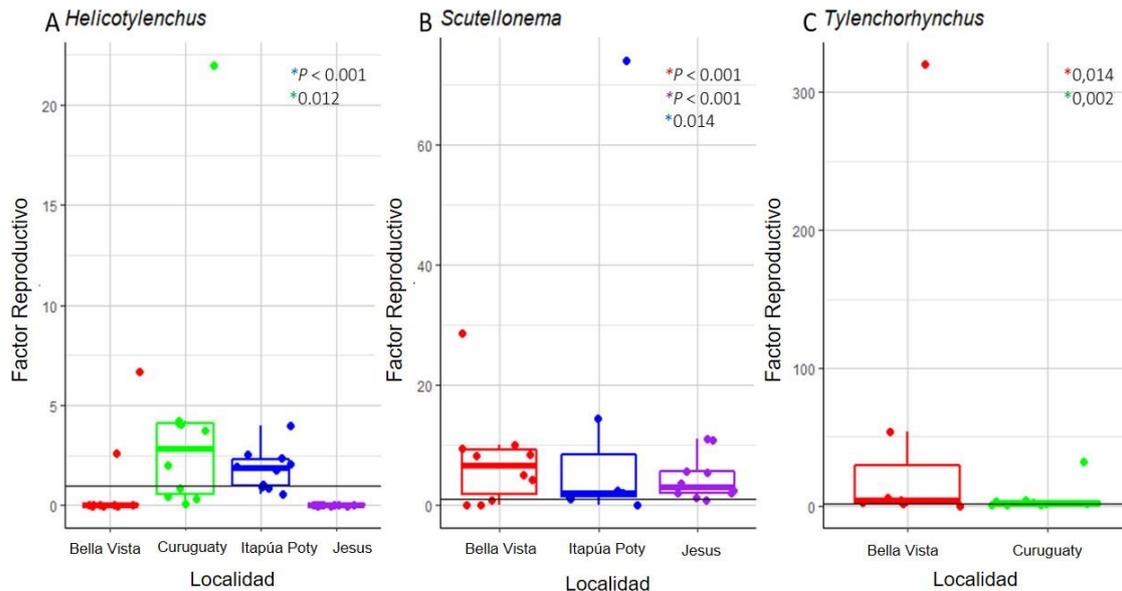
En lo referente a las poblaciones de *Scutellonema* en tres localidades diferentes, se observó una amplia variabilidad en las poblaciones iniciales y finales de nematodos en cada localidad, con un rango de 4 a 1250 nematodos/cm<sup>3</sup> y de 30 a 380 nematodos/cm<sup>3</sup>, respectivamente. El promedio de la población inicial fue de 215 nematodos/cm<sup>3</sup>, mientras que el promedio de la población final fue de 763 nematodos/cm<sup>3</sup>. En cuanto a la tasa de reproducción, se registró una variabilidad significativa entre las localidades, con valores que oscilaron entre 0,85 y 14,05.

En las localidades de Jesús, Bella Vista e Itapúa Poty se observaron significativos aumentos en la tasa de reproducción ( $P < 0,05$ ). Por otra parte, en Curuguaty no se identificó la presencia de *Scutellonema* (Figura 3.B).

Las poblaciones iniciales de *Tylenchorhynchus*, en Bella Vista, variaron entre 6 y 68 nematodos/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 21 nematodos/cm<sup>3</sup>, mientras que en Curuguaty se reportaron valores de entre 4 y 602 nematodos/cm<sup>3</sup>, con una media de 129 nematodos/cm<sup>3</sup>. En cuanto a las poblaciones finales, valores máximos de 320 y 350 nematodos/cm<sup>3</sup> fueron exhibidos en Bella Vista y Curuguaty, respectivamente. Ambas localidades registraron una población final media de 112 nematodos/cm<sup>3</sup>, en Bella Vista y 120 nematodos/cm<sup>3</sup>, en Curuguaty.

Los resultados apuntan que en ambas localidades se observó una reproducción significativa de la especie *Tylenchorhynchus*, con un factor de reproducción que osciló entre 5 y 38 en promedio.

En las localidades de Bella Vista y Curuguaty se observó un  $P < 0,05$  (Figura 3.C), indicando que los nematodos se están reproduciendo en dichas localidades. No obstante, en Jesús, solo se detectó en un punto la presencia de *Tylenchorhynchus* y en Curuguaty no se detectó la presencia de este nematodo.



**Figura 3.** Factor reproductivo de nematodos fitoparásitos en parcelas comerciales de soja evaluadas en Paraguay. A. Género *Helicotylenchus*. B. Género *Scutellonema*. C. Género *Tylenchorhynchus*. Línea (negra) horizontal representa factor reproductivo igual a uno. Las cajas representan la distribución de los datos del FR. La barra entre las cajas representa el promedio de los datos. En los asteriscos se observan los valores de  $P$  obtenidos en la prueba de  $t$ .

## Discusión

Los resultados obtenidos indican la reproducción de los nematodos *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* en campos de soja de las parcelas comerciales evaluadas. En áreas productoras de soja en Carolina del Sur (Estados Unidos), se observó que *Helicotylenchus* y *Scutellonema* fueron los géneros más frecuentes en el 70 % de las muestras, mientras que *Tylenchorhynchus* estuvo presente en el 40 % de las muestras (Lewis et al., 1993). En zonas de producción de soja de Sudáfrica, se reportó la presencia de *H. dihystra* y *S. brachyurus* en el 78 y 71 % de las muestras, respectivamente (Fourie et al., 2001). En campos de producción de soja orgánica en Minnesota, se detectó la presencia de *Helicotylenchus* en el 42 % de las muestras y *Tylenchorhynchus* en el 9 % de las muestras (Chen et al., 2012). En Mato Grosso (Brasil), se encontró la presencia de *H. dihystra* en el 92 % de las 3.000 muestras analizadas (Fundação Rio Verde, 2014). Además, esta especie fue detectada en el 78 % de las muestras recolectadas en campos de soja en el estado de Rio Grande do Sul, en el 47 % de las muestras recolectadas en el estado de Goiás y en el 59 % de las muestras recolectadas en el estado de Paraná. (Silva 2007, Baida et al., 2015a, Kirsch et al., 2016).

El género *Scutellonema* fue reportado en diversas regiones de los estados de Paraná, Mato Grosso do Sul y Maranhão, Brasil, con densidades poblacionales superiores a 5.000 por 100 cm<sup>3</sup> de suelo y aún mayores en 10 g de raíces (Maceda et al., 2009). Específicamente en el Estado de Paraná, *Scutellonema* fue identificado en el 23 % de las muestras colectadas en campos de soja (Baida et al., 2015b). Se han descubierto nuevas especies del género *Tylenchorhynchus* en cultivos importantes de EE.UU. y España, lo que demuestra una gran diversidad en este género. Sin embargo, la identificación precisa de estas especies es difícil (Handoo et al., 2014). Ya en la

década de 1980, en campos de soja en Egipto, se registró la presencia del nematodo *Tylenchorhynchus clarus* y se realizaron experimentos para controlarlo químicamente (Aboul-Eid & Osman, 1981). En la década de 1990, se reportó la presencia de que *Tylenchorhynchus* en el 62 % de los campos de soja en Carolina del Norte, EE.UU. (Koenning & Barker, 1998). En Paraguay, el nematodo *Helicotylenchus* ya ha sido observado en varias fincas de producciones de soja en los departamentos de Itapúa y Canindeyú, de igual manera la presencia de *Scutellonema* (453 especímenes/cm<sup>3</sup>) se ha detectado en zonas productoras de soja, en el distrito de Bella Vista. (Pedrozo, 2008).

*Helicotylenchus* se reprodujo en las parcelas evaluadas de Curuguaty e Itapúa Poty. Esto coincide con Norton (1977) quien realizó un experimento en invernadero y determinó la susceptibilidad de la soja a *H. pseudorobustus* observando que en la mayoría de los cultivares de soja hubo FR superior a 1. Yan et al., (2017) inocularon en condiciones de invernadero dos cultivares de soja, Sheyenne y Barnes, y encontraron que la densidad poblacional de nematodos, determinada vía FR, fue incrementada. Así mismo, Neto (2019) identificó a *H. dihystra* en suelos de cultivos de soja y comprobó que se reproducen, obteniendo un FR de 1,41 de media. Los resultados de Machado et al., (2019a) mostraron que *H. dihystra* se multiplica en soja cv. Potência con un FR de 2,33, similar a la hallada en el distrito de Itapúa Poty. Estos autores también observaron lesiones radiculares, considerando a este nematodo como un patógeno potencial para la soja. Por último, Gardiano-Link et al., (2022), reportaron un FR mayor a 1 en varios experimentos sobre el manejo de estos nematodos.

En el caso del género *Scutellonema*, se concluye que el mismo se reproduce en campos de soja en todas las parcelas comerciales donde fue identificado. Esto coincide con Machado et al. (2019a) quienes en su experimento en un invernadero comprobaron que *Scutellonema* se multiplicó y causó lesiones en las raíces. Además, *Scutellonema* es considerado como un patógeno potencial para la soja, por su propagación en las regiones productoras de soja y el incremento en las densidades de las poblaciones (Lima et al. 2009; Machado et al. 2019b). En un experimento similar, Machado et al. (2015b) evaluaron el FR de plantas de soja cv. TMG115RR, en las cuales *S. brachyurus* fue capaz de reproducirse tanto en el suelo como en la raíz, con un FR de 2,77 generando lesiones en la raíces, similares a las que produce *P. brachyurus*. Asimismo, Soares & Santos (2009) en un experimento realizado en invernadero evaluaron la resistencia de cultivares de soja convencionales y transgénicas, obteniendo un FR > 1 en cuatro cultivares, a los cuales consideró susceptibles a *Scutellonema*. Finalmente, Kraus & Lewis (1979) demostraron que la soja es un buen hospedero con un FR de 3,7, para el nematodo *Scutellonema* y Germani (1981) evidenció la patogenicidad de *S. cavenessi*, al demostrar que reducía el crecimiento temprano de la soja y que las raíces mostraban síntomas de necrosis.

En cuanto a *Tylenchorhynchus*, este se reprodujo en Bella Vista y Curuguaty. Esto coincide con Yan et al., (2018), quienes en un experimento en invernadero y en muestras de suelo que contenían 600 nematodos por kg de planta de la variedad Sheyenne, registraron un FR de 3,26, por lo que se determinó que *Tylenchorhynchus* es capaz de infectar a la soja. Coincidentemente el FR promedio reportado en el distrito de Curuguaty fue de 5,2. Igualmente, Venditti & Noel (1994) en un experimento en invernadero en el que inocularon 5000 nematodos a plantas de *Glycine max* cv. Bragg (soja), la población de *T. zambiensis* aumentó y lo consideraron como un buen hospedero con un FR que rondó entre 10,1 y 20.

Como se ha observado *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* son nematodos que en los últimos años han tenido un incremento de sus poblaciones y frecuencias en las zonas de cultivo de soja, además de tener la capacidad de producir lesiones en la raíz. De acuerdo a Machado et al., (2019a) esto puede deberse a la plasticidad de los nematodos, ya que estos habrían desarrollado un hábito endoparásito migratorio con el objetivo

de adaptarse a los sistemas de cultivo impuestos por la agricultura intensificada. La presencia tanto de *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* ya se ha reportado en las mayores zonas de soja del país (Pedrozo, 2008), por lo que estos nematodos pueden representar un peligro para los campos de soja.

Es oportuno destacar que en los distritos de Jesús y Bella Vista se han utilizado la misma variedad y afrontan condiciones climáticas similares. El empleo de estas variedades ha suscitado una posible susceptibilidad frente a determinados tipos de nematodos, lo que amerita que se proceda a verificaciones adicionales en futuras investigaciones, que aborden específicamente los factores climáticos y edafoclimáticos en relación con los nematodos en los suelos de cultivo de soja, así como las pruebas de patogenicidad.

## Conclusiones

Los géneros *Helicotylenchus*, *Scutellonema* y *Tylenchorhynchus* fueron identificados en diferentes parcelas comerciales en los departamentos de Itapúa y Canindeyú, con valores de FR que indican la capacidad de estos nematodos para reproducirse. Es necesario seguir monitoreando la presencia de nematodos en campos de soja, con la finalidad de determinar los daños que puedan ocasionar, así como también para establecer prácticas de manejo de nematodos con el objetivo de reducir su impacto en la producción de soja. De igual forma, se recomienda efectuar análisis profundos del material genético de la planta y su potencial de resistencia frente a estos organismos patógenos.

## Contribución de autores

**Concepción del estudio:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., H.L.-N **Diseño del experimento:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., F.L., V.L., F.B., L.E., H.L.-N **Ejecución del experimento:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., F.L., V.L., F.B., L.E., H.L.-N **Verificación del experimento:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., F.L., V.L., F.B., L.E., H.L.-N **Análisis/interpretación de datos:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., F.B., L.E., H.L.-N **Análisis estadísticos:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., H.L.-N **Preparación del manuscrito:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., H.L.-N **Edición y revisión del manuscrito:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., V.L., F.B., L.E., H.L.-N **Aprobación de la versión final del manuscrito:** A.G.A., F.L., G.C.-M., G.E.-M., D.B., F.L., V.L., F.B., L.E., H.L.-N.

**Fuente de Financiamiento.** Sin financiamiento externo.

## Referencias Bibliográficas

- Aboul-Eid, A. H., & Osman, H. A. (1981). Control of *Tylenchorhynchus clarus* on soybean with systemic nematicides. *Nematologia Mediterranea*, 9, 105–107.  
<https://journals.flvc.org/nemamedi/article/view/85390>
- Anwar, S. A., & McKenry, M. V. (2010). Incidence and reproduction of *Meloidogyne incognita* on vegetable crop genotypes. *Pakistan Journal of Zoology*, 42, 135–141.
- Baida F. C., Stroze C. T., Machado A. C. Z., & Amaro P. M. (2015<sup>a</sup>). Ocorrência de *Helicotylenchus dihystera* em cultivo de soja no Paraná. *Memoria del XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia, 15 a 19 de junio de 2015* (pp.89). Londrina, Estado de Parana, Brasil. <http://nematologia.com.br/wp-content/uploads/2015/06/anaisc3bn32.pdf>

- Baida F. C., Stroze C. T., Machado A. C. Z., & Amaro P. M. (2015b) Incidência de *Scutellonema brachyurus* em três regiões produtoras de soja no Paraná. *Memoria del XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia, 15 a 19 de junio de 2015* (p.88). Londrina, Estado de Parana, Brasil <http://nematologia.com.br/wp-content/uploads/2015/06/anaiscbn32.pdf>
- Banco Central del Paraguay. (2022). Anexo Estadístico del Informe Económico - BCP. <https://www.bcp.gov.py/anexo-estadistico-del-informe-economico-i36>
- Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas. (2022). Área de Siembra, Producción y Rendimiento - soja . <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Carosini Ruíz Díaz, A. L., Barrios Leiva, O. S., Nakayama Nakashima, H. D., Garcete Ecurra, G., Achinelli Báez, M., Cabral López, A., Olmedo Barchello, S, Báez Martínez, J. F., & Morínigo Aguayo, J. D. (2020). Impacto Económico de la Aprobación de la Soja Transgenica en el Paraguay. San Lorenzo, PY: Universidad Nacional de Asunción. 132 p. [https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload\\_editores/u294/LIBRO-soja-ECO\\_UNA-2020-FEBRERO.pdf](https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u294/LIBRO-soja-ECO_UNA-2020-FEBRERO.pdf)
- Chen, S. Y., Sheaffer, C. C., Wyse, D. L., Nickel, P., & Kandel, H. (2012). Plant-parasitic Nematode Communities and Their Associations with Soil Factors in Organically Farmed Fields in Minnesota. *Journal of nematology, 44*, 361-369.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). Tecnologias de Produção de Soja. Sistemas de Produção. [http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/central\\_2005.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/central_2005.pdf).)
- Favoreto, L., Meyer, M. C., Dias-Arieira, C. R., Cristina, A., & Machado, Z. (2019). Diagnose e manejo de Fitonematoides Na Cultura Da Soja. *Informe Agropecuário, 40*(306), 18–29.
- Fourie, H., McDonald, A. H., & Loots, G. C. (2001). Plant-parasitic nematodes in field crops in South Africa. *Nematology, 3*(5), 447–454. doi:10.1163/156854101753250773
- Fundação Rio Verde. (2014). Levantamento populacional de espécies de nematoides na cultura da soja na região do médio norte de Mato Grosso, 2013–2014. [www.fundacaorioverde.com.br/publicacoes/68](http://www.fundacaorioverde.com.br/publicacoes/68).
- Gardiano-Link, C. G., de Melo Santana-Gomes, S., Kluge, E. R., Feksa, H. R., da Rosa Kluge, F. T., & Dias-Arieira, C. R. (2022). Management systems for nematode control in soybean fields in south-central Paraná, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 57*, 25-26. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02526>
- Germani, G. (1981). Pathogenicity of the nematode *Scutellonema cavenessi* on peanut and soybean. *Revue Nématol, 4*(2), 203–208.
- Griffiths, B., Neilson, R. & Bengough, A. G. (2003). Soil factors determined nematode community composition in a two year pot experiment. *Nematology, 5*(6), 889–897.
- Kirsch, V. G., Kulczynski, S. M., Bauer Gomes, C., Calderan Bisognin, A., Gabriel, M., Bellé, C., Lima-Medina, I., Kulczynski, S. M., Gomes, C. B., Bisognin, A. C., Gabriel, M., Bellé, C., & Lima-Medina, I. (2016). Caracterização de espécies de *Meloidogyne* e de *Helicotylenchus* associadas à soja no Rio Grande do Sul. *Nematropica, 46*(2), 197–208. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/90812>
- Handoo, Z. A., Palomares-Rius, J. E., Cantalapiedra-Navarrete, C., Liébanas, G., Subbotin, S. A., & Castillo, P. (2014). Integrative taxonomy of the stunt nematodes of the genera *Bitylenchus* and *Tylenchorhynchus* (Nematoda, Telotylenchidae) with description of two new species and a molecular phylogeny. *Zoological Journal of the Linnean Society, 172*(2), 231–264. <https://doi.org/10.1111/zoj.12175>
- Jenkins, W. R. (1964). A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter, 48*(9), 692.
- Koenning, S. R., & Barker, K. R. (1998). Survey of *Heterodera glycines* Races and Other Plant-parasitic Nematodes on Soybean in North Carolina. *Journal of Nematology, 30*(4), 569. [/pmc/articles/PMC2620330/?report=abstract](https://pmc/articles/PMC2620330/?report=abstract)
- Kraus, H., & Lewis, S. (1979). *Scutellonema brachyurum*: Host Plants and Pathogenicity on Cotton. *Plant Disease Reporter, 63*(8), 688–691. [https://books.google.com.py/books?hl=es&lr=&id=AD4iadwANmYC&oi=fnd&pg=PA688&dq=scutellonema+reproductive+factor+in+soybean&ots=E-N46Nm6ne&sig=2qcx-1bKBBa4Cbk4x9s7K\\_Qf0Fg&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.py/books?hl=es&lr=&id=AD4iadwANmYC&oi=fnd&pg=PA688&dq=scutellonema+reproductive+factor+in+soybean&ots=E-N46Nm6ne&sig=2qcx-1bKBBa4Cbk4x9s7K_Qf0Fg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Lewis, S. A., Drye, C. E., Saunders, J. A., Shipe, E. R., & Halbrendt, J. M. (1993). Plant-parasitic Nematodes on Soybean in South Carolina. *Journal of Nematology, 25*(4), 890. [/pmc/articles/PMC2619450/?report=abstract](https://pmc/articles/PMC2619450/?report=abstract)
- Lima, F. S. O, Nogueira, S. R, Lima Neto, A. F., Cares, J. E, Furlanetto C., & Dias, T. S. (2009). Ocorrência de *Tubixaba* sp. em lavouras comerciais de soja no estado do Tocantins. *Tropical Plant Pathology, 34*, 207.
- Lopes, C. M. L. (2015). Populações de nematoides fitoparasitas em áreas de cultivo de soja, algodão, café e de vegetação nativa do Cerrado na região Oeste da Bahia. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília. Brasília.
- López-Nicora, H. D., Soilán-Duarte, L. C., Caballero-Mairesse, G. G., Grabowski-Ocampos, C. J., & Enciso-Maldonado, G. A. (2021). *Manual de nematología agrícola: bases y procedimientos*. Asunción, PY: Grupo Editorial Atlas. 90 p. <https://doi.org/10.53997/DFXA5914>

- Maceda A., Silva J. F., Dias W. P., Santos J. M., Soares P. L. M., Marcondes, M. C. (2009). Ocorrência de *Scutellonema brachyurus* Andrassy em soja no Brasil. Em *Memoria de II International Congress of Tropical Nematology, 4 a 9 de junio de 2009* (pp. 347). Maceió, Brasil. [https://nematologia.com.br/files/revnb/33\\_4.pdf](https://nematologia.com.br/files/revnb/33_4.pdf)
- Machado, A. C. Z., Amaro, P. M., & Da Silva, S. A. (2019a). Two novel potential pathogens for soybean. *PLoS ONE*, *14*(8), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221416>
- Machado, A. C. Z., da Silva, S. A., & Ferraz, L. C. C. B. (2019b). *Métodos em nematologia agrícola*. Piracicaba, Brasil: Sociedade Brasileira de Nematologia. 184 p. <https://nematologia.com.br/files/livros/book5.pdf>
- Machado, A. C. Z. (2014). Current nematode threats to Brazilian agriculture. *Current Agricultural Science and Technology*, *20*(1), 26–35. <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/3737>
- Machado, A. C. Z., Dorigo, O.F., Silva, S.A., Amaro, P.M. (2015a). Parasitismo de *Helicotylenchus dihystera* nas culturas da soja e milheto. *Memoria del XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia, 15 a 19 de junio de 2015* (p.89). Londrina, Estado de Parana, Brasil. <https://nematologia.com.br/files/anais/2015/Anais - 32 CBN - 2015.pdf>
- Machado, A. C. Z., Dorigo, O. F., Silva, S. A., & Amaro, P.M. (2015b). Parasitismo de *Scutellonema brachyurus* na cultura da soja. *Memoria del XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia, 15 a 19 de junio de 2015* (p.162). Londrina, Estado de Parana, Brasil. <https://nematologia.com.br/files/anais/2015/Anais - 32 CBN - 2015.pdf>
- Morínigo Aguayo, J., Achinelli Báez, M., & Barrios Leiva, O. (2018). La soja en el Paraguay. Una aproximación a la cuantificación económica. Periodo 1994-2016. *Población y Desarrollo*, *24*(46), 24–36. [https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2018.024\(46\).024-036](https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2018.024(46).024-036)
- Neto, L. J. T. (2019). *Correlação espacial da resistência do solo à penetração e densidade populacional de nematoides na cultura da soja*. (Tesis de maestria). Instituto Federal Goiano. [https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos\\_1/2019-12-03-12-26-22Lauro%20Joaquim%20Tiago%20Neto.pdf](https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_1/2019-12-03-12-26-22Lauro%20Joaquim%20Tiago%20Neto.pdf)
- Niblack, T. L. (1992). *Pratylenchus*, *Paratylenchus*, *Helicotylenchus*, and other nematodes on soybean in missouri. *Journal of Nematology*, *24*(4), 738–744.
- Norton, D. C. (1977). *Helicotylenchus pseudorobustus* as a pathogen on corn, and its densities on corn and soybean. *Iowa State Journal of Research*, *(51)*, 279–285.
- Pedrozo, L. (2008). *Nematodos del cultivo de soja en Paraguay*. Caacupé, PY: MAG-DIA-IAN/INBIO. 32 p. <https://www.inbio.org.py/informes/publicaciones/Nematodos-del-cultivo-de-soja-en-Paraguay.pdf>
- Oostenbrink, M. (1966). Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Meded Landbouww, Wageningen*, *(66)*, 446.
- RStudio Team. (2018). *RStudio: Integrated Development for R (1.2.1335)*. RStudio, Inc. <http://www.rstudio.com/>
- Silva, F. C. (2007). *Levantamento de fitonematoides nas culturas de soja e milho no município de Jataí-GO*. (Tesis de maestria). Universidade Federal de Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12254/1/FGSilvaDISPRT.pdf>
- Soares, P. L. M., & Santos, J. (2009). Resistance of soybean cultivars to *Scutellonema brachyurus*. En XXVIII Congresso Brasileiro de Nematologia, *Memoria de II International Congress of Tropical Nematology, 4 a 9 de junio de 2009* (pp. 318). [https://nematologia.com.br/files/revnb/33\\_4.pdf](https://nematologia.com.br/files/revnb/33_4.pdf)
- Taylor, D. P. (1960). Host range study of the spiral nematode. *Helicotylenchus microlobus*. *Plant Disease Reporter* *44*, 747-750.
- Venditti, M., & Noel, G. (1994). Comparative host suitability of selected crop species for *Tylenchorhynchus zambiensis*. *Nematropica*, *25*(1), 15-25. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/64116>
- Yan, G. P., Plaisance, A., Huang, D., & Handoo, Z. A. (2018). First report of a new stunt nematode *Tylenchorhynchus* sp. from a soybean field in North Dakota. *Plant Disease*, *102*(2), 453. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-17-0616-PDN>
- Yan, G., Plaisance, A., Huang, D., & A. Handoo, Z. (2017). First Report of the Spiral Nematode *Helicotylenchus microlobus* Infecting Soybean in North Dakota. *Journal of Nematology*, *49*(1), 1–1. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-039>