

Reducción de la tasa fotosintética en hojas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) inoculadas con *Radopholus similis*

Andrés Castillo¹, Ricardo Astúa², Rebecca Madrigal², Walter Jiménez², Juan Delgado¹, Eduardo Salas³, Mario Araya^{4*}

¹LIFE-RID AMVAC-Costa Rica, ²MONRERI-Costa Rica, ³Catedrático Universidad Nacional, Escuela Ciencias Agrarias-Costa Rica, ⁴AMVAC Chemical Corporation

***Autor de**

Correspondencia:

Mario Araya
mariaa@amvac.com

Contribución:

Científico

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Castillo A, Astúa R, Madrigal R, Jiménez W, Delgado J, Salas E y Araya M. 2024. Reducción de la tasa fotosintética en hojas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) inoculadas con *Radopholus similis*.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 59

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2459



RESUMEN

En un diseño completamente al azar, se determinó el efecto de *Radopholus similis* sobre la fotosíntesis de las hojas de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine). Plantas *in vitro* se sembraron en macetas de 1,8 L de volumen que contenían suelo bananero (esterilizado o sin esterilizar). Se evaluaron tres tratamientos, dos en suelo esterilizado, uno fue inoculado con 2000 (2078 $\pm$ 63) *R. similis* por maceta, 21 días después de la siembra, y el otro no, y otro tratamiento en suelo no esterilizado y sin inoculación. Antes de la inoculación, se encontró una reducción ($P= 0,0072$) del 33% en la tasa de asimilación neta acumulada a lo largo de la secuencia de puntos de luz (0-2200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en las plantas cultivadas en suelo bananero sin esterilizar, que resultaron infectadas con *R. similis* residual en el suelo. La curva de la tasa de asimilación neta a los 4 ($P< 0,0001$), 11 ($P= 0,0340$) y 25 ($P= 0,0127$) días después de la inoculación, fue mayor en las plantas libres de nematodos. La infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en raíces y follaje, consistentemente reduce su fotosíntesis, lo que a largo del ciclo reducirá el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: fotosíntesis, *Musa* AAA, nematodos, Fitosanidad.

ABSTRACT

In a completely randomized design, the effect of *Radopholus similis* on banana (*Musa* AAA cv. Grande Naine) leaf photosynthesis was determined. *In vitro* plants were planted in pot of 1,8 L volume containing a sterilized or unsterilized soil from a commercial banana farm. Three treatments were evaluated, two were planted in sterilized banana soil, one inoculated with 2000 (2078 $\pm$ 63) *R. similis* per pot, 21 days after planting, and the other had no inoculation and the remaining treatment in unsterilized soil without inoculation. Before inoculation, a reduction ($P= 0.0072$) of 33% in the accumulated net assimilation rate across the sequence of light points (0-2200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) was found in the plants cultivated in non-sterilization soil, that got infected with residual *R. similis* on the soil. The net assimilation rate curve at 4 ($P< 0.0001$), 11 ($P= 0.0340$) and 25 ($P= 0.0127$) days after nematode inoculation was higher on the plants free of nematodes. Infection or parasitism of banana roots by *R. similis*,

independently of if there are obvious root and foliage symptoms, consistently it reduces their photosynthesis rate, which in a long term will reduce crop performance.

Keywords: *Musa* AAA, nematodes, photosynthesis, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los factores bióticos que afectan la producción de banano se encuentran las plagas del sistema radical donde se incluyen picudo (*Cosmopolites sordidus*), *Phyllophaga* spp., cochinilla (*Pseudococcus elisae*, *Dysmicoccus brevipes*) y los nematodos. Dentro de los nematodos, *Radopholus similis* (Cobb 1893, Thorne 1949, Sher 1968) es el más abundante y frecuente, de hábito endoparásito migratorio obligado que causa pérdidas en producción en las regiones donde se cultiva el banano alrededor del mundo (Chávez et al. 2020, Jaramillo et al. 2019, Sikora et al. 2018). En áreas de África infestadas de nematodos, se han reportado pérdidas de más del 75% (Sarah 1989) y las respuestas en rendimiento en áreas con control de nematodos en diferentes países varían entre 38 y 376% (Gowen 1995). Según Niblack (1993), si bien se producen grandes pérdidas de rendimiento en cultivos susceptibles con síntomas visibles de daño con un alto número de nematodos, muchas veces pueden ocurrir pérdidas de rendimiento de hasta el 30% sin síntomas evidentes.

En banano el daño se localiza en las raíces y el cormo. *Radopholus similis* ingresa a las raíces y se alimenta periódicamente a medida que migra a través del tejido. La migración intracelular y la alimentación prolongada provocan destrucción del tejido radical. La infección por este nematodo produce lesiones de color café rojizo oscuro en la epidermis, que penetra a lo largo de la corteza y rara vez hasta el cilindro vascular. Las lesiones adyacentes pueden fusionarse y el tejido de la raíz se atrofia y necrosa. La alimentación del nematodo y las actividades de migración dentro de las raíces dañan la epidermis, la corteza y el cilindro vascular, lo que altera la absorción y el transporte de agua y nutrientes. Se retarda la emisión foliar, las plantas se muestran atrofiadas y cloróticas, con un alargamiento de la fase vegetativa (Sikora et al. 2018, Quénéhervé 2009), que termina en reducción del peso del racimo, productividad y longevidad de la planta.

Estas observaciones se han hecho en síntomas morfológicos bastante obvios. Sin embargo, el parasitismo por nematodos se relaciona primero con cambios fisiológicos que afectan el proceso fotosintético (Hussey y Williamson, 1998, Wallace 1987). Goulart et al. (2019) trabajando con plántulas de café infectadas con *M. exigua* o *M.*

paranaensis encontraron alteraciones en la fisiología de la planta como reducción en la transpiración, conductancia estomática, concentración de CO₂ y en la tasa fotosintética.

Información sobre los efectos del parasitismo de *R. similis* en los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, que determinan la tasa de crecimiento del banano, puede contribuir a comprender las diferencias en el rendimiento. Por lo tanto, el objetivo fue estudiar el efecto de poblacionales iniciales de *R. similis* en la fotosíntesis de la hoja de banano. La fotosíntesis se midió en plantas infectadas y no infectadas, tanto antes como después de la invasión por *R. similis* en plantas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) cultivadas en macetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) fueron micropropagadas *in vitro* y luego de 55-60 días en bandeja, las plántulas fueron trasplantadas a maceteros plásticos de 1,8 L de volumen con cinco orificios de 1 cm-diámetro en el fondo para facilitar su drenaje. Dichos maceteros se ubicaron bajo condiciones de invernadero a temperatura ambiente de 24-26 °C y una humedad relativa de aproximadamente 80-90 %. Los maceteros se llenaron con suelo esterilizado o sin esterilizar de una finca comercial de banano infestada de nematodos que aplica para su control dos ciclos de nematicida químico por año. El suelo contenía 2,03% de materia orgánica, con pH de 5,5 y un contenido de bases de Ca 4,3; Mg 1,31 y K 0,56 cmol (+) L⁻¹ y de P 29; Fe 71; Cu 7; Zn 2,5 y Mn 83 mg L⁻¹. El suelo fue franco arenoso (arena 56%, arcilla 15% y limo 29%). La porción de suelo que se esterilizó, después de tamizarlo (criba 2 mm-No 10) se colocó en bandejas de 5 cm de alto, se humedeció y se metió a Autoclave (Tomin TM-322) durante 1 hora a 120 °C. Las plantas se fertilizaron dos veces por semana con la aplicación de 100 ml de solución (1 L de agua + 5 ml de Bayfolan Forte) al suelo, y un día antes de la evaluación de la fotosíntesis, se irrigaron con 100 ml de agua potable.

Se evaluaron tres tratamientos. Las plantas de dos tratamientos se sembraron en suelo esterilizado que fue inoculado o no con *R. similis*. En el otro tratamiento, las plantas se cultivaron en suelo no esterilizado, sin inoculación del nematodo. Cada tratamiento con 10 repeticiones y las macetas se dispusieron en un diseño completamente al azar. La población de *R. similis* utilizada para la inoculación se obtuvo originalmente de las raíces de plantas de banano de una finca comercial que después de ser identificados bajo el microscopio-estereoscópico, se inoculó una sola

hembra adulta en cada uno de 30 discos de zanahoria esterilizados para su reproducción. Sesenta días después, se extrajo cada población de *R. similis* de los discos de zanahoria y se identificó el nematodo bajo el microscopio óptico. Luego, se extrajo ADN de cinco muestras compuestas de aproximadamente 50 nematodos cada una, de cada población, y se amplificó con imprimadores PCR-específicos (FsimFIRsimR) que confirmaron la identidad del nematodo como *R. similis*. Entonces, los *R. similis* de estas poblaciones se multiplicaron en discos de zanahoria para la inoculación.

Antes de la inoculación, la superficie del suelo en cada maceta individual se humedeció con 50 mL de agua destilada y luego se hicieron cinco orificios de 1 cm de diámetro y 2 cm de profundidad a 1,5 cm de la base del pseudotallo. La población inicial de *R. similis* se estimó a partir de cinco alícuotas de 2 ml. Los *R. similis* se pipetearon como una suspensión acuosa, luego se cubrieron los agujeros con la misma tierra y se aplicaron nuevamente 50 ml de agua. Durante la inoculación se realizaron otros 5 conteos para confirmar la cantidad inoculada. La inoculación del nematodo se realizó a los 21 días después de la siembra de las plantas con $2000 (2078 \pm 63)$ *R. similis* por maceta.

La curva de respuesta a la luz fotosintética se evaluó el día antes de la inoculación del nematodo y luego a los 4, 11 y 25 días después de la inoculación a la misma hora. La fotosíntesis se midió con un LI-6800 (LICOR Environmental Sciences) portátil. El equipo se configuró con una apertura foliar de 9 cm^2 , $420 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $600 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de flujo de aire, 30°C de temperatura foliar y se mantuvo la humedad relativa ambiental. La porción apical de la segunda hoja más joven de cada planta se utilizó como indicador del potencial fotosintético de la planta, siendo una hoja joven completamente expandida e iluminada para plantas desarrolladas en macetas en condiciones de invernadero. Las evaluaciones de la fotosíntesis se realizaron de manera consistente, primero una repetición (una planta) de cada tratamiento, luego la segunda réplica de cada tratamiento, y así sucesivamente. Se utilizó el programa automático con niveles decrecientes de radiación fotosintética activa (PAR), conocidos como curvas de respuesta a la luz. Cada planta se aclimató con $800 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ antes del inicio de la curva de luz. La secuencia de puntos de luz fue la siguiente: 2200, 1900, 1600, 1300, 1000, 700, 400, 100, 75, 50, 25 y 0 mmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Las curvas de luz se midieron de 7 a 10 am.

Después de la última evaluación de fotosíntesis las plantas fueron removidas de las macetas. Para ello, cada maceta fue presionada en el centro para aflojar el suelo y con la aplicación de agua a baja presión se extrajo la planta. Se lavó las raíces y se separaron del follaje (cormo + tallo + hojas). En una romana electrónica con capacidad

de $6 \text{ kg} \pm 1 \text{ g}$ se registró el peso individual del follaje y raíces por planta. Las raíces de cada planta fueron cortadas en segmentos de 1,5 - 2 cm de largo se homogeneizaron y 25 g o la cantidad disponible, fueron seleccionados para la extracción de los nemátodos siguiendo el método de licuado y tamizado. Las poblaciones de nematodos se expresan por 100 g de raíces. Los datos de raíces y follaje se sometieron a un ANOVA y separación de medias por LSD en PC-SAS. El número de nemátodos se sometió a un análisis con modelo lineal generalizado que utilizó la transformación logarítmica y la distribución binomial negativa de los residuos en GemMod de SAS. Las medias de tratamientos se compararon con LSD-test. Los datos de la curva de respuesta a la luz e intercambio de gases registrados en la hoja de Excel del LICOR fueron analizados utilizando el software Infostat v. 2018. El área bajo la curva de respuesta a la luz se calculó y comparó por ANOVA o prueba T y en cada nivel de radiación se realizó una prueba T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un mayor peso de raíces ($P < 0,0001$) y de follaje ($P < 0,0001$) se encontró en las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado sin inoculación de *R. similis* con 48 y 154 g por planta, respectivamente (Figura 1A-B). La diferencia fue inducida por el menor peso encontrado en las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado que fueron inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis* que presentaron 29 g de raíces y por los 106 g de follaje por planta registrado en las plantas cultivadas en suelo de banano no esterilizado sin inoculación. La inoculación con *R. similis* infectó las plantas de banano (Figura 1C). Las plantas no inoculadas cultivadas en suelo de banano esterilizado estuvieron libres de nematodos, mientras que en las inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis*, la población alcanzó 50758 *R. similis* / 100 g de raíces por planta ($P = 0,0007$).

La curva de la tasa de asimilación neta antes de la inoculación de *R. similis* difirió ($P = 0,0072$) entre los tratamientos. Se encontró una reducción del 33% en la tasa de asimilación neta acumulada a lo largo de la secuencia de puntos de luz ($0-2200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de las plantas cultivadas en suelo de banano sin esterilizar, en comparación con aquellas plantas en suelo de banano esterilizado sin inoculación (Figura 2A). Entonces, estas plantas se infectaron con *R. similis* residual en el suelo, como se confirmó al final del experimento, donde esas plantas alcanzaron 23733 individuos por cada 100 g de raíces por planta. La curva de la tasa de asimilación neta a los 4 ($P < 0,0001$), 11 ($P = 0,0340$) y 25 ($P = 0,0127$) días después de la inoculación del nematodo fue mayor en las plantas libres de nematodos (Figura 2B-D). Cuatro días después de la inoculación de *R. similis*, se observó una reducción entre 12 y 29% en las plantas cultivadas en suelo de

banano no esterilizado con radiación fotosintética activa entre 100 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado que fueron inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis*, mostraron una reducción de la tasa de asimilación neta entre 17 y 28% y entre 15 y 29% a radiación fotosintética activa entre 400 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a los 11 y 25 días después de la inoculación, respectivamente. En las plantas cultivadas en suelo de banano no esterilizado, la reducción a los 11 y 25 días después de la inoculación fue de entre 8 y 19% y entre 5 y 30% con radiación fotosintética activa entre 400 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

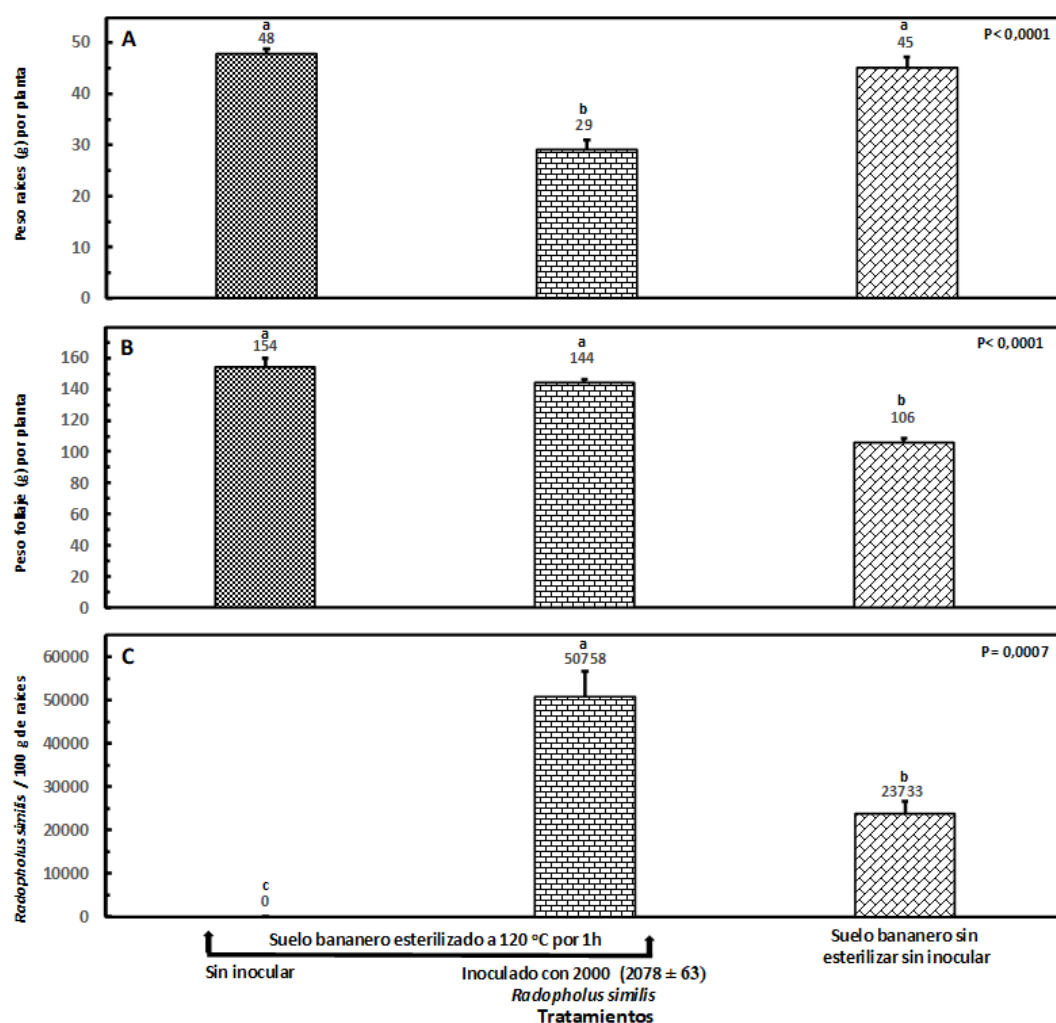


Figura 1. A-C. Peso de raíces y follaje (g) por planta y número de *Radopholus similis* por 100 g de raíces de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) por planta 25 días después de la inoculación o no con 2000 (2078 ± 63) *Radopholus similis*. Cada barra es la media $\pm$ error estándar de 10 repeticiones.

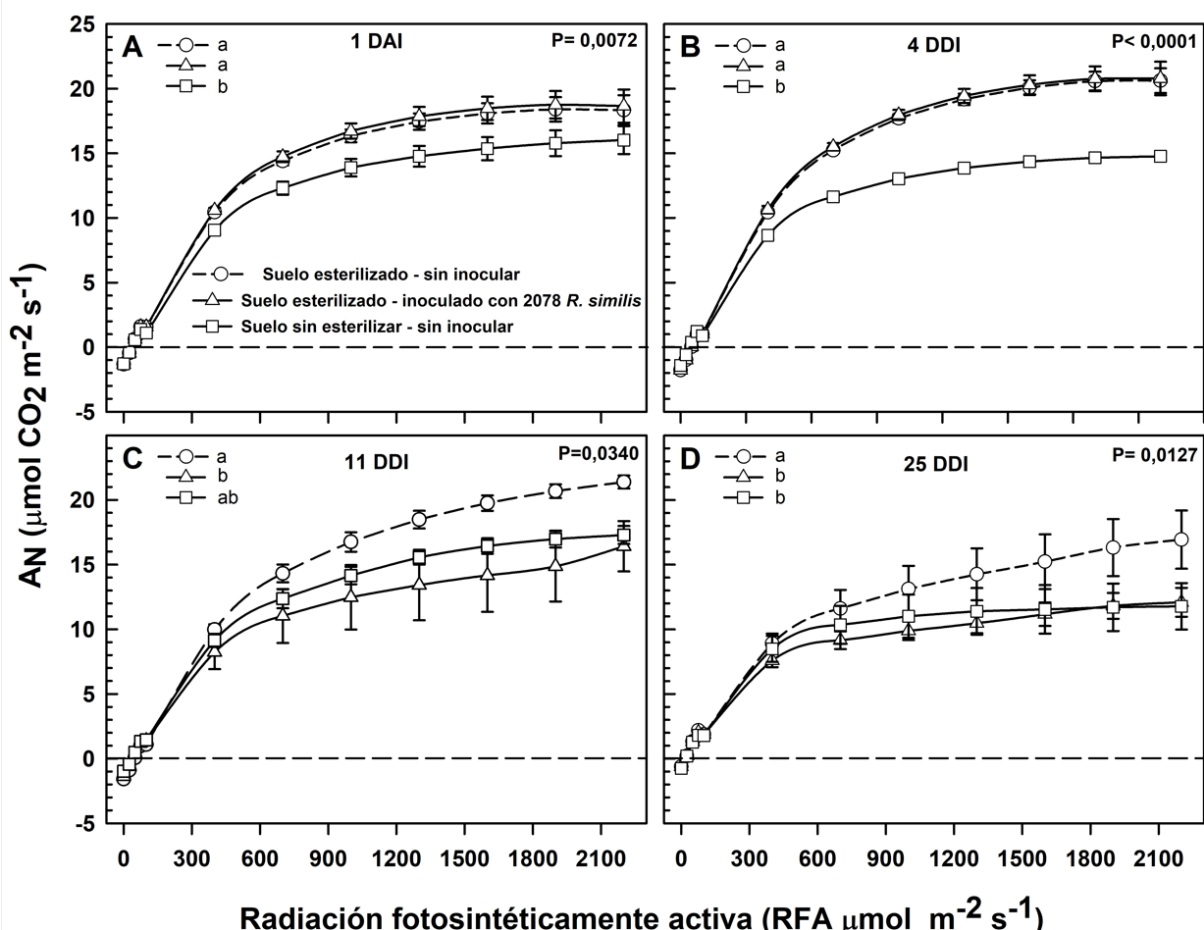


Figura 2. A-D. Curva de respuesta de la asimilación neta de CO₂ a la radiación fotosintética activa (RFA) de plantas de banana (*Musa AAA cv Grande Naine*) antes (A) y a los 4 (B), 11 (C) y 25 (D) días después de la inoculación o no con 2000 (2078 ± 63) *Radopholus similis*. Cada punto es la media $\pm$ error estándar de 10 observaciones. 1DAI= un día antes de la inoculación y 4, 11 y 25 DDI= 4, 11 y 25 días después de la inoculación.

La esterilización del suelo fue efectiva, dado que, en las plantas cultivadas en dicho suelo, sin inoculación, no se encontraron nematodos al final del experimento. Adicionalmente, la esterilización permitió determinar la efectividad de la inoculación con *R. similis*, siendo que aquellas plantas cultivadas en el suelo esterilizado que fueron inoculadas, se obtuvo una población de 50758 *R. similis* por 100 g de raíces al final del experimento. En las plantas cultivadas en suelo no esterilizado y sin inocular, se encontró 23733 *R. similis* por 100 g de raíces por planta, lo cual es razonable porque el suelo era de una plantación bananera infestada de nematodos.

La menor tasa fotosintética se encontró en las plantas infectadas por *R. similis*, indistintamente de si el peso de la raíz y el follaje se vieran afectados. Esto confirma que la infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en las raíces y el follaje, consistentemente reduce su tasa de fotosíntesis, lo que a largo del ciclo de la planta reduciría el rendimiento del cultivo. Dependiendo del momento de la evaluación, la reducción en la tasa fotosintética en las plantas infectadas varió entre 12 y 33% lo que es congruente con lo encontrado por Schans (1991) quien reportó una reducción del 38% en la tasa de fotosíntesis del cultivar de papa Irene y del 43% en el cultivar Darwina infectado por *Globodera pallida*. Swain y Prasad (1989) en arroz inoculado con 100 juveniles de *Meloidogyne graminicola* por maceta encontraron una reducción en la tasa fotosintética de entre el 19 y el 25%.

En plantas de tomate inoculadas con *Meloidogyne ethiopica* se informó una reducción del 70% en fotosíntesis (Strajnar et al. 2012). En café (*Coffea arabica* 'cv. Catuaí amarillo) la inoculación de 1500 juveniles de *Meloidogyne exigua* o *Meloidogyne paranaensis* provocó 17 y 33%, respectivamente, de reducción en la fotosíntesis (Goulart et al. 2019). Otros autores como Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973) informaron que el parasitismo de las raíces de tomate por *Meloidogyne javanica* disminuyó su fotosíntesis. Franco (1980) en plantas de papa parasitadas con *Globodera rostochiensis*, Melakeberhan et al. (1984) en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) infectadas por *Meloidogyne incognita*, y Melakeberhan y Ferris (1989) en plantas de uva (*Vitis vinifera*) infectadas con *M. incognita* también encontraron menor fotosíntesis. Otros cultivos donde el parasitismo de las raíces por nematodos redujo la fotosíntesis de las hojas son; soja (*Glycine max*) parasitada por *Heterodera glycines* raza-3 (Asmus y Ferraz 2002), algodón (*Gossypium hirsutum*) parasitada por *Meloidogyne incognita* (Lu et al. 2014), *Arabidopsis thaliana* infectada por *Heterodera schachtii* (Labudda et al. 2018).

La reducción en la fotosíntesis de las hojas de banano se dio con la inoculación de 2078 juveniles de *R. similis* por maceta, pero en arroz, se reportó una reducción en la fotosíntesis de las hojas con la inoculación de solo 100 juveniles de *Meloidogyne graminicola* (Swain y Prasad 1989) y en tomate con la inoculación de 250 larvas de *Meloidogyne javanica* (Wallace 1974). Por lo tanto, lo más probable es que la inoculación de números más bajos de *R. similis* también pueda dar como resultado tasas fotosintéticas más bajas.

La reducción de la fotosíntesis con la población inoculada de 2078 nematodos se confirmó en la evaluación realizada a los 4 días después de la inoculación, con una reducción del 12%, la cual ocurrió antes de la reproducción del nematodo, ya que su

ciclo de vida dura 24 días (Guzmán 2011). Si estas bajas poblaciones reducen la fotosíntesis, entonces deberían relacionarse con los umbrales económicos de nematodos indicados para el banano, lo que sustentaría lo encontrado por Guerout (1972) en Costa de Marfil quien sugirió 1000 *R. similis* por 100 g de raíces y con lo indicado por INIAP (2018) de 2500 por 100 g de raíces en Ecuador. También coincide parcialmente con la cifra de 5000 por 100 g de raíces sugerida por Chávez et al. (2020) para banano en Ecuador.

Esta rápida reducción de la fotosíntesis de las hojas después de la infección por nematodos también se ha reportado en otros cultivos. Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973) en plantas de tomate, encontraron que *Meloidogyne javanica* disminuyó la fotosíntesis de las hojas dos días después de la invasión de las raíces. En plantas de papa, parasitadas con *Globodera rostochiensis* (Franco 1980) o *Globodera pallida* (Schans 1991), se encontró una reducción en la fotosíntesis tres días después de la infección del nematodo. Melakeberhan et al. (1984) en *Phaseolus vulgaris*, citaron una reducción en la fotosíntesis de las hojas 3 días después de la invasión de *Meloidogyne incognita*, y Labudda et al. (2018) indicaron una reducción en fotosíntesis en *Arabidopsis thaliana* 7 días después de la invasión de *Heterodera schachtii*.

Esto significa que raíces que se piensa que están sanas por tener coloración blanca o crema, sin síntomas obvios de daños por nematodos, no siempre, ni necesariamente están libres de nematodos. Wang et al. (2003), Niblack (1993), Mai (1985), McKenry y Roberts (1985), Ayoub (1980), indican que pérdidas en rendimiento pueden ocurrir cuando una o más especies de nematodos pueden estar alimentándose de una planta determinada, sin mostrar signos o síntomas obvios o específicos.

La reducción en fotosíntesis ocurrió en todos los momentos de evaluación en las plantas con nematodos. Esto concuerda con las observaciones de Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973), quienes encontraron una disminución de la fotosíntesis a lo largo del crecimiento del cultivo. Esto significa que en plantas de banano infectadas con nematodos la emisión de hojas se retrasaría y se alargaría el ciclo del cultivo.

La reducción en fotosíntesis probablemente se debe a una alteración de la eficiencia de los procesos fisiológicos en toda la planta inducida por el parasitismo de los nematodos (Hussey y Williamson, 1998). Se sabe que las actividades de alimentación y migración de los nematodos alteran el tejido de las raíces y alteran el crecimiento de las raíces (Wilcox-Lee y Loria 1987) y, en consecuencia, el huésped tiene una deficiencia en la absorción de agua y nutrientes (Strajnar et al., 2012, Hurchanik et al., 2004). Labudda et al. (2018) encontraron que *Heterodera schachtii* alteró los procesos fisiológicos de la planta de *Arabidopsis thaliana*. Fatemy et al.

(1985) sugirieron que la reducción de la tasa fotosintética en plantas de papa infectadas por *Globodera rostochiensis* se debía al cierre de los estomas inducido por el estrés hídrico. De manera similar, Goulart et al. (2019) trabajando con plántulas de café infectadas con *M. exigua* o *M. paranaensis* encontraron alteraciones en la fisiología de la planta como reducción en la transpiración, conductancia estomática, concentración de CO₂ y en la tasa fotosintética. Por lo tanto, la fotosíntesis es un proceso crucial que determina el rendimiento de los cultivos y consiste en una secuencia de eventos que se interactúan entre sí. En este sentido, cualquier alteración en su equilibrio puede alterar el proceso fisiológico. Una reducción en la fotosíntesis da como resultado una menor tasa de crecimiento de raíces y follaje, menos vigor, menor tasa de emisión de hojas, menor peso del racimo que en conjunto termina con una menor productividad.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en raíces y follaje, consistentemente reduce su fotosíntesis, lo que a largo del ciclo reduciría el rendimiento del cultivo.

REFERENCIAS

1. Asmus GL, Ferraz LCCB. 2002. Effect of population densities of *Heterodera glycines* race 3 on leaf area, photosynthesis, and yield of soybean. Fitopatología Brasileira 27:273-278. DOI:10.1590/S0100-41582002000300006
2. Ayoub SM. 1980. Plant nematology an agricultural training AID. NemaAid Publication. Sacramento, California. 195p
3. Chávez C, Rubio D, Tobar M, Salas E, Araya M. 2020. Number of nematicide cycles per year on banana (*Musa* AAA cv Valery) root nematode control and crop yield. International. Journal of Science and Research, 9(7):1651-1663. DOI: 10.21275/SR20722023421
4. Fatemy F, Trinder PKE, Wingfield JN, Evans K. 1985. Effects of *Globodera rostochiensis* and water stress and exogenous abscisic add on stomatal function and water use of Cara, and Pentland Dell potato plants. Revue de Nematologie 8(3):249-255.
5. Franco J. 1980. Effect of potato cyst-nematode, *Globodera rostochiensis*, on photosynthesis of Potato plants. Fitopatologia 15:1-6.