

EFFECTO DE ROTACIÓN DE CEBOLLA Y ZANAHORIA, SOBRE LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL NEMATODO *GLOBODERA* SPP.

Ricardo Piedra Naranjo¹

RESUMEN

Efecto de rotación de cebolla y zanahoria, sobre la dinámica poblacional del nematodo *Globodera* spp. El estudio se ubicó en la Estación Experimental Dr. Carlos Durán ubicada en Tierra Blanca de Cartago, en las coordenadas: latitud: N 09° 55' 08" y Longitud: O 83° 52' 43". El objetivo de la investigación fue evaluar la dinámica poblacional del nematodo en los dos cultivos comparado con un testigo sin siembra y en descanso. El área del experimento se clasifica como subtropical húmeda, una altura de 2335 msnm, el suelo es andisol de origen volcánico, posee una temperatura promedio de 17°C, precipitación promedio de 2600 mm anuales y pertenece al bosque muy húmedo montano. Las tres parcelas bajo estudio presentaron historial con la plaga *Globodera* spp. y con siembras sucesivas de papa. Para la obtención de los quistes del suelo, se extrajeron una muestra compuesta de 10 sub-muestras por cada parcela. Se realizaron cinco muestreos, el primer muestreo al inicio con el marcaje de las parcelas y siembra de Cebolla y Zanahoria y los cuatro siguientes, cada 45 días respectivamente. Para la extracción de los quistes, se utilizó el método de flotación de quistes mediante el Fenwick Modificado. Para el análisis de los datos, se utilizó una prueba de t de Student (Probabilidad 0,5%). Los resultados mostraron entre las parcelas sembradas con zanahoria y cebolla no hubo diferencias estadísticas entre sí; pero al comparar con el testigo absoluto, se observaron diferencias importantes en las variables: cantidad de larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos; así como larvas y huevos/g de suelo seco; siendo esta última la más importante en el análisis del experimento. Al inicio los datos indicaron una población larvas y huevos /g de suelo seco de 25,21 en cebolla, 29,98 en zanahoria y 44,81 en el testigo. Al finalizar los muestreos, cebolla obtuvo una reducción *Globodera* spp con un dato de 4,41, en zanahoria 8,32 y en el testigo se incrementó a 53,17. Los cultivos estuvieron por debajo del umbral de daño establecido, no así el testigo. También se demostró que el nematodo tiene un rango muy limitado de adaptación, cuando se le cambia de cultivo, en este caso zanahoria y cebolla, y esto hace que las poblaciones tiendan a reducir considerablemente.

Palabras clave: *Globodera* spp., rotación de cultivos, extracción de quistes, umbral de daño, larvas, huevos.

Keywords: *Globodera* spp, crop rotation, cyst extraction, damage threshold, larvae, eggs.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. rpiedra@inta.go.cr. Sede del Laboratorio de Fitoprotección del INTA, Sabana Sur, San José.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el cultivo de papa es una actividad a la cual pequeños y medianos agricultores se han dedicado durante muchos años, tanto para consumo como para la agroindustria. En el año 2016, se utilizaron en el cultivo de papa en Costa Rica, un total de 97.979 toneladas, en un área sembrada de 3600 hectáreas. Las importaciones para el año 2016 no superaron el 3,12%. Por lo anterior, se observa que este cultivo tiene gran demanda en nuestro país, además de que prácticamente el país se autoabastece (CNP 2017). Es importante entonces, mantener este tubérculo comestible, lo mejor posible libre de plagas y enfermedades desde la semilla hasta la cosecha, para evitar grandes pérdidas de rendimiento y producción.

Según Franco (1986), la presencia del nematodo en cualquier región o país conlleva varias consecuencias tales como: reducción del rendimiento productivo en función de la población del nematodo, problemas comerciales entre países, tanto para papa comercial como para producción semilla certificada y registrada, diseminación a otras localidades de producción por falta de controles fitosanitarios debido al comercio de semilla entre fincas, lo cual favorece que la plaga se propague. La propagación del nematodo se origina debido a prácticas inadecuadas de manejo como: comercialización de semilla entre fincas, mal manejo de aguas, suelo y residuos de cosecha, lavado de los tubérculos, limpieza del equipo y finalmente, herramientas de trabajo. Por otro lado, los productores no toman medidas para evitar la diseminación en sus fincas, provocando entre otras consecuencias, que las casas comerciales promuevan el uso en grandes volúmenes de nematicidas químicos sin conocer su eficacia contra la plaga, lo cual genera una contaminación ambiental y un incremento de los costos de producción (Franco *et al.* 1993).

De acuerdo con Crozzoli (1994) las plagas agrícolas como *Globodera* spp. han tratado de ser controladas durante años mediante el uso de plaguicidas químicos provocando un fuerte impacto sobre los organismos benéficos presentes en el suelo y el ambiente. Dentro de las alternativas químicas están algunos Carbamatos y organofosforados, los primeros de mejor degradación y los

segundos con mayor tiempo para su descomposición en el suelo; por lo tanto, se recomienda aplicar un organofosforado antes de la siembra para obtener un mejor espacio de tiempo para su degradación. Hoy en día, se conocen algunas alternativas como el uso de hongos y bacterias nematófagos, otra alternativa para el manejo y control de los nematodos fitoparásitos, el uso de variedades tolerantes, la rotación de cultivos y el manejo adecuado de suelos. Lo anterior ayuda al manejo y convivencia con la plaga.

El nematodo produce una o dos generaciones, dependiendo de la duración del ciclo del cultivo de la papa. EL ciclo de vida del nematodo inicia o comienza con la presencia de los exudados radiculares del hospedero, que permiten la emergencia de los segundos estadios juveniles (JII) los cuales invaden las raíces y forman el sincitio (alteración de células). La adherencia de las hembras en las raíces permite su observación a simple vista como perlititas blancas que van cambiando de color blanco claro a marrón (Stone 1985 y Franco *et al.* 1993).

Una vez que la hembra muere, se convierte en un quiste de color marrón, conteniendo en su interior los huevos con estados larvales, (Mulder y Vanderwal 1997). Los quistes se desprenden de la raíz, quedando en el suelo, estos pueden ser viables por más de 20 años, un nuevo ciclo en el momento de que existan las condiciones para su desarrollo. El tamaño pequeño de los quistes facilita la diseminación del nematodo, ya que estos son fácilmente llevados de un lugar a otro con el suelo adherido a los tubérculos, la maquinaria e implementos agrícolas, además de, envases y por cualquier otro medio que pueda transportar suelo infestado (Hooker 1980 y Scurrah 1981).

Globodera spp. al hacer lesiones en las raíces, permite la entrada del hongo *Verticillium* spp, incrementa la marchitez bacteriana provocada por *Ralstonia solanacearum*. Aunque existen muchas solanáceas que pueden ser hospederos del nematodo, la papa, el tomate y la berenjena son los principales cultivos comerciales afectados por esta plaga. Tanto *G. rostochiensis* como *G. pallida* se encuentran como nematodos plagas presentes en Sudamérica y Europa. *Globodera pallida* se

encuentra en varios países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Venezuela, Panamá y México. (Franco 1986).

Respecto a las características del nematodo, es importante conocer en detalle aspectos como el biotipos o razas; esto ayuda a trabajar con clones o variedades de papa con tolerancia al nematodo. La susceptibilidad de variedades al nematodo se determina mediante el umbral de daño, por medio del conteo de huevos o larvas por gramo de suelo, e indica la pérdida o reducción en la producción de tubérculos de papa. (Franco 1986).

Las experiencias en el manejo integrado de cultivos (MIC) para el control de nematodos fitoparásitos, han demostrado una eficiente y clara posibilidad de que se puede producir conviviendo con la plaga, sin utilizar medidas drásticas que afecten al ser humano y al ambiente. Un ejemplo de estas prácticas es la sustitución del uso de químicos para su combate con variedades tolerantes, control biológico, rotación de cultivos y otras prácticas que han hecho del cultivo de papa una actividad sostenible, manteniendo la producción (FAO 2005). En general, las pérdidas de rendimiento causadas por estos fitoparásitos dependen del grado de asociación hospedante-nematodo, de la raza y densidad poblacional del nematodo, susceptibilidad del hospedante, calidad de la semilla, fertilidad del suelo, época de siembra y condiciones ambientales (Pumisacho y Sherwood 2002).

Según Cook y Rivoal (1998) los nematodos formadores de quistes con sus seis géneros y unas cien especies han mostrado una evolución en cuanto a la adaptación a climas subtropicales y tropicales tanto para *G. rostochiensis* y *G. pallida*. Esa tendencia en la adaptación hace que las dos especies (*pallida* y *rostochiensis*) tiendan a comportarse y tener una resistencia o susceptibilidad a diferentes genotipos de cultivos como la papa. Esa resistencia o susceptibilidad puede definirse con el estudio de los patotipos o razas a través de un programa de mejoramiento genético que incorpore el plan de manejo integrado.

La evidencia del uso continuo de un cultivar resistente a un patotipo predominante en una población, conduce a que, en pocos años,

individuos con poca virulencia y proporción, se incrementen fácilmente en este cultivar y, por consiguiente, originen una selección de genes de virulencia (Colé y Howard 1966; Drokpin 1988). Esto confirma que los individuos de una población no tienen genes comunes para virulencia y por lo tanto, es la consecuencia de una mezcla de patotipos en diferente proporción, donde uno de ellos es el que predomina en un tiempo determinado. Algunas poblaciones inglesas de *G. rostochiensis*, identificadas como Ro I, constituyen una excepción de lo mencionado anteriormente. En esta se demuestra con mucha facilidad la hipótesis de que hay una relación de genes de resistencia en el hospedante que se complementa con genes de virulencia en el nematodo (Howard 1965).

La rotación y el descanso, además de sembrar cultivos no hospedantes, hace que el nematodo del quiste tenga un rango muy limitado. Si las poblaciones son bajas, se pueden implementar rotaciones de cultivo por cuatro o siete años (Montessoro 1994). En terrenos donde se practica la agricultura intensiva, es importante la rotación de cultivos con leguminosas (haba), cereales (trigo, cebada y maíz, ulluco (*Ullucus tuberosus*), pastos y quinua, ya que reducen la población del nematodo en 30% y 40%, mientras que el chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis*) y la zanahoria entre 40% y 80%, porque ayudan a bajar las poblaciones, mejorando los rendimientos del cultivo de papa. (González y Franco 1997; Pumisascho y Sherwood, 2002).

Dentro del estudio de la rotación de cultivos, se sabe que lo que produce reducción de una plaga es el efecto alelopático y eso es común en algunas Brásicas, como es el caso de hojas de nabo (*Brassica campestris*). En especies de los géneros *Brassica* y *Sinapis* (Cruciferae) se han identificado compuestos alelopáticos como alil isotiocianato y β -fenetil isotiocianato (Choesin y Boerner 1991) y Carpentier *et al.* (1998) empleando diferentes solventes para la extracción de compuestos alelopáticos en *Brassica napus*, estos autores sugieren que el uso del metanol puede evitar el problema de la actividad de la enzima mirosinasa (que descompone compuestos como los glucosinolatos, comunes en la familia Brassicaceae) y reduce la extracción de compuestos indeseables; sin embargo, también sugieren que el metanol es un solvente tóxico.

En la mayoría de los bioensayos con compuestos alelopáticos, se prefiere hacer las evaluaciones con especies cultivadas sensibles. Macías *et al.* (2000) sugieren que el uso de semillas de cultivos comerciales permite generar modelos generales sobre los aleloquímicos, y en especial, en lo referente a efectos estimulantes. Esas semillas tienen además la ventaja de ser genéticamente más homogéneas que las semillas de malezas, germinar uniformemente y estar disponibles con facilidad.

La alternancia con algunas plantas favorece un efecto alelopático. Es decir; hay especies que liberan metabolitos secundarios que afectan el crecimiento y desarrollo de organismos vivos del suelo (Lampkin 1988). Así mismo, algunas plantas en determinadas condiciones liberan al ambiente compuestos biológicamente activos como alelotoxinas; las sustancias ejercen efectos inhibitorios

sobre el crecimiento y desarrollo de otras especies relativamente próximas. Una especie puede producir distintos aleloquímicos, que pueden interactuar y cuyos síntomas son determinados por el conjunto de sus efectos (Sampietro 2001). Es indudable que las estrategias e implementación de prácticas de manejo integrado, de esta plaga es de vital importancia para los productores y consumidores de este tubérculo (Brenes *et al.* 2002). Por lo tanto; se determinó evaluar el efecto de la rotación de los cultivos de cebolla (*Allium cepa*) y zanahoria (*Daucus carota*), y observar el comportamiento de la dinámica poblacional del nematodo *Globodera* spp. como parte de una práctica de manejo integrado del nematodo. También hacer la rotación con estos dos cultivos, se justifica; porque el nematodo no es fitoparásito de ninguno de estos cultivos y además estos cultivos son alternativas en estas localidades como producción y comercialización.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la Estación Experimental Dr. Carlos Durán ubicada en Tierra Blanca de Cartago, en las coordenadas: latitud: N 09° 55' 08" y Longitud: O 83° 52' 43". El área del experimento se clasifica como subtropical húmeda, tiene una altura de 2335 msnm, el suelo es andisol de origen volcánico, posee una temperatura promedio de 17°C, precipitaciones de 2600 mm anuales y pertenece al bosque muy húmedo montano (Google Earth 2020).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados fueron analizados con la prueba estadística de t de Student al 0.95% y adicionalmente comparado ambas parcelas, con el testigo

DISEÑO DEL ÁREA EN ESTUDIO

El área de estudio en parcelas fue de 1000 m². Para el caso de la cebolla se utilizó la variedad Texas en una cantidad de siembra de 200 g. En el caso de la zanahoria se sembraron 10 000 semillas en los 1000 m² con la variedad Bangord y la parcela testigo representó un área con remanentes de papa y arvenses (Cuadro1).

Cuadro 1. Distribución de parcelas y componentes. EECD. Cartago, Costa Rica, 2018.

Parcela	Área	Componente
No. 1	1000 m ²	Cebolla
No. 2	1000 m ²	Zanahoria
No. 3	1000 m ²	Remanentes de papa y arvenses como testigo

Las tres parcelas con historial de la plaga y con siembras sucesivas de papa. La extracción de quistes se realizó mediante una muestra compuesta de 10 submuestras por cada parcela para una compuesta de 1 kg de suelo. Tomando en cuenta que los quistes están en el suelo, aun cuando no hay papa sembrada; pero si residuos de cosecha, se realizaron cinco muestreos, el primer muestreo al inicio con el marcaje de las parcelas y siembra de cebolla y zanahoria y los cuatro siguientes cada 45 días aproximadamente. Los muestreos se realizaron en forma de zig-zag, para una muestra compuesta de 1000 g de suelo (Figura 1), de la misma se obtuvo una muestra de 250 g de suelo seco, de la cual se extrajeron los quistes para su respectivo análisis.

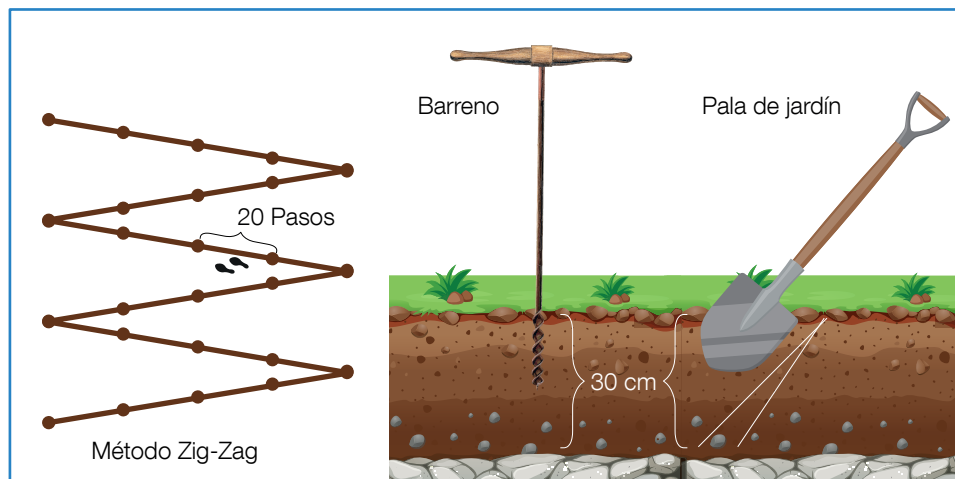


Figura 1. Sistema de muestreo en campo. CIP 1986

Extracción de quistes

Para la extracción de quistes se utilizó el sistema de Fenwick modificado (Fenwick 1940; Oostenbrink 1950). Este método consiste en un embudo colocado sobre un recipiente el cual en su parte ensanchada tiene un tamiz con poros de 1 mm de diámetro en el cual se deposita la muestra del suelo. El instrumento es de forma

trapezoidal en su parte inferior, presenta los soportes del embudo y una aleta inclinada que bordea el recipiente como collar, pero termina en un solo conducto (Figura 2A). Al caer la muestra al depósito inferior del instrumento, hace que los residuos orgánicos precipiten al fondo y la materia más liviana flote, la cual es recogida por un tamiz de 100 mesh, el cual tiene una abertura de 0,038 mm y un diámetro de 0,035 mm.



Figura. 2 (A) Fenwick modificado, (B) balón aforado de 250 ml y (C) filtro para la extracción de quistes. San José, Costa Rica. 2018.

Prueba de Viabilidad

A los quistes extraídos, se les realizó la prueba de viabilidad, que consiste en obtener el promedio de huevos y larvas por quiste. Este se efectuó tomando 25 quistes, triturándolos con un homogenizador (Figura 3). Luego se disolvió en un volumen de agua de 50 cc, posteriormente, con una pipeta se tomaron 2 cc para obtener el promedio de huevos y larvas por quiste mediante cálculo matemático, como se indica en la siguiente fórmula:

$$VT = \frac{\text{Prom. 3cc x Vol.H}_2\text{O:}}{Q}$$

Donde:

VT= Viabilidad Total

Prom= Promedio de tres alícuotas

Q= Número de quistes



Figura 3. Homogeneizador de quistes. INTA, Costa Rica. 2005.



Figura 4. (A) Parcela testigo. (B) Parcela zanahoria. (C) Parcela cebolla. EECD, Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

VARIABLES A EVALUAR

Las siguientes representan las variables a evaluar durante la investigación:

1. Cantidad de quistes en muestra de 250 g de suelo seco por parcela.
2. Cantidad de larvas y huevos por quiste (viabilidad) y por g de suelo seco.
3. Comparación de las parcelas de cebolla y zanahoria, con un testigo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables evaluadas se reflejan en el muestreo inicial con la población de nematodos en las parcelas de los cultivos y el testigo (cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de las poblaciones de las variables durante el muestreo inicial. Cartago, Costa Rica. 2018.

Cultivo	Cantidad de quistes	Larvas y huevos/ quiste	Total larvas y huevos	Promedio larvas y huevos/g de suelo
Cebolla	39	150,00	5,850	25,21
Zanahoria	47	148,00	6.956	29,98
Testigo	40	280,00	11.200	42,42
Cebolla	35	85,00	2,975	11,35
Zanahoria	38	92,50	3,515	13,41
Testigo	42	165,00	6,930	25,66
Cebolla	35	92,00	3,220	12,73
Zanahoria	38	78,00	2,960	11,58
Testigo	46	230,00	10,580	32,55
Cebolla	58	145,00	8,410	30,47
Zanahoria	48	138,00	6,624	23,83
Testigo	46	230,00	10.580	32,55
Cebolla	13	102,00	1,325	4,41
Zanahoria	20	125,00	2,500	8,33
Testigo	58	220,00	12.760	53,17

En el Cuadro 3, muestra el análisis de la prueba de t de Student al 0,5% durante la investigación de las parcelas tanto de cebolla, como de zanahoria. El análisis estadístico no demostró significancia estadística según la prueba t de Student (0.5%). En la Figura 5, se observa una disminución de la plaga desde el primer muestreo hasta el último, en la variable más importante de viabilidad en larvas y huevos por g de suelo seco. El mismo muestreo las poblaciones en ambas parcelas se obtuvo un número de poblaciones por debajo del umbral de daño establecido, a partir de los 13 larvas y huevos/g de suelo seco (Piedra 2008), Con la rotación de estos cultivos, se observó una tendencia a la baja en poblaciones de *Globodera* spp. Al cambiar de cultivo y obtener los exudados radicales diferentes, es muy probable que no se adaptó su nuevo entorno o huésped y esto produjo, una reducción de las poblaciones, por debajo del nivel de daño establecido.

Cuadro 3. Prueba de t de Student para las parcelas cebolla y zanahoria en las variables durante la investigación. Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

VARIABLES	Grupo (1)	Grupo (2)	Media (1)	Media (2)	Probabilidad
Cantidad de quistes	Cebolla	Zanahoria	36	38,2	0,8077
Larvas y huevos/ quiste	Cebolla	Zanahoria	114,8	116,3	0,9394
Total larvas y huevos	Cebolla	Zanahoria	4,96	4,51	0,8114
Larvas y huevos/g de suelo seco	Cebolla	Zanahoria	16,83	17,43	0,9272
					NS

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba de t de Student

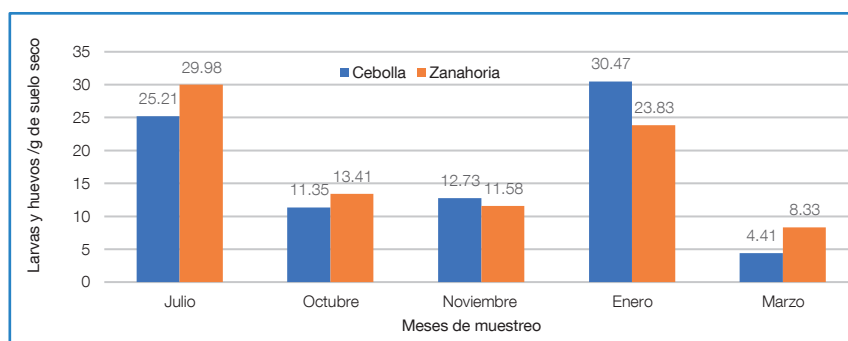


Figura 5. Promedio de larvas y huevos/g de suelo seco en cultivos cebolla y zanahoria. EECD. Cartago, Costa Rica. 2018- 2019.

Con base en el área sin siembra de cultivo (testigo) y con los resultados obtenidos, se realizó una comparación de las parcelas, tanto de cebolla como de zanahoria (Cuadro 4). Al realizar la prueba t de Student, en el caso de cebolla y el testigo, se obtuvieron diferencias significativas importantes en las variables: larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos y larvas y huevos/g de suelo seco. Cuadro 4, 5 y Figura 6.

Cuadro 4. Poblaciones y promedio de variables entre parcelas cebolla vs testigo absoluto durante las fechas de la investigación. EECD, Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

Parcelas	Cantidad de quistes	Larvas y huevos/ quiste	Total larvas y huevos	Larvas y huevos/g de suelo
Cebolla	39	150	5,850	25,21
Testigo	55	220	12.100	44,81
Cebolla	35	85	2,975	11,35
Testigo	40	280	11.200	42,42
Cebolla	35	92	3,220	12,73
Testigo	42	165	6,930	25,66
Cebolla	58	145	8,410	30,47
Testigo	46	230	10.580	32,55
Cebolla	13	102	1,325	4,41
Testigo	58	220	12.760	53,17

Cuadro 5. Prueba t de Student para las parcelas cebolla y testigo absoluto. Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

Variables	Grupo (1)	Grupo (2)	Media (1)	Media (2)	Probabilidad
Cantidad de quistes	Cebolla	Testigo	36	48,2	0,1653
Larvas y huevos/ quiste	Cebolla	Testigo	114,8	223	0,0015*
Total larvas y huevo	Cebolla	Testigo	4356	10914	0,0046*
Larvas y huevos/g de suelo seco	Cebolla	Testigo	16,83	39,72	0,0097*

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba de t de Student

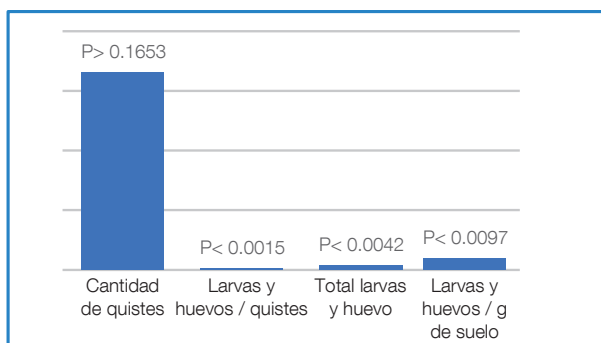


Figura 6. Análisis de variables en cebolla vs testigo absoluto con la probabilidad de significancia estadística según prueba de t de Student al 0.5%. Cartago, Costa Rica, 2018-2019.

De igual manera se realizó la comparación para la parcela de zanahoria con el mismo testigo y el resultado fue semejante, las variables Larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos y larvas y huevos por g. de suelo seco resultaron con diferencias significativas al 0.05% en la prueba de student (Cuadro 6 y Figura 7). La variable de cantidad de quistes fue no significativa. Para este caso las poblaciones en los diferentes quistes siempre reflejan poblaciones muy similares, no así, en la viabilidad de los mismos (larvas y huevos por quiste), siendo esta la variable más importantes para analizar el comportamiento de la plaga durante la investigación.

Cuadro 6. Prueba t de Student para las parcelas zanahoria y testigo absoluto. Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019

Variables	Grupo (1)	Grupo (2)	Prueba T para muestras Independientes		
			Media (1)	Media (2)	Probabilidad.
Larvas y huevos/quiste	Testigo	Zanahoria	223	116,3	0,0015*
Cantidad de quistes	Testigo	Zanahoria	48,2	38,2	0,1429
Total larvas y huevo	Testigo	Zanahoria	10,72	4,51	0,0021*
Larvas y huevos/g de suelo seco	Testigo	Zanahoria	39,72	17,43	0,0077*

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba t de Student.

En términos generales y tomando como variable más importante, larvas y huevos/g de suelo seco, los dos cultivos mostraron diferencias importantes con respecto al testigo absoluto. Al inicio en cebolla con una población de 25,21, zanahoria 29,98 y el testigo con 44,81. Al finalizar los muestreos, cebolla obtuvo una reducción de *Globodera* spp. a 4,41 zanahoria 8,32, ambos por debajo del umbral de daño establecido (13 larvas y huevos/g de suelo seco) y el testigo incrementó a 53,17. Ver Cuadro 7 y Figura 7.

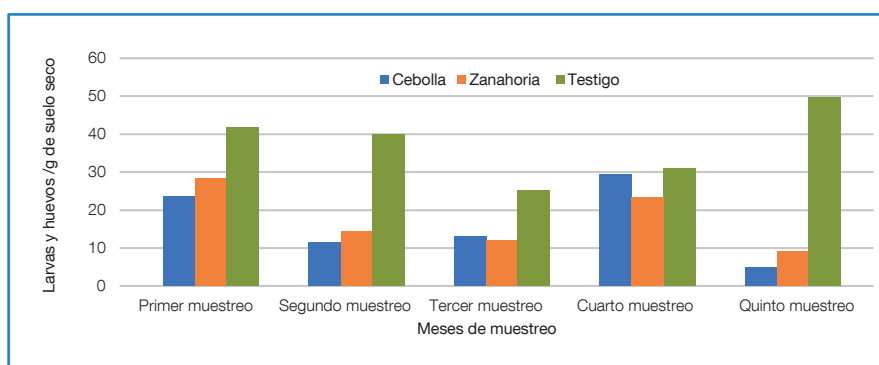


Figura 7. Dinámica poblacional de larvas y huevos/g de suelo seco en investigación de rotación de cebolla, zanahoria y un testigo absoluto. EECD. Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019.

Cuadro 7. Promedio de Larvas y huevos/g de suelo seco entre parcelas, zanahoria, cebolla vs testigo absoluto durante la investigación. EECD, Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019.

Cultivo	Primer muestreo	Segundo Muestreo	Tercer muestreo	Cuarto muestreo	Quinto muestreo
Cebolla	25,21	11,35	12,73	30,47	4,41
Zanahoria	29,98	13,41	11,58	23,83	8,33
Testigo	44,81	42,42	25,66	32,55	53,17

El resultado final demostró, una reducción de la plaga en ambos cultivos y comprueba que la alternancia de estos dio un efecto alelopático; es decir, hay especies de plantas que liberan metabolitos secundarios que afectan el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos del suelo (Lampkin 1988). Así mismo y de acuerdo con la revisión de literatura, algunas plantas en determinadas condiciones liberan al ambiente compuestos biológicamente activos como alelotoxinas. Estas sustancias ejercen efectos inhibitorios sobre el crecimiento y desarrollo de otras especies relativamente próximas. Por otra parte, las plantas en rotación de cultivos en su desarrollo fenológico pueden producir distintos aleloquímicos, que actúan sobre otros organismos produciendo un efecto negativo que reducen las poblaciones (Sampietro 2001). Los resultados son importantes, para poder contar con parámetros para la posterior toma de decisiones, es decir, es fundamental tener un estudio sobre el daño o umbral de esta plaga en plantas susceptibles de papa. Al respecto, se tomó como base la variedad Floresta, a partir de valores mayores al de **13,0 larvas y huevos** de *Globodera* spp./g de suelo seco (Piedra 2009); por consiguiente, se pudo determinar que en el muestreo final, los valores fueron menores tanto en: cebolla (4,41) como zanahoria (8,33).

Otra ventaja de la rotación de cultivos es que, sustituye al uso continuo de un cultivo que conlleva a un incremento de poblaciones de *Globodera* spp (Colé y Howard 1966; Drokpin 1988). Por otra podría haberse dado una relación de genes de resistencia y tolerancia en el hospedante, que se complementa con genes de virulencia y adaptación en el nematodo (Howard 1965). En este caso, tanto la zanahoria como la cebolla en la rotación, hicieron que el nematodo del quiste tenga un rango muy limitado, para poder seguir multiplicándose con ciclo de vida.

Según Stone 1985 y Franco *et al.* 1993, EL ciclo de vida del nematodo inicia o comienza con la presencia de los exudados radiculares del hospedero, en este caso el cultivo de papa, permiten emerger los segundos estadios juveniles (JII) de *Globodera* spp los cuales invaden las raíces y empieza a formar su ciclo de vida y por ende el quiste, este fenómeno no ocurrió al cambiar de cultivo; en este caso al sembrar cebolla y zanahoria. Aunque siempre existe los exudados radicuales es probable que esas sustancias tengan alguno tipo de reacción aleloquímica al nematodo (Choesin y Boerner 1991) y Carpentier *et al.* (1998)

La investigación demostró que el nematodo tiene un rango muy limitado cuando se le cambia de cultivos como zanahoria y cebolla y hace que las poblaciones tiendan a reducir considerablemente. En referencia a la variable más importante, larvas y huevos/g de suelo seco, los dos cultivos demostraron una dinámica poblacional de la plaga muy importante y se demuestra con lo siguiente: al inicio en la cebolla se obtuvo una población de 25,21, en zanahoria de 29,98 y en el testigo de 44,81. Al finalizar los muestreos indicaron: la parcela cebolla una reducción de *Globodera* spp a 4,41, zanahoria a 8,32 y el testigo incrementó a 53,17. Se concluye que, en las parcelas sembradas con zanahoria y cebolla, redujeron significativamente las poblaciones de *Globodera* spp en cantidad de larvas y huevos por quiste, el total de larvas y huevos; así como larvas y huevos/g de suelo seco. Lo anterior, se confirmó al realizar el análisis estadístico en la prueba de t de Student. Los cultivos de cebolla y zanahoria, demostraron ser una alternativa de rotación de cultivos para contribuir con la reducción de *Globodera* spp que afecta al cultivo de papa. También es recomendado sembrar estos cultivos cuando el mercado lo exige, así el productor tiene otra alternativa de ingresos cuando no siembra el cultivo de papa.

LITERATURA CITADA

- González; M, Arias; Rodríguez-Kábana, R. (eds). Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries. *Phytoma* 99-126.
- Brenes, A; Rivera, C; Vásquez, V. 2002. Cultivo de papa en Costa Rica. San José, Costa Rica. Euned. p. 120.
- Carpentier, N; S, Bostyn; JP. Coïc. 1998. Isolation of a rich glucosinolate fraction by liquid chromatography from an aqueous extract obtained by leaching dehulled rapeseed meal (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products* (8):151-158.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 1986. Nematodo de quiste de la papa. *Boletín de Información Técnico* 9. p. 12.
- Choesin, DN; REJ, Boerner. 1991. Allyl isothiocyanate release and the allelopathic potencial of *Brassica napus* (Brassicaceae). *American Journal Botany* 78(8):1083-1090.
- Cole, C; Howard, H. 1966. The effects on a population of potato root eelworm (*Heterodera rostochiensis*) of growing potato resistant to pathotype B. *Annual Applied Biology* 58:487-495.
- Cook S y R; Rivoal, R. 1998. Genetics of resistence and parasitism. Sharma SB Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, p. 132.
- Crozzoli, PR. 1994. Temas de nematología Agrícola I. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Comisión de información. p. 8-9.
- Dropkin, V. 1988. The concept of race in phytonematology. *Annual Review Phytopathology* 26:145-161.
- Google earth. 2020. Tierra Blanca. Cartago. Julio. Costa Rica.
- Franco, J; González, A; Matos, A. 1993. Manejo integrado del nematodo quiste de la papa *Globodera* spp. CIP (Centro Internacional de la Papa) Lima, Perú. p. 11-30.
- Franco, J. 1986. Nematodo del quiste de la papa. *Boletín de Información Técnica* 9. CIP (Centro Internacional de la Papa), Lima, Perú. p. 5- 15.
- Lampkin, N. 1988. Agricultura ecológica. España. Mundi Prensa. 497 p.
- González, A; Franco, J. 1997. Los nematodos en la producción de semilla de papa: Lima, Perú. CIP (Centro Internacional de la Papa). Fascículo 3.9. p13
- Hooker, W. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú. p. 166.
- Howard, H. 1965. Biotypes of potato root eelworm Great Britain. *Tagungsber. Dtsch. Landwirtschaftswiss.* Berlin, Gross-Lusewitz N° 20. p. 95-106.
- Oostenbrink, M. 1950. Het aardappelaaltje (*Heterodera rostochiensis* Wollenweber) een gevaarlijke parasiet voor de eenzijdige sardappelcultuur. *Versl. Meded. plziektenk. Dienst. Wageningen* Pp 115: 230.
- Pumisacho, M; Sherwood, S. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). Pp. 21-23, 229 p.
- Montessoro, R. 1994. Enfermedades y desórdenes de la papa en México. México, Sabritas. 86 p.
- Rivas, A. 2002. Manual técnico: Nematodos asociados a limón pérsico y otros cítricos en fincas de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. San Salvador. p.49.
- Sampietro, D. 2001. Aleopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia, (en línea). Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán. Argentina. Consultado 23 ago. 2007. Disponible en <http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/aleopatia.htm>
- SIA; CNP. (3 de abril de 2017). Análisis y Monitoreos de Mercados Papa. Recuperado el 25 de 07 de 2017, de simacr.go.cr: <https://simacr.go.cr/index.php/mercados-de-papa>
- Stone, AR. 1985. Co-evolution of potato cyst nematodes and their hosts: implications for pathotypes and resistance. *EPPO. Bulletin* 15. p. 131-137.
- Scurrah, M. 1981. Evaluación de la resistencia en papa a los nematodos del quiste. *Boletín de información técnica* 10. CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú. p.16.