

PRÁCTICAS DE MANEJO CONVENCIONAL E INTEGRADO DEL NEMATODO DEL QUISTE DE LA PAPA (*Globodera pallida* Stone 1973) EN CARTAGO, COSTA RICA¹

Álvaro Rodríguez Cordero², Ricardo Piedra Naranjo³, Walter Peraza Padilla⁴

RESUMEN

Prácticas de manejo del nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida* Stone 1973) en Cartago, Costa Rica. El género *Globodera*, conocido como el nematodo del quiste de la papa, es una de las principales plagas de este tubérculo a nivel mundial y en Costa Rica es uno de los aspectos fitosanitarios que más afectan este cultivo. El objetivo general de este estudio fue comparar la densidad poblacional de *Globodera pallida* en parcelas manejadas con prácticas convencionales versus las que se les implementó un manejo integrado. El estudio se realizó en la Estación Experimental Carlos Durán en Oreamuno de Cartago, durante septiembre de 2016 a febrero de 2017. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para el tratamiento convencional (TC) y Tratamiento Integrado (TI). Estas muestras se utilizaron para evaluar la viabilidad de quistes en 250 g de suelo, así como obtener el promedio de huevos y larvas en 25 unidades. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado de mediciones repetidas con el tiempo (muestreos) para las variables quistes y larvas de *G. pallida*, mediante el procedimiento Mixed de SAS® 9.4. No se encontraron diferencias significativas en la interacción de los tratamientos por muestreo con relación a la cantidad de quistes presentes en 250 g de suelo, bajo las condiciones de estudio, entre los dos métodos de manejo (convencional e integrado).

Palabras clave: Control biológico, nematodo quiste de la papa, umbral de daño, viabilidad.

- 1 Esta investigación formó parte de los resultados del trabajo final de graduación de Licenciatura en Agronomía del primer autor. Universidad Nacional (UNA). Costa Rica.
- 2 Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Región Valle Occidental. San Ramón, Alajuela. Costa Rica. varorodri07@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8563-275X>)
- 3 ripina2@gmail.com (Investigador jubilado. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) <https://orcid.org/0000-0002-1433-1834>).
- 4 Universidad Nacional, Laboratorio de Nematología, Heredia, Costa Rica. Apartado Postal 86-3000. walter.peraza.padilla@una.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4651-5555>).

ABSTRACT

Management practices of the potato cyst nematode (*Globodera pallida* stone 1973) in Cartago, Costa Rica. The genus *Globodera*, known as the potato cyst nematode (PCN), is one of the main pests of this tuber worldwide, and in Costa Rica it is one of the phytosanitary aspects that most affects this crop. The general objective of this study was to compare the population density of *Globodera pallida* in plots managed with conventional practices versus those in which integrated management was implemented. The study was conducted at the Carlos Durán Experimental Station in Oreamuno de Cartago, from September 2016 to February 2017. A randomized complete block design with three repetitions was used for the Conventional Treatment (CT) and Integrated Treatment (IT). These samples were used to assess the viability of the cyst in 250 g of soil, as well as to obtain the average number of eggs and larvae in 25 cysts. Data were analyzed using a generalized linear model for repeated measurements over time (samplings) for the variables cysts and *G. pallida* larvae, using the SAS® 9.4 Mixed procedure. No significant differences were found in the interaction of the sampling treatments in relation to the number of cysts present in 250 g of soil, under the study conditions, between the two management methods (conventional and integrated).

Keywords: Biological control, potato cyst nematode, damage threshold, viability.

INTRODUCCIÓN

El género *Globodera* spp., es un nematodo que pertenece a la familia Heteroderidae y es conocido por causar pérdidas importantes en rendimiento en los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en todo el mundo (Sullivan et al., 2007). El origen de esta plaga se sitúa en las montañas de los Andes en América del Sur y fue introducida a Europa en el siglo XIX a través del cultivo de la papa (OIRSA, 2015). La distribución de esta plaga es amplia y se registra principalmente en el hemisferio norte, centro y sur de Europa, así como en Sudamérica, Centroamérica y México (Vilca, 2013).

A nivel mundial, las pérdidas en el rendimiento del cultivo de papa debido a esta plaga son significativas, estimándose en 100 millones de dólares (Barría, 2010). Además, los costos adicionales asociados con el uso de nematicidas ascienden a aproximadamente 13.5 millones de dólares (Lord et al., 2011). Este nematodo reduce tanto la calidad como la cantidad de los tubérculos, lo que provoca pérdidas de hasta un 12 % del promedio mundial (García, 2006).

Se estima que la presencia de 20 huevos por gramo de suelo de *G. pallida* es suficiente para ocasionar pérdidas de alrededor de 2t/ha en el cultivo de papa. Además, cuando las densidades poblacionales de esta plaga son muy altas, aproximadamente el 80 % de la cosecha de este tubérculo no se llega a aprovechar (Smith et al., 1997).

En Centroamérica, los primeros reportes de la presencia de *G. pallida* se documentaron en 1967 en Panamá, en donde se propagó rápidamente y causó problemas graves en los cultivos de papa (Servicio Fitosanitario del Estado, 2015). En Costa Rica, se confirmó en 2005 la presencia de *G. pallida* en una investigación llevada a cabo por el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Costa Rica. Esta investigación se realizó en una finca que cultivaba la variedad Floresta, ubicada en las cercanías del volcán Irazú (Coto, 2005).

Las zonas de Cartago y Zarcero, al ser las áreas con mayor producción y cultivo de papa en Costa Rica, se ven afectadas por la incidencia de nematodos fitoparásitos, incluidos los del género

Globodera (Servicio Fitosanitario del Estado, 2015). Esta plaga provoca diversos síntomas en el cultivo, como amarillamiento, crecimiento lento, clorosis y marchitez de las plantas, lo que a su vez reduce de la calidad y el rendimiento de la producción (Coto, 2005).

En las raíces del cultivo de la papa, es común observar la formación de quistes, excesiva ramificación, puntas dañadas, lesiones y pudriciones, especialmente cuando las infecciones de estos nematodos se acompañan de otros patógenos como bacterias y hongos (Martínez, 2011). Las plantas afectadas también experimentan reducción en la producción, lo que resulta en bajos rendimientos y en una disminución considerable de las parcelas y fincas.

La propagación de los estadios juveniles es baja y se limita principalmente a las raíces de la planta hospedera. Sin embargo, su dispersión pasiva puede ocurrir a largas distancias a través de la tierra adherida en maquinaria agrícola y tubérculos cosechados (Ebrahimi et al., 2016). Prácticas de manejo inapropiadas, como la venta de semillas no certificadas, el uso inadecuado del agua, la manipulación del suelo y la limpieza de herramientas pueden contribuir también a su dispersión (Piedra, 2012). De acuerdo con Martínez (2012), el método más común de propagación del nematodo es el traslado de semillas de papa de una finca a otra.

Diversas estrategias de control son empleadas para prevenir el aumento de las poblaciones de este nematodo. Estas prácticas incluyen la rotación de cultivos, el mejoramiento genético, el uso de técnicas culturales adecuadas y la recolección de rastrojos (Andrés, 2002). Adicionalmente, para el manejo de *Globodera*, se llevan a cabo aplicaciones de hongos nematófagos, el uso de plantas antagónicas, biofumigantes y la incorporación de enmiendas orgánicas, así como la aplicación nematicidas químicos (Valencia-Serna et al., 2014; Schapovaloff et al., 2015; Vázquez et al., 2020).

En la actualidad, existe una creciente tendencia a reemplazar los métodos químicos por alternativas más sostenibles como el uso de productos botánicos, solarización, enmiendas, rotación de cultivos, agentes control biológico entre otros (Ochola et al., 2020). Este cambio se debe a la preocupación por la contaminación y la necesidad de conservar el ambiente (Lord et al., 2011). Sin embargo, muchos productores no implementan medidas para prevenir la diseminación de la plaga en sus fincas, lo que lleva a las casas comerciales a promover el uso de nematicidas químicos en grandes cantidades, a menudo sin un conocimiento claro sobre su eficacia contra la plaga. Esta situación resulta en contaminación ambiental y un aumento de los costos de producción (Franco et al., 1993).

Varios estudios han demostrado que la incorporación de enmiendas orgánicas en suelos infestados con nematodos puede tener efectos positivos en la dinámica de los patógenos, al introducir organismos antagonistas y mostrar efectos tóxicos durante la descomposición (Termorshuizen et al., 2011). El manejo integrado no busca erradicar la plaga, sino mantener sus poblaciones a niveles que no causen daño económico (Rivera, 2009). Con base en este enfoque, es fundamental comparar métodos convencionales con el manejo integrado de plagas para mejorar la efectividad de las técnicas de control, reducir las poblaciones de nematodos y optimizar la productividad de los cultivos y los costos económicos asociados a su implementación.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar prácticas de manejo integrado y convencional y su efecto en la densidad poblacional del nematodo *G. pallida* en el cultivo de la papa en la Estación Carlos Durán en Oreamuno, Cartago, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El estudio se llevó a cabo desde septiembre de 2016 hasta febrero de 2017 en la Estación Experimental Carlos Durán, ubicada en Potrero Cerrado de Oreamuno, Cartago (N 09°55'08", O 83°52'43"). La zona de estudio se encuentra en un área subtropical húmeda, a una altitud de 2335 metros sobre el nivel del mar. Los suelos utilizados son de origen volcánico y la temperatura promedio fue de 17 °C, con una precipitación anual promedio de 2600 mm (Quesada, 2007; Tencio, 2013).

Durante el ensayo, la temperatura osciló entre 7° y 25 °C, condiciones que resultaron óptimas para el cultivo de papa. Además, no se experimentaron periodos de sequía debido a la presencia de una temporada de lluvias que se extendió desde mayo hasta enero en la zona.

Tratamientos

Los tratamientos evaluados para el combate del nematodo *G. pallida* fueron los siguientes:

Tratamiento convencional (TC): Se aplicó el nematicida químico carbamato durante la siembra en una cantidad de 0.0315 L en los 180m². Se realizó una segunda aplicación del mismo producto al momento de la aporca (22 días después de la siembra) en enero de 2017, con la misma dosis aplicada anteriormente. En este tratamiento, no se retiraron los rastrojos de papa después de la cosecha, lo que imitó la práctica común de los agricultores locales.

Tratamiento integrado (TI): Se empleó la cepa INTA H4 del hongo *Trichoderma* sp., combinada con la recolección de los rastrojos de papa. Esta cepa pertenece al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). La primera aplicación se realizó a la siembra con una concentración de 8.4×10^6 conidios por mL. La segunda se llevó a cabo 22 días después, con una concentración del hongo de 2.0×10^7 conidios por mL de agua. La última se efectuó también con una concentración de 2.0×10^7 conidios del hongo por mL de agua una vez concluida la cosecha.

La siembra de tubérculos para ambos tratamientos se realizó a los 18 días del mes de octubre del año 2016 con el uso de la variedad Floresta. La fertilización se llevó a cabo según los análisis previos de la fertilidad del suelo de la parcela. La primera aplicación de fertilizante fue rica en fósforo con la fórmula 10-30-10. La segunda aplicación se realizó durante la aporca con una fórmula completa 18-5-15-6-0.2, que consistió en la aplicación de elementos mayores junto con la incorporación de sulfato de magnesio (6) y boro (0.2).

La primera aplicación de fertilizante fue rica en fósforo con la fórmula 10-30-10. La segunda aplicación se realizó durante la aporca con una fórmula completa 18-5-15-6-0.2, que consistió en la aplicación de elementos mayores junto con la incorporación de sulfato de magnesio (6) y boro (0.2).

En el tratamiento convencional, se emplearon medidas de control de plagas y enfermedades, que incluyeron la aplicación de un nematicida carbamato y un fungicida Tolclofos-metil. Este producto químico tuvo una acción preventiva y curativa contra la pudrición seca causada por el hongo *Fusarium* sp.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en una parcela sembrada con la variedad de papa Floresta. El área de cada parcela fue de 60 m², con una separación de 0,85 m entre surcos y 0,25 m entre plantas. Cada parcela consistió en 35 plantas distribuidas en seis surcos, de las cuales 6; de estas, se utilizaron 6 plantas (las dos centrales de cada surco) para el ensayo, lo que sumó un total de 12 plantas útiles por parcela.

Las parcelas empleadas en este ensayo ya habían experimentado previamente la presencia de nematodos del género *Globodera* debido a cultivos anteriores de papa, lo cual se consideró como una infestación o inóculo inicial.

En cada unidad experimental se llevaron a cabo mediciones repetidas a lo largo del tiempo (muestreros), realizando un total de seis muestreros en cada bloque experimental.

Muestreo de suelo

Se llevaron a cabo seis muestreos para evaluar la densidad poblacional de quistes, larvas y huevos de *Globodera* en 250 g de suelo. La metodología consistió en tomar 10 puntos cerca de las raíces de las plantas con un barreno mediante recorridos en forma de zigzag a una profundidad de entre 15 a 25 cm en cada parcela de 60 m².

La primera recolecta de suelo realizó en septiembre del 2016, es decir, un mes antes de la siembra y culminó en febrero de 2017, un mes después de la cosecha. De esta manera se tomaron para un total de treinta y seis muestras según los tratamientos (18 de manejo convencional y 18 manejo integrado).

Luego, el suelo de cada tratamiento se mezcló y cuarteó hasta obtener un 1 kg por unidad experimental y se trasladó al laboratorio de Nematología del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) para su procesamiento y análisis.

Metodología para la extracción de quistes

Se empleó el método de Fenwick modificado (Fenwick, 1951; Oostenbrink, 1950) para extraer los quistes de suelo, utilizando una muestra de 250 g de suelo y un tamiz de 100 mesh (0.038 mm de abertura y un diámetro de 0,035 mm). Este procedimiento se basó en principios de separación por densidad, lo que permitió separar los quistes de los residuos orgánicos presentes en la muestra de suelo.

El suelo que tenía los quistes se transfirió a un balón aforado de 1 L, previamente llenado hasta la mitad con agua destilada. La muestra de 250 g de suelo fue agitada y mezclada para asegurar una dispersión homogénea y luego se completó el llenado del balón con más agua. A continuación, la mezcla se dejó reposar durante un minuto, lo que permitió que los quistes flotarán a la superficie mientras la materia orgánica más pesada se precipitaba al fondo. Después de este tiempo, el balón se inclinó cuidadosamente para permitir que la fracción superior, que contenía los quistes y las partículas flotantes, se decantara hacia

otro embudo que estaba equipado con papel para filtración. Este procedimiento garantizó que los quistes y las partículas flotantes quedaran atrapados y evitó que pasaran al balón aforado. Finalmente, la muestra filtrada se dejó secar a temperatura ambiente entre 24 y 25 °C. Una vez seco, los quistes fueron extraídos para proceder con los conteos y análisis correspondientes.

Metodología de viabilidad de larvas y huevos en quistes

Los quistes recolectados sobre el papel para filtración se utilizaron para realizar una prueba de viabilidad. Primero, se identificaron cuáles eran potencialmente de *Globodera* según sus características morfológicas. Luego, se llevó a cabo la extracción y obtención del promedio de huevos y juveniles en 25 ejemplares. Estos se trituraron con un homogenizador y se colocaron en 50 mL de agua. Posteriormente, se tomaron 2 mL de esta mezcla (quistes triturados más agua) con una pipeta y se transfirieron a una cámara de conteo donde se observaron al microscopio. Este proceso se repitió tres veces para obtener un promedio de la cantidad de huevos y juveniles en las tres alícuotas y mediante la siguiente fórmula se determinó la viabilidad de quistes (Piedra et al., 2008):

$$VT = \frac{\text{Prom. } 2 \text{ ml} \times \text{Vol. H}_2\text{O}}{Q}$$

Dónde:

VT= Viabilidad Total

Prom= Promedio de 3 alícuotas

Q= Número de quiste

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de mediciones repetidas en el tiempo (muestreos) para las variables quistes y larvas de *G. pallida* utilizando el procedimiento Mixed de SAS® 9.4. Este análisis permitió evaluar la variabilidad de los datos y relacionar las mediciones a lo largo del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico reveló que tanto el tratamiento convencional (TC) como el tratamiento integrado (TI) mostraron efectos similares en cuanto a la cantidad de quistes presentes, con un valor de ($p=0.1702$). Esto indica que no se encontraron diferencias significativas ($p=0.4399$) en la interacción de los tratamientos por muestreo en 250 g de suelo. Sin embargo, al observar las tendencias en las poblaciones de nematodos a lo largo del tiempo, se identificaron algunas variaciones entre los tratamientos, lo que sugiere que, a pesar de la falta de diferencias significativas, hubo una reducción en el número de quistes en uno de los meses en que se realizó el muestreo (Figura 1),

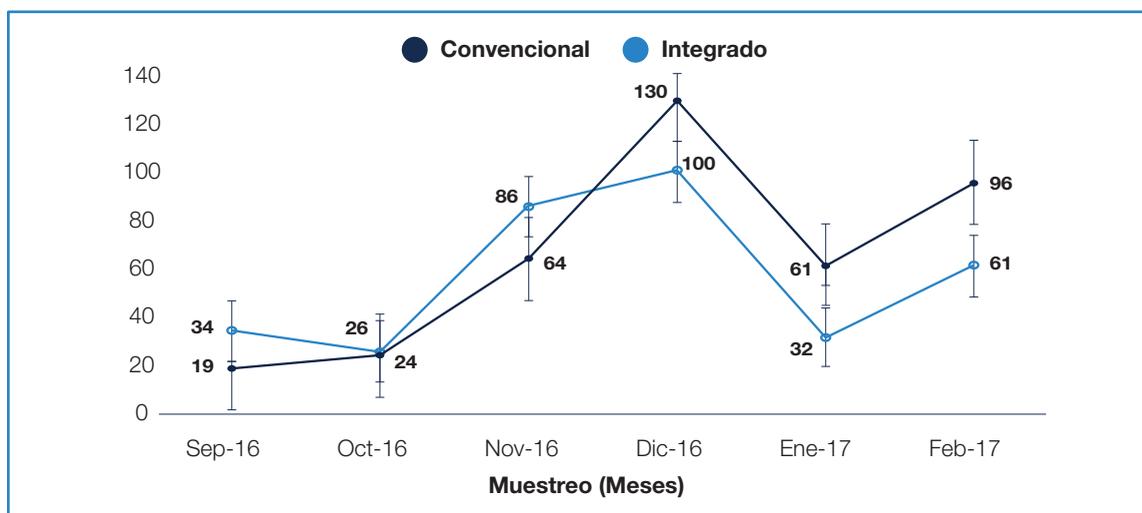


Figura 1. Efecto del tratamiento convencional e integrado sobre quistes de *G. pallida* por gramo de suelo. Estación Carlos Durán, Oreamuno, Cartago 2017.

Durante los primeros muestreos (mes 1 y 2), se registraron cantidades de 19 y 24 quistes para el (TC), mientras que en el (TI) se observó un incremento a 34 y 26. Este patrón inicial coincidió con la emergencia y el crecimiento del sistema radicular de la planta, lo que creó condiciones propicias para el establecimiento de los nematodos. A medida que avanzó la fase fenológica del cultivo, la población de quistes aumentó sustancialmente en los meses 3 y 4, donde alcanzó totales de 64 y 130 quistes en el (TC) y 86 y 100 en el (TI). Este aumento coincidió con la etapa de tuberización y el llenado de los tubérculos, donde las plantas transportan nutrientes a través del sistema radical, lo que intensifica su actividad fisiológica y facilita el surgimiento de nematodos (Rosende & Cabaleiro, 2003).

Al llegar al quinto muestreo, se observó una disminución en la cantidad de quistes en el (TC), con una reducción de 61 quistes respecto al mes

anterior, mientras que en el (TI) la disminución fue de 32 quistes en el mismo periodo. Esta disminución podría asociarse a la fase final de llenado de los tubérculos en el cultivo, reflejando una interacción compleja entre el ciclo de vida del nematodo y las etapas fenológicas del cultivo de la papa (Silva, 2018).

En el último muestreo del sexto mes, se registró un aumento en la cantidad de quistes en ambos tratamientos. En el (TC), la cantidad de quistes pasó de 61 a 96, mientras que en el (TI) aumentó de 32 a 61. Este incremento coincidió con la fase de maduración de los tubérculos y el inicio de un nuevo ciclo de *G. pallida*, que se completa en aproximadamente 65 días (Silva, 2018) (Figura 2).

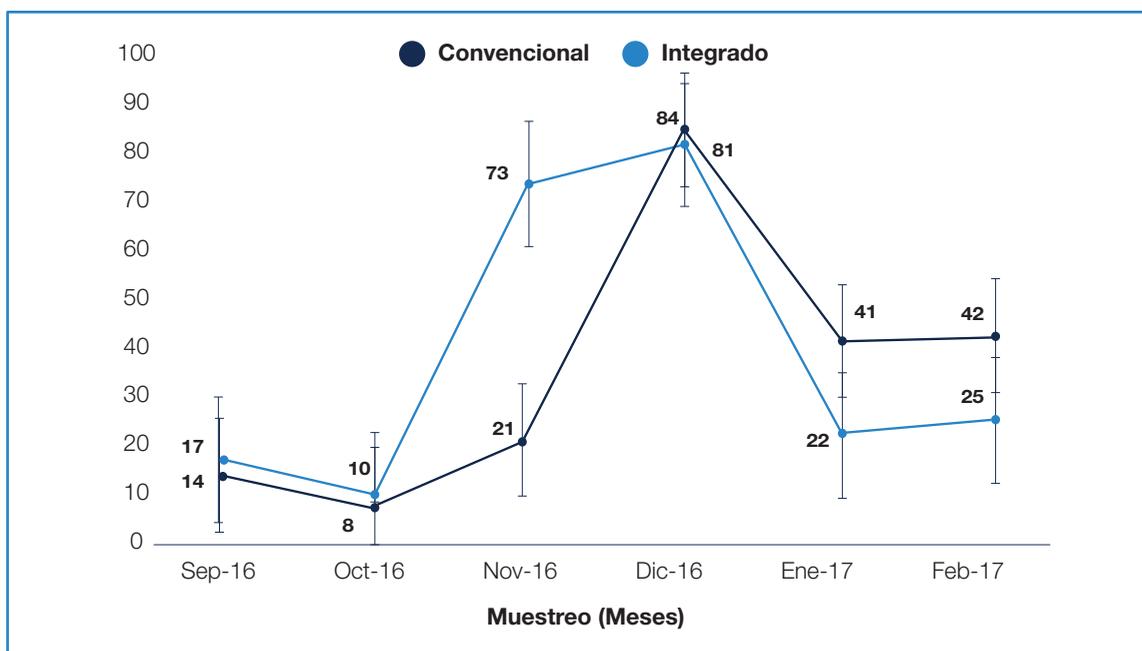


Figura 2. Variación en la cantidad de juveniles y huevos de *G. pallida* por gramo de suelo según tratamiento. Estación Carlos Durán, Oreamuno, Cartago 2017.

Con respecto a los rastros dejados en el tratamiento convencional (TC) y a aquellos recolectados en el tratamiento integrado (TI), se determinó que los rastros pueden contener quistes de *G. pallida*. Al dejarlos en el suelo, se fomenta la persistencia de estos organismos, lo que puede resultar en un aumento de la población de nematodos en ciclos futuros de cultivo. Esto se evidenció al final del sexto mes de muestreo, donde se registró un incremento en la cantidad de quistes. Este aumento recurrente en el tratamiento integrado (TI) podría deberse a que, aunque se implementan prácticas de manejo que buscan minimizar la población de nematodos, aún se mantienen rastros y quistes en el suelo que sirven de fuente de inóculo, permitiendo así la persistencia de *G. pallida*. Además, es posible que la rotación de cultivos y la inclusión de especies resistentes en el TI no sean suficientes para contrarrestar el efecto acumulativo de los quistes presentes en el suelo, lo que resulta en una mayor población de nematodos en comparación con el tratamiento convencional (TC). Como se mencionó anteriormente, esta práctica de dejar rastros es común entre los productores de papa.

En cuanto a juveniles y huevos de *G. pallida*, no se encontraron diferencias significativas por g de suelo entre los tratamientos, lo que reflejó

un comportamiento similar al observado con los quistes. No obstante, se observaron variaciones en función del mes en que se recolectaron las muestras (Figura 3).

En el primer muestreo, se registraron 14 juveniles por g de suelo en el (TC) y 17 en el (TI). En el segundo muestreo, ambos tratamientos mostraron una disminución en la cantidad de larvas, con 8 en el (TC) y 10 en el (TI). Sin embargo, en el tercer muestreo, se observó un aumento notable de juveniles en el (TI), con un total de 73, a diferencia con el (TC), que alcanzó 21 juveniles (Figura 3). Esta diferencia en el número de juveniles podría estar relacionada con el tratamiento integrado que incorporó la cepa INTA H4 del hongo *Trichoderma* sp., la cual pudo ejercer algún control sobre la población de juveniles.

El aumento en la cantidad de juveniles de *G. pallida* podría asociarse con diversos factores. Los exudados radicales liberados por las raíces de la planta, que incluyen el glicoalcaloide solanina, inducen al nematodo a alimentarse y provocan cambios fisiológicos en el quiste que promueven su eclosión. Además, estos exudados radicales son estimulantes que influyen en el comportamiento del nematodo (Cañón y Sanabria 2017). Otros factores ambientales, como la temperatura

y la humedad del suelo, también pueden desempeñar un papel crucial en el desarrollo y eclosión de estos juveniles.

Sobre este tema, Robertson y Bello (2009), indican que la solanina desempeña un papel crucial en la eclosión y desarrollo del nematodo, ya que afecta la estructura de las glándulas esofágicas y modula la expresión genética, lo que le impide que pueda parasitar. Se ha encontrado que el aumento en el número de juveniles de *G. pallida* está vinculado tanto al desarrollo fenológico del cultivo como a las condiciones ambientales durante el estudio (Piedra, 2012). Esta relación sugiere que el manejo agronómico debe considerar el ciclo de vida del nematodo y las etapas de crecimiento de la papa para optimizar las estrategias de control.

Con respecto al cuarto muestreo, ambos tratamientos mostraron cantidades semejantes de juveniles, con 84 en el (TC) y 81 en el (TI). Al llegar al quinto muestreo, se observó una reducción en la cantidad de juveniles para ambos tratamientos, con 41 en el (TC) y 22 en el (TI). En el último muestreo, tanto el (TC) como el (TI) presentaron cifras similares de juveniles, con 42 en el (TC) y 25 en el (TI). Estos resultados podrían estar influenciados por factores ambientales, como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes, que pueden afectar la actividad y el desarrollo de estos nematodos (Piedra, 2012).

Numerosos estudios indican que *Trichoderma* no solo disminuye la incidencia y reproducción de *G. pallida*, sino que también ofrece protección en la rizosfera sin los impactos contaminantes de sustancias químicas en el suelo (Bustillo, 2008; Sharon et al., 2001; Dandurand & Knudsen 2016; Contina et al., 2017). Investigaciones realizadas por Verma et al. (2007) destacan que este hongo podría tener beneficios adicionales relacionados a su capacidad para degradar agroquímicos como endosulfan y pentaclorofenol debido a la producción de enzimas como hidrolasas, peroxidasas, lacasas y enzimas líticas.

Se utilizó la cepa INTA H4 de *Trichoderma* para evaluar su efecto nematicida, aprovechando tanto sus propiedades como agente de control

biológico así como su capacidad para mejorar la salud del suelo al reducir la dependencia de químicos. Este hongo es una herramienta esencial en el manejo integrado de plagas (MIP) debido a su capacidad para mejorar la estructura del suelo, facilitando interacciones dinámicas con diversos microorganismos. También desempeña un papel en la descomposición de la materia orgánica, lo que contribuye a convertir los nutrientes en formas más disponibles y absorbibles para las plantas (Ortuño et al., 2013). Además, Chiriboga et al. (2015) mencionan su capacidad para estimular el crecimiento mediante la producción de metabolitos como terpenos, terpenoides, fenoles y alcaloides que promueven procesos de desarrollo en las plantas.

En la zona donde se llevó a cabo el estudio, los productores suelen aplicar químicos en la siembra de manera tradicional (Ramírez-Muñoz et al., 2014). No obstante, esta práctica no tendría un impacto significativo en el nematodo, ya que en ese momento los juveniles aún no han eclosionado de los quistes y las plantas de papa se encuentran en una fase de brotación. Durante este período transformación, el sistema radicular de la planta no está completamente formado, lo que limita la producción de exudados radicales en función del estado fenológico del cultivo (Desgarennes et al., 2006).

De acuerdo con Piedra (2012) la aplicación de un nematicida al comienzo de la siembra no afecta a los juveniles, ya que este tipo de producto no puede ingresar al quiste. Además, esta práctica podría disminuir la cantidad y efectividad de microorganismos beneficiosos en el suelo. Por otro lado, la composición mayoritaria de quitina y la resistencia del quiste impiden que sea penetrado o degradado por algún producto químico (Stirling, 1991). El quiste funciona como una capa protectora que resguarda los huevos y juveniles que se encuentran en su interior, lo que hace que la entrada efectiva del nematicida sea prácticamente imposible (Talavera, 2003).

Algunos productos químicos pertenecientes al grupo de los carbamatos que se emplean para combatir a *Globodera* actúan de manera sistémica en el cultivo. Sin embargo, los daños que este nematodo ocasiona al sistema

radicular impiden que el nematicida sea absorbido de manera eficaz por la planta. Según Arteaga (2018), la presencia de daños en el sistema radicular dificulta la absorción eficaz de nematicidas, lo que se traduce en la necesidad de realizar múltiples aplicaciones para un control efectivo.

Esta situación conlleva problemas relacionados con la persistencia del efecto debido a la continua aplicación de un único grupo de nematicidas, además de estar vinculada a una alta dinámica del producto químico en el suelo. Esta movilidad tiene un impacto negativo en las cadenas tróficas del suelo (Haydock *et al.*, 2006) y genera gastos económicos adicionales para los agricultores.

En Costa Rica, Piedra (2012) determinó los umbrales de daño causado por *G. pallida* en la variedad Floresta, los cuales se utilizaron en esta investigación. Este estudio estableció que a partir de trece juveniles y huevos por gramo de suelo, comienzan a manifestarse daños en las plantas. En el presente estudio, ambos tratamientos superaron este umbral, con valores máximos de 130 juveniles por g de suelo en el manejo convencional y 100 juveniles por g de suelo en el manejo integrado. Estas densidades poblacionales elevadas pueden reducir los rendimientos del cultivo en hasta un 80 %, aumentar los costos de producción, disminuir la calidad y el peso de los tubérculos. Además, un aumento significativo en la cantidad de juveniles de este nematodo podría ocasionar retraso fisiológico y una reducción en el sistema radicular de las plantas de papa (Vignola *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

Esta investigación evidencia que las altas densidades poblacionales de *G. pallida* en el cultivo de papa superó los umbrales críticos que causan daños significativos, lo que resalta la necesidad de un monitoreo regular y de implementar medidas de manejo integradas para mitigar su efecto negativo en la producción de este tubérculo.

El manejo integrado de *G. pallida* no superó al convencional en reducir la población de quistes. La densidad de nematodos varió según el desarrollo del cultivo, lo que demuestra la importancia de considerar este factor en estrategias de control.

Aunque sin resultados estadísticamente significativos, *Trichoderma* muestra potencial como control biológico y merece mayor estudio. Las prácticas actuales resultaron insuficientes, por lo que se requiere mayor investigación para optimizar el manejo de esta plaga.

Realizar muestreos regulares es fundamental para monitorear la actividad de la plaga y analizar la viabilidad de quistes, juveniles y huevos por gramo de suelo. Un diagnóstico preciso no solo mejora la producción y los rendimientos, sino que también reduce las poblaciones de nematodos y los costos asociados, además de facilitar la mejor estrategia de control para esta plaga.

LITERATURA CITADA

- Andrés, M.F. (2002). Estrategias en el control y manejo de nematodos fitoparásitos. Ciencia y Medio Ambiente – CCMA-CSIC. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/128310/1/Estrategias %20en %20el %20control392\(M %C2 %AAF %20Andr %C3 %A9s\).pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/128310/1/Estrategias%20en%20el%20control392(M%20AAF%20Andr%20C3%A9s).pdf)
- Arteaga, B. (2018). *Determinación del potencial nematocida y nematostático in vitro de Pleurotus ostreatus (Agaricales: Pleurotaceae) sobre larvas J₂ de Globodera pallida (Tylenchida: Heteroderidae)*. [Tesis Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14678>
- Barriá, J. (2010). *Información general, introducción y control sobre la acción del Cinara cupressi y Globodera pallida en la región de Magallanes*. [Tesis de grado, Universidad de Magallanes], Chile. http://www.bibliotecadigital.umag.cl/bitstream/handle/20.500.11893/275/barria_vargas_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bustillo, A. (2008). El Manejo Integrado de los Cultivos en relación con el control de Plagas. En A. Bustillo, Los insectos y su manejo en la cultura colombiana. Chinchiná (Colombia). Cenicafé. 466 p.
- Cañón, R.D., & Sanabria, R.S.C. (2017). Evaluación de la acción de los hongos *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum* y *Lecanicillium lecanii* sobre el nematodo *Globodera pallida* Stone (Behrens) en plantas de papa variedad criolla galeras. [Tesis de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Bogotá D.C., Colombia. <https://repositorio.udca.edu.co/handle/11158/764>
- Chiriboga, H., Gómez, G., & Garcés, K. (2015). *Protocolos para formulación y aplicación del Bio-Insumo: Trichoderma spp. para el control biológico de enfermedades*. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2647>
- Contina, J., Dandurand, L., & Knudsen, G. (2017). Use of GFP-tagged *Trichoderma harzianum* as a tool to study the biological control of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Applied Soil Ecology*, 115:31-37. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.010>
- Coto, Á. (2005). *El Nematodo Blanco de la Papa (Globodera pallida Stone)*. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). San José, Costa Rica. 7 p. <https://studylib.es/doc/6663153/el-nematodo-blanco-de-la-papa--globodera-pallida.stone->
- Dandurand, L., & Knudsen, G. (2016). Effect of the trap crop *Solanum sisymbriifolium* and two biocontrol fungi on reproduction of the potato cyst nematode, *Globodera pallida*. *Annals of Applied Biology*, 1-10. <https://doi.org/10.1111/aab.12295>
- Desgarenes, D., Carrión, G., Núñez-Sánchez A.E., & Núñez-Camargo, M.C. (2006). Distribution of stages and in vitro larval hatching in *Globodera rostochiensis* cysts. *Nematropica*, 36(2), 251-260.
- Ebrahimi, N., Viaene, N., Aerts, J., Debode, J. & Moens, M. (2016). Agricultural waste amendments improve inundation treatment of soil contaminated with potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *European Journal of Plant Pathology*, 145, 755-775. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0864-3>
- Fenwick, D.W. (1951). The effect of temperature on the development of potato root eelworm, *Heterodera rostochiensis*. *Annals of Applied Biology*, 38:615-617. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1951.tb07833.x>
- Franco, J., González, A., & Matos, A. (1993). Manejo Integrado del nematodo quiste de la papa. Lima Perú, Centro Internacional de la Papa. 172 p.
- García, A.C. (2006). Identificación de especies de nematodos fitopatógenos de los géneros *Globodera* spp. y *Meloidogyne* spp. por medio de dos técnicas moleculares. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC)]. Cartago, Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/459>
- Haydock, P.P.J., Woods, S.R., Grove, I.G., & Hare, MC. (2006). Chemical control of nematodes. In: Perry RN, Moens M (eds) Plant nematology. CABI, Wallingford, pp 392-410.

- Lord, J., Lazzeri, L., Atkinson, H., & Urwin, P. (2011). Biofumigation for control of pale potato cyst nematodes: Activity of brassica leaf extracts and green manures on *Globodera pallida* in vitro and in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59:7882-7890. <https://doi.org/10.1021/jf200925k>
- Mai, W.F., Brodie, B.B., Harrison, M.B., & Jatala, P. (1980). Nematodo de la pudrición de la papa. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la papa. W. J. Hooper editor. pp. 131-134.
- Martínez, A.M. (2011). Densidad poblacional de quistes y larvas (*J₂*) *Globodera rostochiensis* en suelos cultivados con papa en el paisano municipio de las vigas de Ramírez. [Tesis de grado. Universidad Veracruzana. Xalapa], México. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/677856?show=full>
- Ochola, J., Cortada, L., Ng'ang'a, M., Hassanali, A., Coyne, D., & Torto, B. (2020). Mediation of Potato-Potato Cyst Nematode, *G. rostochiensis* Interaction by Specific Root Exudate Compounds. *Frontiers in Plant Science* 11:649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00649>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). (2015). Ficha técnica nematodo dorado *Globodera rostochiensis*. (Wollenweber, 1923) (Skarbilovich, 1959). <https://www.oirsa.org/contenido/documentos/FICHA%20TECNICA%20NEMATODO%20DORADO.pdf>
- Ortuño, N., Miranda, C., & Claros, M. (2013). Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundarios de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 1(1):16-32. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v1n1/v1n1_a03.pdf
- Piedra, R. (2012). Elementos para el diseño de un manejo integrado del nematodo fitoparásito *Globodera pallida* (Stone) en el cultivo de papa. [Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Costa Rica]. Heredia, Costa Rica. 146 p. <https://docinade.ac.cr/wp-content/uploads/2020/11/Ricardo-Piedra-NaranjoSPA.pdf>
- Piedra-Naranjo, R., Obregón-Gómez, M., Vargas-Chacón, C., Avilés-Chaves, J., & Meckbel-Campos, J. (2008). Identificación de razas del nematodo de quiste de papa (*Globodera pallida* (Stone)) con diferenciales o clones de papa. *Alcances Tecnológicos*, 6(1), 73-80.
- Quesada, R. (2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 16 p.
- Ramírez-Muñoz, F., Fournier-Leiva, M., Ruepert, C., & Hidalgo-Ardón, C. (2014). Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25:337-345. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n2/a11v25n2.pdf>
- Rivera, S.W.I. (2009). Evaluación de la Resistencia y/o Tolerancia de 24 Variedades de Papa Nativas al Parasitismo del Nematodo del Quiste de la papa (*Globodera pallida*) en Invernadero Cutuglahua-Pichincha. [Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana], Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6767>
- Robertson, L., & Bello, A. (2009). *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*. Sociedad Española de Fitopatología. Boletín informativo N°68-2009. 33 p. http://sef.es/sites/default/files/publications/BoletinNum68_0.pdf
- Rosende, O., García Calvo, L., & Sobrino Caballero, C. (2003). Nematodos del género *Globodera* y alternativas de control en Galicia. Boletín de sanidad vegetal. *Plagas*, 29(1), 63-69.
- Schapoaloff, M.E., Angeli-Alves, L.F., Urrutia, M.I., & López-Lastra, C.C. (2015). Ocurrencia natural de hongos entomopatógenos en suelos cultivados con yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) en Misiones, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(2), 138-142. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.03.005>
- Servicio Fitosanitario del Estado (SFE). (2015). Guía Técnica Nematodo Blanco del Quiste de la Papa (*Globodera pallida* Stone). <https://xdoc.mx/preview/globodera-pallida-stone-5fe17fac1501e>
- Sharon, E., Bar-Eyal, I., Chet, L., Herrera, A., Kleifeld, O., & Spiegel, Y. (2001). Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology*, 91:687-693. 10.1094/PHYTO.2001.91.7.687

- Silva, C. (2018). Biofumigación con brassicaceas para el control de nematodos en el cultivo de papa. [Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato], Cevallos, Ecuador. 70 p. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28114>
- Smith, I.M., McNamara, D.G., Scott, P.R., & Holderness, M. (1997). *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* Data Sheets on Quarantine Pest. Pp. 601-606. En: Quarantine Pest for Europe. Second edition. CAB International & EPPO. UK 1425 p.
- Stirling, G.R. (1991). Biological control of plant-parasitic nematodes. Wallingford, UK, CAB International. 282 pp.
- Sullivan, M.J., Inserra, R.N., Franco, J., Moreno Leheudé, I., & Greco, N. (2007). Nematodos quiste de la papa: sus hospedantes e impacto regulatorio. *Nematropica*, 37(2), 193-202.
- Talavera, R. (2003). Manual de Nematología Agrícola. *Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. Instituto de formación agraria y pesquera*. Brasil. 23 p.
- Tencio, R. (2013). Información General de la Región Central Oriental. Ministerio de Agricultura. Región Central Oriental. 14 p. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Informacion%20General%20Region%20Oriental%202013.pdf>
- Termorshuizen, A., Korthals, G., Thoden, T. (2011). Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management?. *Nematology*, 13:133-153. <https://doi.org/10.1163/138855410X541834>
- Vázquez, J., Álvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>
- Valencia-Serna, R.A., Guzmán-Piedrahita, Ó.A., Villegas-Estrada, B., & Castaño-Zapata, J. (2014). Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano dominico hartón (*Musa AAB* Simmonds). *Luna Azul*, (39):165-185.
- Verma, M., Brar, S.K., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., & Valéro, J.R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37:1-20. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>
- Vilca, R.C. (2013). Evaluación de tres cultivos para su uso como plantas trampa del nematodo del quiste de la papa *Globodera* spp. en invernadero. [Tesis de grado. Universidad Nacional del Altiplano]. Puno, Perú. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274602>
- Vignola, R., Watler, W., Vargas, A., & Morales, M. (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de papa en Costa Rica. Ficha Técnica Cultivo de Papa. 78 p. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8214.pdf>