

Artículo original

Efecto del nematodo foliar (*Aphelenchoides pseudobesseyi*) en el crecimiento y producción del fríjol (*Phaseolus vulgaris*) en Colombia

Effect of the foliar nematode (*Aphelenchoides pseudobesseyi*) on the growth and production of beans (*Phaseolus vulgaris*) in Colombia

✉ Óscar Adrián Guzmán-Piedrahita*, ✉ Carolina Zamorano-Montañez

Programa de Ingeniería Agronómica, Departamento de Producción - Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

Resumen

En Colombia el fríjol es un alimento básico por su alto contenido de proteínas, fibra y minerales; su cultivo ocupa 76.276 hectáreas que produjeron 104.919 toneladas en 2024. En este estudio nos propusimos investigar el efecto de *Aphelenchoides pseudobesseyi* en el crecimiento y producción del fríjol. En la granja Montelindo, en Palestina, Caldas, se hicieron en condiciones semicontroladas dos experimentos en camas de asbesto donde se sembraron plántulas de fríjol de las variedades Citará y Quimbaya. En uno de los experimentos se inocularon las plántulas con 200 individuos de *A. pseudobesseyi* y en el otro no hubo inoculación (testigo). La diferencia entre los datos obtenidos se evaluó mediante una prueba *t* ($p < 0,05$). En los dos experimentos, se observó a los 8 días de la inoculación con *A. pseudobesseyi* que los nematodos ocasionaron lesiones de color amarillo claro en el 100 % del primer par de hojas unifoliadas de las plántulas y a los 18 días, lesiones necróticas de forma angular. A los 20 días, en el experimento I se encontraron en la variedad Citará 218 (Rf: 1,09) individuos de *A. pseudobesseyi* por planta y en el experimento II, 527 (Rf: 2,63). En la variedad Quimbaya se registraron 234 (Rf: 1,17) por planta en el experimento I y 290 (Rf: 1,45) en el experimento II. En el experimento I la variedad Citará infectada con *A. pseudobesseyi* tuvo una reducción significativa de 52,7% ($p < 0,05$) en el peso seco aéreo y de 26,7% en el de las semillas. En el experimento I, la variedad Quimbaya infectada con el nematodo registró una reducción significativa de 34,6 % ($p < 0,05$) en el peso seco de las semillas, y en el experimento II, de 26,2 % en el peso aéreo. Este es el primer reporte en Colombia de *A. pseudobesseyi* como agente causante de manchas foliares en el fríjol y de la disminución de la producción.

Palabras clave: Etiología; Lesiones foliares; Relación parásito-hospedante.

Abstract

Kidney beans are a staple food due to their high protein, fiber, and mineral content. Colombia has 76,276 ha of crop and produced 104,919 t in 2024. In this study, we aimed to determine the effect of *Aphelenchoides pseudobesseyi* on the growth and production of kidney beans. Under semi-controlled conditions at the Montelindo Farm in Palestina, Caldas, two experiments were conducted in asbestos beds, where part of the kidney bean seedlings of the Citará and Quimbaya varieties were inoculated with 200 *A. pseudobesseyi* and other left uninoculated (control). The difference between the data obtained was evaluated using a *t*-test, with $p < 0.05$. In both experiments, 8 and 18 days after the inoculation of *A. pseudobesseyi* in the bean seedlings, the nematodes caused light yellow lesions on 100% of the first pair of unifoliolate leaves and angular necrotic lesions, respectively. At 20 days, in the Citará variety, 218 (Rf: 1.09) and 527 (Rf: 2.63) *A. pseudobesseyi*/plant were found in experiments I and II, respectively. In the Quimbaya variety, 234 (Rf: 1.17) and 290 (Rf: 1.45) *A. pseudobesseyi*/plant were recorded in experiments I and II, respectively. The Citará variety

Citación: Guzmán-Piedrahita ÓA & Zamorano-Montañez C. Efecto del nematodo foliar (*Aphelenchoides pseudobesseyi*) en el crecimiento y producción del fríjol (*Phaseolus vulgaris*) en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 49(190):59-69, enero-marzo de 2025. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.3066>

Editor: Jairo Castaño-Zapata

***Correspondencia:**

Óscar Adrián Guzmán-Piedrahita;
oscar.guzman@ucaldas.edu.co

Recibido: 30 de agosto de 2024

Aceptado: 10 de febrero de 2025

Publicado en línea: 10 de marzo de 2025



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

infected with *A. pseudobesseyi* showed a significant reduction ($p < 0.05$) in aerial dry weight and seed weight by 52.7% and 26.7%, respectively, in experiment I. In the Quimbaya variety infected with the nematode, there was a significant reduction ($p < 0.05$) in seed dry weight by 34.6% in experiment I and in aerial dry weight by 26.2% in experiment II. This is the first report in Colombia of *A. pseudobesseyi* as a causative agent of leaf spots in kidney beans and reduced production.

Keywords: Etiology; leaf spot; host-parasitic relationship.

Introducción

En Colombia el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un alimento básico por su alto contenido de proteínas, fibra y minerales, al igual que por su fácil adquisición. El cultivo ocupa 76.276 ha y la producción fue de 104.919 t en 2024 (**Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya-Fenalce**, 2024). La planta de frijol se ve afectada por nematodos fitoparásitos que infectan el sistema radical, principalmente nematodos formadores de nudos como *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, *M. graminicola* y *M. javanica*, y el falso nematodo del nudo radical, *Nacobbus aberrans*, los cuales ocasionan pérdidas en rendimiento entre el 35 y el 53 % en países de América del Norte y del Sur (**Sikora et al.**, 2018). Asimismo, sufre el ataque de nematodos como *Pratylenchus scribneri* y *P. penetrans* que producen lesiones en el sistema radical y reducen el rendimiento entre el 43 y el 76 % en diferentes cultivares de frijol (**Elliot y Bird**, 1985). Además, la especie es infectada por el nematodo foliar *Aphelenchoides besseyi*, el cual causa lesiones necróticas de forma angular y deformación de la lámina foliar, síntomas de la enfermedad conocida como “falsa mancha angular” (**Salas y Vargas**, 1984); este nematodo destruye los primordios florales y ha causado pérdidas de rendimiento entre el 29 y el 85 % en las regiones de Brunca y Huetar Norte de Costa Rica (**Chaves y Araya**, 2012; **Chaves et al.**, 2013).

Debido a sus múltiples especies crípticas, *A. besseyi* fue reclasificado como una nueva especie, *A. pseudobesseyi*, que parasita el frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Costa Rica y la soya (*Glycine max*) y el algodón (*Gossypium hirsutum*) en Brasil (**Subbotin et al.**, 2020). Recientemente, **Guzmán-Piedrahita et al.** (2024) reportaron por primera vez en Colombia al nematodo foliar *A. pseudobesseyi* parasitando plantas de soya (*G. max*); sin embargo, se desconoce el efecto que este podría tener en el crecimiento y el rendimiento de las principales variedades de frijol en la zona cafetera central.

Dada la importancia del frijol en Colombia y el hecho de que no se han realizado estudios sobre el comportamiento de las variedades de frijol frente a *A. pseudobesseyi*, conocimiento fundamental para establecer medidas de manejo integrado, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dicho nematodo en el crecimiento y el rendimiento de plantas de frijol (*P. vulgaris*) en condiciones semicontroladas.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La investigación se realizó en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas, ubicada en la vereda Santágueda, municipio de Palestina, Caldas, Colombia, a 5° 05'N y 75° 40'O, con una altitud de 1.050 m, una temperatura promedio anual de 23 °C, una humedad relativa de 74 % y una precipitación anual de 2.100 mm. Las muestras recolectadas se procesaron en el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Caldas en el municipio de Manizales.

Esterilización del suelo

Se prepararon cuatro camas de asbesto de 4,35 m de largo, 0,8 de ancho y 0,16 m de altura, levantadas del suelo a 0,76 m, con suelo de las siguientes características: franco arenoso (arena 57 %, limo 32 % y arcilla 11 %); pH de 5,6 y contenido de bases de Ca 6,56; Mg 0,93 y K 0,23 cmol(+)/kg; P, 8; Fe, 176; Mn, 20,54; Zn, 16,71; Cu, 7,93; S, 27,8, y Bo, 0,52 mg/kg. El suelo se humedeció con agua del grifo y se esterilizó con 50g/m² de dazomet (Basamid®) y se cubrió con plástico (polipropileno) durante 45 días. Pasado este tiempo,

se recolectaron aleatoriamente cinco submuestras para analizarlas en el Laboratorio de Nematología siguiendo la metodología de **Jenkins** (1964), con el fin de garantizar la ausencia de nematodos fitoparásitos.

Producción de plántulas de frijol

Se utilizaron semillas de frijol (*P. vulgaris* L.) de las variedades Citará y Quimbaya, las cuales son de crecimiento arbustivo y se siembran ampliamente en la zona cafetera central de Colombia. Las semillas de cada variedad se sembraron a 2 cm de profundidad y a una distancia de 5 x 45 cm entre semillas y surco. En la etapa experimental las plantas de frijol recibieron riego automático por microaspersión programada para encenderse 10 minutos, dos veces al día, a las 7:00 am y a las 5:00 pm. Las plantas de frijol se fertilizaron dos veces con 20 g de fertilizante (NH₄: 10%, P₂O₅: 20% y K₂O: 20%) por metro lineal a los 20 y 40 días de la siembra. Los datos climáticos de temperatura, humedad relativa y precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica de la granja Montelindo.

Aislamiento y multiplicación de *A. pseudobesseyi*

El incremento de los nematodos para las pruebas de parasitismo se logró transfiriendo diez *A. pseudobesseyi* (relación 7: 3 de hembras y machos) a cajas de Petri con discos de zanahoria (0,5 cm de espesor). Esta especie de nematodo ya había sido aislada y caracterizada por **Guzmán-Piedrahita et al.** (2024). Las cajas de Petri se colocaron en una incubadora (Hera Therm IGS60) a 27 °C en el Laboratorio de Nematología siguiendo la metodología descrita por **Speijer y De Waele** (1997) con algunas modificaciones. A los 30 días de la inoculación del nematodo en los discos de zanahoria, se seleccionaron las crías puras para realizar las pruebas de patogenicidad.

Inoculación de *A. pseudobesseyi* en las plántulas de frijol

Experimento I: a los 12 días de sembradas en una cama de asbesto se les inocularon a 45 plántulas de frijol de la variedad Citará en la etapa V2 (**Fernández et al.**, 1986) 200 individuos de *A. pseudobesseyi* en cuatro gotas de 50 µL de agua (50 nematodos en cada gota) por planta en el centro de cada cotiledón y en el haz de las hojas unifoliadas en el punto de unión al pecíolo. En otra cama de asbesto se agregaron cuatro gotas de 50 µL de agua a cada cotiledón y hoja unifoliada de 38 plántulas de frijol de la misma variedad en el mismo estado de desarrollo y edad, las cuales se establecieron como plántulas testigo (sin inocular).

El mismo procedimiento de inoculación de *A. pseudobesseyi* se utilizó en 45 plántulas de la variedad Quimbaya plantadas en cama de asbesto. Otras 45 plántulas de la misma variedad sembradas en otra cama recibieron cuatro gotas de 50 µL de agua en cada cotiledón y hoja unifoliada y se establecieron como plántulas testigo (sin inocular).

Las plántulas inoculadas y sin inocular se cubrieron con plástico transparente a 60 cm por encima de su altura durante 72 horas para favorecer el proceso infectivo del nematodo; se mantuvieron a una temperatura promedio entre los 19,5 °C (6:00 am - 12:00 m) y los 28,5 °C (1:00 - 6:00 pm) y una humedad relativa entre el 97,6 % y el 66,5 % (6:00 am - 6:00 pm). Las condiciones descritas se registraron con un termohigrómetro HOBO MX2301 (Onset).

Experimento II: se sometieron plántulas de frijol de las variedades Citará y Quimbaya al mismo procedimiento descrito en el experimento I. A los 10 días de la siembra se les inoculó *A. pseudobesseyi* a 56 plántulas de la variedad Citará y se adicionó agua a otras 60, las cuales se consideraron como las plántulas testigo (sin inocular). Asimismo, a 57 plántulas de la variedad Quimbaya se les inoculó *A. pseudobesseyi* y se les adicionó solamente agua a otras 53, las cuales se consideraron como las plántulas testigo (sin inocular). El experimento I se inició el 31 de agosto de 2022 y el experimento II el 21 de marzo de 2023.

Para evaluar el efecto de *A. pseudobesseyi* en las dos variedades de frijol, la asignación de las plantas en las bandejas de asbesto (con y sin nematodos), se hizo de manera independiente, pues en ensayos preliminares se encontró que cuando las unidades experimentales se

asignaban aleatoriamente a una misma bandeja, los nematodos se desplazaban de las plantas infectadas a las no infectadas (testigo), lo cual afectaba los resultados. Una (1) planta de frijol constituyó la unidad experimental (unidad de evaluación).

Después de la inoculación de *A. pseudobesseyi* en las plántulas de frijol, estas se evaluaron diariamente hasta que aparecieron los primeros síntomas de la enfermedad (período de incubación) en los dos experimentos; también se registró el número de plantas infectadas por el nematodo (incidencia en porcentaje) y se tomaron fotografías de las hojas con y sin inoculación de *A. pseudobesseyi*. A los 20 días de la inoculación, se hizo un muestreo destructivo de 30 plantas de cada variedad y en ellas se evaluó la cantidad total (#) de *A. pseudobesseyi*, los nematodos en nudos y yemas axilares, los nematodos en hojas y los nematodos en raíces. También se evaluó el factor de reproducción del nematodo así: $R_f = \text{población final [A. pseudobesseyi (hembras, machos + J2) en tallos y hojas]} / \text{población inicial}$.

En el momento de la cosecha, a los 99 días en el experimento I y a los 105 en el experimento II, se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: peso seco de tallos y hojas por planta (g) y peso seco de semillas por planta (g), así como las variables complementarias de cantidad (#) de vainas y cantidad (#) de semillas por planta; se evaluó, asimismo, la altura de las plantas y la cantidad (#) de *A. pseudobesseyi* por planta en nudos y yemas axilares, entrenudos, hojas, peciolos y raíces.

Análisis estadístico

Se estimó el promedio y la desviación estándar de los datos de cada variable. Los datos se sometieron a un ANOVA y las diferencias se compararon mediante una prueba *t* con $p < 0,05$. En todos los análisis estadísticos se utilizó el programa R, versión 4.1.2 (**R Core Team**, 2021).

Resultados

Síntomas foliares ocasionados por *A. pseudobesseyi* en frijol

En los dos experimentos, a los ocho días de la inoculación de *A. pseudobesseyi* en las plántulas de frijol de las variedades Citará y Quimbaya, los nematodos ocasionaron una lesión pequeña (3 a 5 mm) de color amarillo claro en el 100 % del primer par de hojas unifoliadas, allí donde los nematodos fueron inoculados (período de incubación, etapa V3) (**Fernández et al.**, 1986) (**Figura 1A**); cinco días después, la lesión incrementó de tamaño (mayor a 5 mm) y apareció en uno o en los dos lados de la nervadura central, con decoloración del tejido foliar (**Figura 1B, C**). A los 18 días de la inoculación (etapa V4), se presentaron lesiones de forma angular delimitadas por las nervaduras, con necrosis de la lámina foliar, y aparición de nuevas lesiones cloróticas (**Figura 1D, E**); posteriormente se registró el desprendimiento del tejido necrosado (**Figura 1E**) y, al cabo de cinco días, los nematodos invadieron el tejido foliar ocasionando coalescencia de las lesiones necrosadas (**Figura 1F**), amarillamiento generalizado (**Figura 1G**) y defoliación (**Figura 1H**), principalmente en las hojas ubicadas en la parte inferior de las plantas. Entre los 7 y 10 días de la inoculación del nematodo, las hojas unifoliadas de la primera hoja trifoliada (estado V3) presentaron síntomas de malformación, como arrugas en la lámina foliar y desviación de la nervadura central con forma de zigzag (**Figura 1I, J**), que fueron comunes en las demás etapas de desarrollo de la planta. Además, en los tejidos de las hojas trifoliadas jóvenes se presentaron lesiones pequeñas amarillentas (**Figura 1K**); cuando estas hojas llegaron a la etapa adulta se observaron las típicas lesiones necróticas con forma angular (**Figura 1L, M, N**), cuyo tamaño fue incrementándose, en tanto las hojas presentaban coalescencia y amarillamiento (**Figura 1O, P**). En los ataques graves de *A. pseudobesseyi*, ocurría desprendimiento del tejido foliar en las lesiones necróticas (**Figura 1Q-S**). En las hojas de las plantas de frijol sin inocular (testigo), donde se depositaron gotas de agua, no se presentaron síntomas de la enfermedad. En las plantas infectadas por el nematodo, los síntomas descritos se presentaron en las etapas vegetativas V4 a Vn y en la fase reproductiva (etapa R9) (**Figura 1T, U**).

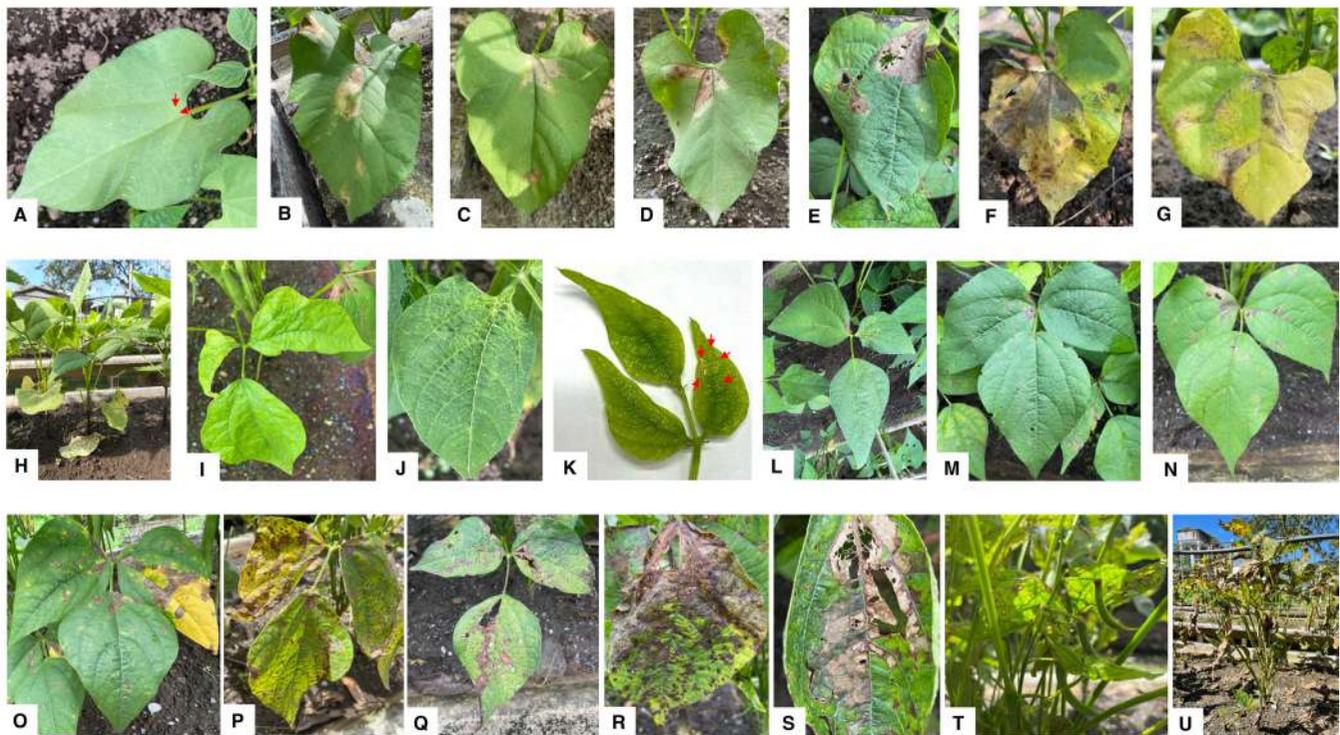


Figura 1. Síntomas foliares ocasionados por *Aphelenchoides pseudobesseyi* en plantas de frijol, variedades Citará y Quimbaya. **A.** Hoja unifoliada infectada por los nematodos mostrando lesión pequeña de color amarillo claro (ver flechas), 8 días después de inoculada. **B, C.** Hoja con síntoma inicial de decoloración y amarillamiento, en el sitio donde fueron inoculados los nematodos, 13 días después de inoculación. **D, E.** Lesiones necróticas características de forma angular delimitadas por las nervaduras en las hojas enfermas. **F, G.** Coalescencia de lesiones necrosadas con amarillamiento generalizado de la hoja. **H.** Planta con defoliación causada por la infección del nematodo. **I.** Hoja trifoliada con síntomas de malformación como arrugas y desviación de la nervadura central con forma de zigzag. **J.** Detalle de arrugas en las nervaduras y la lámina foliar. **K.** Hoja trifoliada joven con lesiones pequeñas amarillentas (ver flechas). **L, M, N.** Hojas trifoliadas adultas con lesiones necróticas típicas con forma angular. **O, P.** Hojas trifoliadas enfermas con coalescencia de lesiones y amarillamiento. **Q-S.** Hojas trifoliadas severamente atacadas por el nematodo con lesiones necróticas y desprendimiento del tejido foliar. **T, U.** Plantas de frijol en etapa vegetativa (V4) y en la fase reproductiva (etapa R9) con hojas enfermas, respectivamente.

Población de nematodos y daños en la variedad Citará

En el muestreo destructivo de las plantas de frijol de esta variedad, a los 20 días de la inoculación con *A. pseudobesseyi* se encontraron 218 nematodos por planta (Rf: 1,09) en el experimento I, y 527 nematodos por planta (446 individuos en hojas y 81 en tallos) (Rf: 2,63) en el experimento II. El peso seco total de las plantas infectadas con el nematodo y libres de él no presentó una disminución significativa ($p > 0,05$), con valores de 2,8 y 4,96 g, respectivamente, en el experimento I, y de 3,86 y 3,19 g, respectivamente, en el experimento II (**Figura 2A, B**). Al inicio de la fase reproductiva (etapa R5), se observó malformación de los racimos florales con menor cantidad de vainas en las plantas infectadas por el nematodo, comparadas con las plantas testigo, las cuales tuvieron un desarrollo normal (**Figura 2C, D**). En la etapa de llenado de las vainas (etapa R8), las plantas testigo tuvieron abundantes vainas con hojas sanas (**Figura 2E**) en comparación con las plantas enfermas, las cuales presentaron aborto de flores, menor cantidad de vainas y hojas con lesiones necróticas de forma angular (**Figura 2F**). En la maduración (etapa R8), todos los órganos de las plantas sanas se secaron, las hojas cayeron, y hubo mayor cantidad de vainas y de granos en comparación con las plantas enfermas, cuyos órganos permanecieron verdes, sin que se registrara la caída de las hojas, las cuales estaban mal formadas y con lesiones angulares, y con una menor cantidad de vainas (**Figura 2G, H**). En la etapa R5 en las plantas enfermas predominó el síntoma de

malformación foliar en la parte superior de las plantas (**Figura 2I, J**), en tanto que en la etapa R8 las hojas presentaron lesiones necróticas de forma angular y amarillamiento (**Figura 2K**). Asimismo, desde la etapa V3 hasta la etapa R9 de las plantas enfermas, los entrenudos de los tallos presentaron engrosamientos, así como abultamiento de los peciolo de las hojas donde se unen al tallo y malformación de los primordios foliares (**Figura 2L, M**). En las plantas enfermas las vainas estaban malformadas, con curvaturas que afectaban su desarrollo, en comparación con las vainas de las plantas sanas, las cuales eran normales y rectas (**Figura 2N**). También las vainas enfermas recolectadas del suelo eran de color negro-amarillento (**Figura 2O**) y contenían entre dos y cinco *A. pseudobesseyi*/vaina (datos no mostrados).

En la cosecha de las plantas de frijol de la variedad Citará infectadas con *A. pseudobesseyi*, a los 99 días de la siembra en el experimento I y a los 105 en el experimento II, se redujo significativamente ($p < 0,05$) el peso seco aéreo y el peso de las semillas por planta (**Tabla 1**). En el experimento I las plantas infectadas con *A. pseudobesseyi* tuvieron una reducción significativa ($p < 0,05$) de 52,7 % en el peso seco aéreo en comparación con el testigo, en tanto que no hubo efecto en el experimento II. Asimismo, en las plantas de la variedad Citará enfermas el peso seco de las semillas disminuyó



Figura 2. Plantas de frijol, variedad Quimbaya, parasitadas con *Aphelenchoides pseudobesseyi*. **A, B.** Comparación entre el desarrollo foliar y el tallo de una planta sana, respectivamente (derecha) y una planta enferma por el nematodo (izquierda), a los 20 días después de la inoculación. **C, D.** Contraste entre una planta enferma con lesiones foliares y menor producción de vainas, y una planta sana con hojas sanas y abundante producción de vainas, respectivamente. **E, F.** Diferencia entre una planta sana con el tallo seco y abundante producción de vainas y granos (derecha) y tres plantas enfermas con tallos verdes y menor cantidad de vainas y granos (izquierda). **G, H.** Planta enferma con entrenudos de tallos con engrosamientos y abultamientos de la base de los peciolo de las hojas. **I, J.** Planta infectada por el nematodo con vainas curvadas y amarillentas (ver flecha). **K.** Detalle de vainas enfermas amarillentas. **L.** Planta parasitada por el nematodo con aborto de vainas de color amarillo. **M, N.** Panorámica de plantas enfermas en llenado de vainas, etapa R8, y en maduración, etapa R9, respectivamente.

Tabla 1. Efecto de *Aphelenchoides pseudobesseyi* en el crecimiento y producción de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), variedades Citará y Quimbaya en condiciones semicontroladas a los 99 y 105 días la siembra en los experimentos I y II

Experimento	Variedad	Tratamiento	N	Peso seco aéreo (g)		Peso seco semillas (g)		Cantidad de semillas (#)		Cantidad de vainas (#)					
				Media	DE**	Media	DE	Media	DE	Media	DE				
I	Citará	Plantas inoculadas con <i>A. pseudobesseyi</i>	26	5,17	B*	2,77	8,43	B	3,81	25,00	B	13,32	9,54	B	3,62
		Plantas sin inocular (testigo)	14	10,94	A	5,45	11,51	A	4,78	39,79	A	20,51	13,64	A	4,50
	Quimbaya	Plantas inoculadas con <i>A. pseudobesseyi</i>	25	17,07	A	8,55	7,17	B	5,36	19,72	A	16,36	6,84	A	4,73
		Plantas sin inocular (testigo)	16	19,11	A	6,28	10,98	A	5,07	33,44	A	11,50	10,00	A	2,85
II	Citará	Plantas inoculadas con <i>A. pseudobesseyi</i>	34	16,50	A	7,47	8,48	B	4,56	23,97	B	9,68	7,79	B	2,87
		Plantas sin inocular (testigo)	44	18,36	A	7,08	10,93	A	5,42	33,50	A	10,99	9,77	A	3,03
	Quimbaya	Plantas inoculadas con <i>A. pseudobesseyi</i>	31	19,06	B	6,43	11,97	A	5,92	32,10	B	10,24	9,26	B	8,08
		Plantas sin inocular (testigo)	30	25,84	A	9,34	13,95	A	3,89	46,10	A	10,01	11,63	A	2,75

*Las diferentes letras en las columnas indican diferencias estadísticas significativas de medias de mínimos cuadrados según la prueba de *t* al 5 %.

**DE: desviación estándar

significativamente ($p < 0,05$), en 26,7 % y 22,3 % (en promedio 24,5 %) en los experimentos I y II, respectivamente, en comparación con las plantas testigo (Tabla 1; Figura 2G, H). También se registró una reducción de 37,1 % en la cantidad de semillas y de 30,0 % en las vainas de las plantas enfermas en experimento I; y en las mismas variables la reducción fue de 41 y 31 %, respectivamente, en el experimento II (Tabla 1). En la cosecha de las plantas de la variedad Citará se extrajeron en promedio 95 *A. pseudobesseyi* por planta (53 individuos en hojas, 29 en vainas y 13 en tallos) y 600 por cada 100 cm³ en las hojas de la misma variedad recolectadas del suelo en el experimento I, y 13 nematodos por planta (6 individuos en tallos y 6 individuos en vainas) y 750 por cada 100 cm³ en las hojas de la misma variedad recolectadas del suelo en el experimento II.

Población de nematodos y daños en la variedad Quimbaya

A los 20 días de inocular *A. pseudobesseyi* se registraron 234 nematodos por planta (Rf: 1,17) en el experimento I y 290 (275 individuos en hojas y 15 en tallos) (Rf: 1,45) en el experimento II, en tanto que en las plantas de frijol sin inocular no se encontraron nematodos. Tampoco se presentó una reducción significativa ($p > 0,05$) en el peso seco total de las plantas de esta variedad, con valores de 2,6 en las plantas inoculadas y de 5,0 g en las plantas testigo en el experimento I y de 2,74 g y 2,64 g, respectivamente, en el experimento II (Figura 3A, B). En la fase reproductiva (etapa R5), las plantas infectadas con el nematodo presentaron lesiones foliares y una menor producción de vainas (Figura 3C), en comparación con las plantas testigo, las cuales tuvieron hojas sanas y una mayor cantidad de vainas (Figura 3D). Posteriormente, en la fase de llenado de vainas (etapa R8), las plantas enfermas por el nematodo conservaron el tallo verde y tuvieron menor producción de vainas en comparación con las plantas sanas, que presentaron el tallo seco y una mayor producción de vainas y granos (Figura 3E, F). También se observó que las plantas enfermas tenían los entrenudos engrosados (Figura 3G, H) y las vainas abortadas (Figura 3L), con curvatura y color amarillo (Figura 3I, J, K).



Figura 3. Plantas de frijol, variedad Citará, infectadas con *Aphelenchoides pseudobesseyi*. **A, B.** Contraste entre el desarrollo foliar y el tallo, respectivamente, de una planta sana (izquierda) y una planta enferma por el nematodo (derecha), a los 20 días después de la inoculación. **C, D.** Comparación entre el desarrollo normal de los racimos florales (etapa R5), de una planta sana (izquierda) y una planta enferma por el nematodo con malformación de los racimos florales y con menor cantidad de vainas (derecha). **E, F.** Diferencia entre una planta testigo con hojas sanas y abundante producción de vainas y una planta enferma que presentó hojas con lesiones necróticas de forma angular, aborto de flores y menor cantidad de vainas, respectivamente. **G, H.** Comparación entre los órganos de una planta sana, los cuales se secaron, con caída de hojas, y mayor cantidad de vainas y de granos (derecha), y plantas enfermas donde los órganos permanecieron verdes, sin caída de hojas y menor cantidad de vainas (izquierda). **I.** Panorámica de las plantas enfermas, etapa R5. **J.** Detalle de síntoma de malformación foliar en la parte superior de las plantas enfermas. **K.** Panorámica de plantas enfermas, etapa R8, con hojas con lesiones necróticas de forma angular y amarillamientos. **L, M.** Entrenudos de tallos con engrosamientos y abultamientos de la base de los peciolos. **N.** Contraste entre vainas con curvaturas producidas en una planta enferma (izquierda), y vainas normales y rectas producidas en una planta sana. **O.** Detalle de vainas enfermas recolectadas del suelo, de color negro-amarillento.

En la cosecha de las plantas de la variedad Quimbaya infectadas con el nematodo se registró una reducción significativa de 26,2% ($p < 0,05$) en el peso seco aéreo solamente en el experimento II. El peso seco de las semillas disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en 34,6 % en el experimento I, en tanto que en esta última variable la reducción fue de 14,2, pero no significativa ($p > 0,05$) en el experimento II (**Tabla 1; Figura 3M, N**). En cuanto a las poblaciones de nematodos, se extrajeron 1.218 *A. pseudobesseyi* por planta (Rf: 6,09) (763 individuos en hojas, 16 en vainas y 439 en tallos) y 984 por cada 100 cm³ en las hojas recolectadas del suelo en el experimento I. En el experimento II, por otra parte, se obtuvieron 81 nematodos por planta (61 individuos en tallos y 20 en vainas), y 600 por cada 100 cm³ en las hojas recolectadas del suelo.

Discusión

Nuestros resultados muestran cómo *A. pseudobesseyi* ocasionó lesiones de color amarillo en las hojas de las plantas de frijol de las variedades Citará y Quimbaya a los 8 días de la inoculación, tiempo similar al reportado por **Salas y Vargas (1984)** y **Chaves et al. (2013)** en plantas de frijol común (*P. vulgaris* L.) de las variedades México-80 y Cabécar,

respectivamente, infectadas con *A. besseyi*. **Franc et al.** (1996) también reportaron que en plantas de frijol de la variedad Othello inoculadas con *A. ritzemabosi*, las hojas unifoliadas y trifoliadas desarrollaron lesiones angulares a los 11 días.

Es importante mencionar que con base en la reclasificación del estado taxonómico de *A. besseyi* realizada por **Subbotin et al.** (2020), la especie de nematodo que infecta las plantas de frijol y soya se identificó como una nueva especie, denominada *A. pseudobesseyi*, igual a la reportada por **Guzmán-Piedrahita et al.** (2024) en plantas de soya en Colombia.

En las plantas de frijol infectadas por *A. pseudobesseyi*, los síntomas característicos fueron lesiones necróticas de forma angular y malformación de los primordios foliares, que, al desarrollarse, presentaron arrugas en la lámina foliar y desviación de la nervadura central con forma de zigzag; estos síntomas también fueron reportados en plantas de frijol de las variedades México-80, Cabécar y Jalo Precoce por **Salas y Vargas** (1984), **Chaves et al.** (2013) y **Favoreto et al.** (2021), respectivamente. En este estudio los síntomas típicos ocasionados por el nematodo, es decir, manchas necróticas de forma angular, aparecieron a los 18 días de la inoculación del nematodo, tiempo similar (14 a 20 días) de aparición de los síntomas en frijol de las variedades México-80 y Othello inoculadas con *A. besseyi* y *A. ritzemabosi*, respectivamente (**Salas y Vargas**, 1984; **Franc et al.**, 1996).

Se encontró, asimismo, que las lesiones necróticas ocasionadas por *A. pseudobesseyi* fueron limitadas por las nervaduras de la hoja, que impidieron el aumento de su tamaño y de la infección, resultado también reportado en frijol de las variedades México-80 y Cabécar por **Salas y Vargas** (1984) y **Chaves et al.** (2013), respectivamente. Estas lesiones necróticas de forma angular explican que la enfermedad se denomine “falsa mancha angular” debido a su semejanza con la mancha angular del frijol ocasionada por el hongo *Phaeoisariopsis griseola* (**Salas y Vargas**, 1984; **Araya y Hernández**, 2006; **Barrantes et al.**, 2006). La similitud de los síntomas causados por ambos patógenos puede dificultar su identificación en condiciones de campo, lo que puede desembocar en pérdidas de rendimiento, con el consecuente impacto económico. Ello hace indispensable que las muestras de las plantas afectadas deban enviarse a un laboratorio especializado para su diagnóstico correcto.

En nuestro estudio otros síntomas típicos ocasionados por *A. pseudobesseyi* en las plantas de frijol fueron los entrenudos engrosados; los peciolos con abultamientos en su unión al tallo, y el aborto de vainas, síntomas también ocasionados por *A. besseyi* en plantas de frijol de las variedades Cabécar y Jalo Precoce, según los reportes de **Chaves et al.** (2013) y **Favoreto et al.** (2021), respectivamente. Los síntomas descritos también fueron reportados en plantas de soya de la variedad BRSGO 8160 RR inoculadas con *A. besseyi* (**Meyer et al.**, 2017) y en la variedad Flor Blanca infectada con *A. pseudobesseyi* (**Guzmán et al.**, 2024). Otro síntoma característico que registramos aquí fueron las vainas con curvatura y amarillamiento, lo que aún no se ha reportado en la literatura. La infección por *A. pseudobesseyi* en los tejidos de las plantas de frijol se debe a que el nematodo se alimenta con su estilete de las células de la epidermis en los primordios foliares y florales por vía ectoparasítica y endoparasítica, ocasionándoles daño y dando origen a lesiones angulares necróticas, síntomas ya reportados por otros autores (**Franc et al.**, 1996; **Araya y Hernández**, 2003; **Barrantes**, 2006; **Chávez et al.**, 2013; **Duncan & Moens**, 2013). Este último síntoma ocasiona menor formación de vainas y su caída, dando origen a lo que se conoce como “amachamiento” del frijol según lo reportado por **Chávez et al.** (2013).

Nuestros resultados mostraron que las lesiones angulares ocasionadas por *A. pseudobesseyi* pueden verse expuestas a la coalescencia, lo que conllevó la formación de mayores áreas necróticas, también reportadas previamente en el frijol como causadas por *A. besseyi* (**Salas y Vargas**, 1984). Esto ocasiona una disminución del área foliar funcional y, consecuentemente, de la producción de fotosintatos, que son necesarios para el crecimiento de las plantas de frijol y del peso de sus semillas.

En el presente estudio, en las plantas de frijol infectadas por *A. pseudobesseyi*, el nematodo ocasionó atrofia de los racimos florales y aborto floral, provocando una menor producción de vainas y de semillas, un menor peso seco de tallos y hojas y un menor rendimiento en comparación con las plantas sin inocular, resultados similares a los reportados en frijol inoculado con *A. besseyi* (Araya y Hernández, 2006; Chaves *et al.*, 2013). Asimismo, en plantas de *P. vulgaris* de la variedad Cabécar inoculadas con *A. besseyi*, el rendimiento disminuyó entre 28,5 y 67,1 % (Chaves *et al.*, 2013), resultados similares a los obtenidos en este estudio con las variedades Citará y Quimbaya. En otros estudios con diferentes variedades de frijol común infectados por *A. besseyi*, se han reportado pérdidas de entre 50 y 85 % en el rendimiento (Araya y Hernández, 2003; Barrantes *et al.*, 2006; Chaves & Araya, 2012); en cultivos de soya las pérdidas en el rendimiento han llegado hasta el 100 % (Meyer *et al.*, 2009), y en cultivos de arroz se han reportado pérdidas en el rendimiento entre 4,9 y 46,7 % (Tsai *et al.*, 1998; Bridge *et al.*, 2005 Fortuner y Orton, 1975).

En la época de cosecha, en nuestros experimentos se encontró que en las plantas de frijol de ambas variedades inoculadas con *A. pseudobesseyi* se retrasó la senescencia natural, pues los órganos de las plantas enfermas permanecieron de color verde y tenían menor cantidad de vainas y semillas en comparación con los órganos de las plantas testigo (sin inocular). Este retraso de la senescencia natural en las plantas de frijol también fue reportado en plantas de soya (*G. max*) cuando se eliminaron sus flores de forma artificial, lo que ocasionó una reducción de la competencia entre los órganos reproductivos y vegetativos de la planta, por lo que las sales minerales, los azúcares y los aminoácidos no se transferían a las vainas, permaneciendo en el follaje y dándole el característico color verde oscuro a las plantas (Salisbury & Ross, 1994; Taiz & Zeiger, 2006). Los resultados obtenidos por estos investigadores coinciden con los nuestros, ya que las plantas inoculadas con el nematodo también presentaron aborto floral y disminución en la cantidad de vainas, lo cual retardó la senescencia en las plantas enfermas, y coincide con los resultados obtenidos en soya por Meyer *et al.* (2017) y en frijol por Chaves *et al.* (2013).

Conclusiones

Se demostró que *Aphelenchoides pseudobesseyi* ocasiona lesiones necróticas angulares y malformación de la lámina en las variedades de frijol Citará y Quimbaya, así como un menor peso seco de semillas y tejidos aéreos. Este es el primer reporte en Colombia de *A. pseudobesseyi* como causante de manchas foliares en el frijol y la consecuente disminución de la producción. La etiología de esta nueva enfermedad podría servir de base para investigaciones futuras en epidemiología y para la evaluación del comportamiento de otras variedades de frijol, aspectos esenciales para establecer estrategias de manejo integrado orientadas a reducir las pérdidas que causan en la producción del cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a los señores Wilson Puerta y Carlos Arturo Cifuentes por su ayuda en las actividades de campo en la investigación, así como al profesional Luis Carlos Imbachi Quinchua, por el apoyo en el diseño y el análisis estadístico.

Contribución de los autores

OG fue responsable de todo el experimento, contribuyó en las actividades de campo y laboratorio, y en el análisis, la interpretación y la elaboración de artículo científico. CZ contribuyó en la recolección de los datos de campo y laboratorio y ayudó en edición del texto final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses ni relaciones con el empleador que puedan influir en la transparencia u objetividad durante la revisión del artículo por pares y la publicación.

Referencias

- Araya, C., & Hernández, J. (2003). Distribución agroecológica de enfermedades del frijol en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 68, 26-33.
- Araya, C., & Hernández, J. (2006). *Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
- Barrantes, W., Araya, C., Esquivel, A. (2006). Falsa mancha angular del frijol: una enfermedad que avanza en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 78, 91-93.
- Chaves, N. & Araya, C. (2012). Pérdidas causadas por el amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi* Christie) y reacción del germoplasma comercial al patógeno. *Agronomía Mesoamericana*, 23, 1-12.
- Chaves, N., Cervantes, E., Zabalgoeazcoa, I., Araya, C. M. (2013). *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematoda: Aphelenchoididae), agente causal del amachamiento del frijol común. *Tropical Plant Pathology*, 38 (3), 243-252.
- Duncan, L.W., & Moens, M. (2006). Migratory endoparasitic nematodes. In R.N. Perry and M. Moens (Eds). *Plant Nematology* (pp. 124-152). CAB International.
- Favoreto, L., Meyer, M. C., Calandrelli, A., da Silva, M.C., da Silva, S. A., Zambolini, A. C. (2021). *Aphelenchoides besseyi* parasitizing common bean in Brazil. *Plant Disease*, 105 (4), 748-751.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya- Fenalce. (2025). Histórico de área, producción y rendimiento, cereales, leguminosas y soya. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiM2FiYzZM5ZTAAtNjFmNi00MGQyLWFiYzYtNGI0YTJiZTcwZWQwIiwidCI6IjU2MmQ1YjJlLTBmMzEtNDdmOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9>.
- Fernández, F., Gepts, P., López, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia.
- Fortuner, R., & Orton W. K. J. (1975). Review of the literature on *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942, the nematode causing “white tip” disease in rice. *Helminthological Abstracts - Series B*, 44, 1. 40p.
- Franc, G.D., Beaupré, M. S., Gray, F. A., Hall, R.D. (1996). Nematode angular leaf spot of dry bean Wyoming. *Plant Disease*, 80, 476-477.
- Guzmán-Piedrahita, O.A., Zamorano-Montañez, C., Aguilar-Marín, S.B., López-Nicora, H. (2024). First report of foliar nematode (*Aphelenchoides pseudobesseyi*) on soybean in Colombia. *Plant Disease*, 108, 535.
- Jenkins, W.R. (1964). A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48 (9), 692.
- Meyer, M. C., Henning A. A., Almeida A. M. R., Godoy, C. V., Seixas, C. D. S., Yorinori, J. T., Ferreira, L. P., Soares, R. M., Dias, W. P. (2009). Manejo integrado de doenças da soja em regiões tropicais. In: 1° Simpósio Sobre Manejo de Pragas. Belém, PA. Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Meyer, M., Favoreto, L., Klepker, D., Marcelino-Guimarães, F. (2017). Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. *Tropical Plant Pathology*, 42, 403-409.
- Sikora, R. A., Claudius-Cole, B., Sikora, E. J. (2018). Nematodes parasites of food legumes. Chapter 9. In: R. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann & P. Timper (Eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture* (pp. 290-345). CABI Publishing.
- Salas, L. A., & Vargas, G. E. (1984). El nematodo foliar *Aphelenchoides besseyi* Christie (Nematoda: Aphelenchidae) como causante de la falsa mancha angular del frijol en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 8 (1), 65-68.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1994). *Fisiología Vegetal*. México, Grupo Editorial Iberoamericana.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4ª ed. Sunderland (Massachusetts), Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Tsay, T. T., Cheng, Y. H., Teng, Y. C., Lee, M. D., Wu, W. S., Lin, Y. Y. (1998). Bionomic and control of rice white tip disease nematode, *Aphelenchoides besseyi*. *Plant Protection Bulletin Taipei*, 40, 277-285.