

Estrategias agroecológicas para el control del nematodo dorado de la papa en el estado Mérida, Venezuela

Zunilde Coromoto Lugo-Farías^{1*} , Carlos Ramírez² , Raizel Montero² , Renato Crozzoli³ , José Salas¹ , Yndyra Aguirre³ , Guillermo Perichí³ , Ligia Carolina Rosales-Amado⁴ , Renny Barrios-Maestre⁵ 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Mérida, Venezuela. ²Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprum (UNESUR), Santa Cruz de Mora, Mérida, Venezuela. ³Universidad Central de Venezuela (UCV), Facultad de Agronomía (FAGRO), Instituto de Zoología Agrícola, Maracay, Aragua, Venezuela. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Maracay, Aragua, Venezuela. ⁵Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Maturín, Monagas, Venezuela. *Correo electrónico: zlugof@gmail.com

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar estrategias agroecológicas en el control del nematodo dorado de la papa, en finca productora de papa (*Solanum tuberosum* L.), se efectuó un ensayo en el estado Mérida, Venezuela. El terreno estaba infestado naturalmente con *Globodera rostochiensis*. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial de los tratamientos: "Épocas" como Factor A y "Tratamientos" como Factor B y cuatro repeticiones. Se sembró la variedad de papa "Granola". Los tratamientos aplicados 45 días pre-siembra fueron: T1 (Testigo): volteado del suelo; T2: solarización, T3: biofumigación con *Brassica napus*; T4: incorporación de abono verde (*B. napus*). Para determinar las poblaciones de nematodos (huevos, juveniles y quistes en 100 cm³ de suelo.parcela⁻¹), se realizaron tres muestreos: M1: antes de los tratamientos, M2: 45 días previos a la siembra y M3: momento de cosecha. Los datos se evaluaron estadísticamente con análisis de varianza y las medias se compararon usando la prueba de Tukey. La población inicial de *G. rostochiensis* osciló entre 298 y 156 quistes.100 cm⁻³ de suelo y entre 14.950 y 950 huevos + juveniles.100 cm⁻³ de suelo. Los resultados indicaron que hubo diferencias significativas en las poblaciones, según la época. Las mayores reducciones en poblaciones del nematodo se alcanzaron en los quistes de *G. rostochiensis*, durante la época de cosecha. Los tratamientos más efectivos fueron: biofumigación (82), seguido por incorporación de abonos verdes (100) y solarización (110), superando todos al testigo. El mayor rendimiento (8,35 kg.m⁻²) se alcanzó en las parcelas tratadas con abono verde.

Palabras clave: biofumigación, *Brassica napus*, *Globodera rostochiensis*, *Solanum tuberosum*.

Agroecological strategies for the control of the potato golden nematode of Mérida state, Venezuela

ABSTRACT

With the objective of evaluating agroecological strategies in the control of the potato golden nematode, in a farm producing potato (*Solanum tuberosum* L.), an essay was carried out in the state of Mérida, Venezuela. The plot was naturally infested with *Globodera rostochiensis*. A randomized block experimental design was used with a factorial arrangement of the treatments: "Epocas" as Factor A and "Treatments" as Factor B and four repetitions. The potato variety "Granola" was planted. The treatments applied 45 days before sowing were: T1 (Control): turned over the soil; T2: solarization, T3: biofumigation with *Brassica napus*; T4: incorporation of green manure (*B. napus*). To determine the populations of nematodes (eggs, juveniles, and cysts.100 cm⁻³ of soil by plot), three samplings were carried out: M1: before the treatments, M2: 45 days prior to planting, and M3: harvest time. Data were statistically evaluated with analysis of variance and the means were compared using Tukey's test. The initial population of *G. rostochiensis* ranged between 298 and 156 cysts.100 cm⁻³ of soil and between 14,950 and 950 eggs + juveniles.100 cm⁻³ of soil. The results indicated that there were significant differences in the populations, depending on the season. The greatest reductions in nematode populations were achieved in *G. rostochiensis* cysts, during the harvest season. The most effective treatments were: biofumigation (82), followed by the incorporation of green manures (100) and solarization (110), all surpassing the control. The highest yield (8.35 kg.m⁻²) was reached in the plots treated with green manure.

Keywords: biofumigation, *Brassica napus*, *Globodera rostochiensis*, *Solanum tuberosum*.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el cuarto lugar de producción en el mundo, después del maíz, el trigo y el arroz (Betancourth *et al.* 2022). Su contenido de nutrientes (K, Ca, Na, P, Mg) y vitaminas (A, C, B6) estimula su consumo (Obando *et al.* 2017). Es el alimento que aporta la mayor cantidad de carbohidratos a la dieta de millones de personas en los países en desarrollo, siendo fundamental para Suramérica, África y el continente Asiático en su totalidad (Comina *et al.* 2017, FAO 2020). Algunos estudios han comprobado el efecto de interacción de los patógenos sobre los genotipos de papa, que ocasiona una reducción de la concentración de los micronutrientes Fe, Zn y vitamina C en el tubérculo (Rivadeneira *et al.* 2017, Comina *et al.* 2017).

Según datos de la Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela (Fedeagro 2017) en el año 2017, en el país, se tenían sembradas 11.000 ha de papa, y la producción fue de 636.637 t, con rendimiento de 18.182 t.ha⁻¹. En Venezuela, se cultiva la papa sólo en altitudes entre 800 a 1.500 m.s.n.m., tales como las zonas montañosas de los estados Aragua, Lara y Carabobo; de manera más extendida entre los 2.000 y 4.000 m.s.n.m., como es el caso de los sembradíos existentes en los estados Táchira, Mérida y Trujillo. El mayor volumen de producción de este tubérculo, en el país, se encuentra en el estado Mérida con 158.871 t, seguida por los otros estados andinos como Trujillo con 51.510 t y Táchira con 42.572 t. La mayor parte de la papa producida se emplea para consumo fresco, predominando el cultivar Granola de origen alemán (PROINPA 2014, González *et al.* 2019).

Entre los problemas fitosanitarios más importantes en el cultivo de papa en las zonas de Mérida están los nemátodos fitoparásitos, los cuales limitan su producción. Destaca el nematodo del quiste de la papa o dorado de la papa (*Globodera* spp.), que se considera una de las plagas más difícil de controlar (Anaya *et al.* 2005). En el país se han identificado dos especies: *G. pallida* y *G. rostochiensis*; esta última fue detectada por primera vez en 1971 en los estados Mérida y Táchira (Dao y González 1971). Durante los años 1991-2002, se evidenció un incremento en su distribución principalmente en los estados Lara, Trujillo y otras áreas de los estados Mérida y Táchira

(Greco y Crozzoli 1995; Jiménez *et al.* 2000). En condiciones de campo, el control de este género de nemátodos es difícil, debido a su alta tasa de reproducción y su resistencia a factores bióticos y abióticos; ya que, a temperaturas de 30°C. la eclosión de huevos y desarrollo de j₂ de *G. rostochiensis* puede alcanzar un 95 % y, además, sobreviven al desecamiento del suelo por largos periodos (López-Lima *et al.* 2020).

En los países andinos, *Globodera* spp. causan pérdidas en rendimiento del 13,2 al 58,0 % y, de 15 a 90 % en Ecuador, Colombia, Perú y México. En el trópico, se han reportado altas infestaciones de *G. rostochiensis* de reducción de hasta 80 % en los rendimientos (Scurrah *et al.* 2005). Una densidad de 0,6 quistes por gramo de suelo, puede provocar una reducción del 48 % de la producción (Obando *et al.* 2017). Tradicionalmente, el control de nemátodos en el cultivo de papa se realiza con el uso de productos químicos, que son extremadamente tóxicos al humano, al ambiente y al producto final (Obando *et al.* 2017, Silva 2018).

En los sistemas de producción, en Venezuela, es necesario el uso de criterios ecológicos que permitan conocer los elementos y procesos claves en el funcionamiento de los agroecosistemas. Como referencia se pueden mencionar la biofumigación, que es la utilización de materia orgánica para producir gases los cuales sirven para controlar los nemátodos fitopatógenos (Bello *et al.* 2000, INIA 2018, Curay *et al.* 2021); la incorporación de abonos verdes, que mejora la calidad del suelo y aumenta el porcentaje de su materia orgánica (Montes 2020); la solarización del suelo, proceso no contaminante. Este último consiste en un proceso hidrotérmico que se produce en suelos humedecidos cubiertos con plásticos y expuestos a la radiación solar en los meses más cálidos. El manejo adecuado de la temperatura del suelo, la humedad del suelo y el tipo de cobertura plástica permite un control de patógenos del suelo (Vuelta 2014, Arbolea 2018).

Por lo antes expuesto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar tres estrategias agroecológicas: solarización, biofumigación y la incorporación de abonos verdes, para el control de *G. rostochiensis*; así como, estos procesos incidieron en la producción de papa en un área de siembra ubicada en el municipio Rangel del estado Mérida, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante nueve meses (enero–septiembre 2015) en una finca, de producción comercial de papa, ubicada en el sector Misintá, de la parroquia Mucuchíes, municipio Rangel del estado Mérida (08°45' 56.7" LN y 70°55' 11.6" LO) a 3.282 m.s.n.m. Esta zona se caracteriza por presentar alta pedregosidad, variando el grado entre 10 – 40 % (Peña y Duerto 1987). Son suelos de textura franco-arenosa con moderada cantidad de arcilla y pH de 5,8. La cuenca alta del río Chama presenta un régimen de lluvias unimodal, alrededor de los 823 mm/año, con una estación seca entre diciembre y mediados de marzo; una estación lluviosa que se extiende desde mediados de abril hasta octubre; noviembre es un mes de transición. Las temperaturas oscilan entre 9,5 °C y 13,5 °C y por las noches alcanza hasta -5° C.

En el terreno del ensayo (357 m²), se tomaron muestras de suelo, al azar, para determinar la presencia del nematodo. En el análisis se encontró que el suelo estaba infestado naturalmente por *G. rostochiensis*. Se procedió a la preparación del terreno con un volteado del suelo, mediante el empleo de implementos acoplados al tractor. Se realizó el arado del suelo, con tracción animal y se surcó.

Se establecieron 16 unidades experimentales (parcelas) con dimensiones de 3 × 4 m de largo (12 m²), con 1 m de separación. Se empleó un diseño del experimento de bloques al azar con arreglo factorial de los tratamientos, utilizando “Épocas” como Factor A y “Tratamientos” como Factor B. y cuatro repeticiones. En cada parcela se realizó el muestreo de suelo, con fines de cuantificar las poblaciones iniciales del nematodo. Todas las muestras de suelo, para determinar la población de nematodos, se analizaron en el laboratorio de Nematología Agrícola del departamento de Zoología Agrícola de la Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua.

Las estrategias agroecológicas se basaron en los procesos de solarización, biofumigación e incorporación de abonos verdes sobre el nematodo *G. rostochiensis*, siguiendo los métodos que emplearon Bello *et al.* 2000, Vuelta 2014 y Obregón *et al.* 2018. Los tratamientos, aplicados durante 45 días antes de la siembra fueron los siguientes: T1 (Testigo):

volteado del suelo; T2 (Solarización): volteado del suelo con posterior cubierta de polietileno transparente de 60 micras; T3 (Biofumigación): incorporación de 4.000 kg.ha⁻¹ de abono verde (*Brassica napus*) y posterior cubrimiento del suelo con polietileno transparente de 60 micras; T4 (Incorporación de abono verde): 4000 kg.ha⁻¹ de abono verde (*B. napus*), sin cubierta de polietileno transparente. Las épocas de muestro, para la determinación de las poblaciones de nematodos (quistes, huevos y juveniles) fueron: I) Fase pre-ensayo; II) a los 45 días de establecidos los tratamientos, antes de la siembra de la papa; III) al terminar el ciclo del cultivo en el momento de cosecha a los 90 días.

Para los tratamientos de solarización se humedecieron las parcelas a capacidad de campo, luego se utilizó como cobertura, láminas de polietileno transparente (PE) de 60 µm de espesor. Una vez cubiertas las parcelas con el polietileno, este se enterró y compactaron los bordes hasta alcanzar las seis semanas de tratamiento establecidas (Lugo *et al.* 2010).

Para la incorporación de *B. napus* como abono verde se empleó la metodología reportada por Iriarte *et al.* (2011). Las hojas se picaron en trozos pequeños, de forma manual, se aplicaron al voleo y mezclaron con el suelo en cada parcela, hasta una profundidad de 25 cm; se utilizó 4.000 kg.ha⁻¹ de abono verde de acuerdo a la dosis recomendada por González *et al.* 2001. En las parcelas tratadas con *B. napus* como abono verde y combinado con solarización (T3), primero se incorporaron al suelo las hojas previamente picadas en trozos pequeños, se mezclaron con el mismo y se cubrieron con polietileno transparente.

Se registró la radiación (mmol) y la temperatura (°C) del suelo a 10 cm de profundidad, con sensores analógicos TST durante 45 días. Los sensores se conectaron a un equipo automático programable (Modelo DL2 Data Logger, marca AT-Delta T Devices) y colocados en cada una de las unidades experimentales.

En las parcelas donde se usó capa de polietileno, esta se eliminó al finalizar el periodo de tratamiento. El suelo se removió y se dejaron transcurrir 6 días para su aireación. Luego, se sembraron las semillas asexuales de papa variedad “Granola”, en todas

las parcelas. La distancia de siembra fue de 20 cm entre planta y 50 cm entre hilera, para un total de 50 semillas por parcela. La frecuencia de riego fue cada ocho días. Las labores de siembra y manejo del cultivo, se realizaron como tradicionalmente lo hace el productor en la zona. El plan de fertilización consistió en la aplicación de abono químico, formula completa 12-12-17.

En las tres etapas, para la determinación de las poblaciones de nematodos (quistes, huevos y juveniles) se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 25 a 30 cm; cada muestra compuesta se obtuvo de la mezcla de doce submuestras por parcela y se enviaron al laboratorio para su análisis. Los nematodos juveniles del segundo estadio (j_2) se extrajeron del suelo, utilizando el elutriador de Oostenbrink (S'Jacob y Van Bezooijen 1971). La limpieza de la muestra se realizó con el embudo de Baermann (S'Jacob y Van Bezooijen 1971). Se contaron los j_2 presentes en 100 cm³ de suelo en cada parcela. Para determinar los quistes presentes se utilizó el método de Fenwick (1940) y limpieza con acetona. En laboratorio y para cada muestra de suelo correspondientes a las distintas fases del ensayo, se determinó el número de quistes por 100 cm³ de suelo, el número huevos por quiste y de juveniles. A los 90 días, cuando culminó el ciclo del cultivo, se cosechó la totalidad de los tubérculos de papa y se evaluó el rendimiento (kg.m⁻²).

Para verificar si las poblaciones de los nematodos se incrementaron o disminuyeron como consecuencia de la aplicación de los tratamientos y para hacer la comparación de los tratamientos contra el testigo, se determinó la tasa de reproducción de *G. rostochiensis* a través de la relación entre la población final, dividido por la población media y el resultado se presentó como porcentaje.

Los datos de las variables evaluadas se procesaron estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA) y el paquete estadístico SPSS. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %. Para los análisis estadísticos de los datos climáticos se empleó el programa JMP versión 6. (JMP 2021). La tasa de reproducción de *G. rostochiensis* se analizó por la prueba de Chi-cuadrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las poblaciones iniciales (etapa pre-tratamiento) tanto de quistes, como de huevos + j_2 de *G. rostochiensis* en el área experimental infestada naturalmente fueron distintas, en cada parcela. Los valores oscilaron, de acuerdo a los resultados estadísticos descriptivos, entre 298 y 156 quistes.100 cm⁻³ de suelo. Las poblaciones de huevos + j_2 oscilaron entre 14.950 y 950 j_2 .100 cm⁻³ de suelo, respectivamente (Figura 1). Resultados que concuerdan con lo expuesto por Blanco (1994) en su estudio del efecto de productos orgánicos sobre el control de nematodos. El autor señala que, los nematodos en el suelo están distribuidos de forma irregular, por situaciones de presencia de hospederos, textura de suelo y diseminación por agua de riego. Todo lo antes expuesto refuerza la necesidad de buscar alternativas agroecológicas *in situ* amigables con el ambiente para el control de nematodos a nivel local.

La temperatura del suelo a 10 cm de profundidad (43 °C) y radiación (10.500 mmol) más elevada se alcanzaron a las 12 h del día, con el tratamiento testigo; mientras que, el tratamiento de biofumigación alcanzó la mayor temperatura (37 °C) del suelo a las 10:30 a.m., con una radiación de 8.000 mmol. Finalmente, los tratamientos solarización e incorporación de abonos verdes cuyas radiaciones fueron de 6.000 mmol, alcanzaron las temperaturas máximas (entre 24 y 25 °C), entre las 10 y 17 horas del día, respectivamente (Figura 2).

Pullman *et al.* (1981) y Perera *et al.* (2013) señalan que las temperaturas inciden en la reducción de la población de nematodos. Los referidos autores, determinaron que la solarización produce un aumento de la temperatura del suelo y cambios en la microflora y en las propiedades físico-químicas del mismo. Cuanto mayor es la temperatura en el suelo, menos tiempo se precisa para eliminar a los patógenos; ya que estos mueren rápidamente (en minutos) con temperaturas alrededor de los 50 °C, pero se necesitan varias horas para eliminar o reducir sus poblaciones con temperaturas entre 37 y 45 °C.

La relación directa de la radiación y la temperatura del suelo, en los diferentes tratamientos, coincide con el comportamiento típico señalado por Lugo *et al.* (2010) y el INIA (2018), quienes alcanzaron el máximo de radiación a las 12 h y mantuvieron un máximo de temperatura entre las 11 y 14 h.

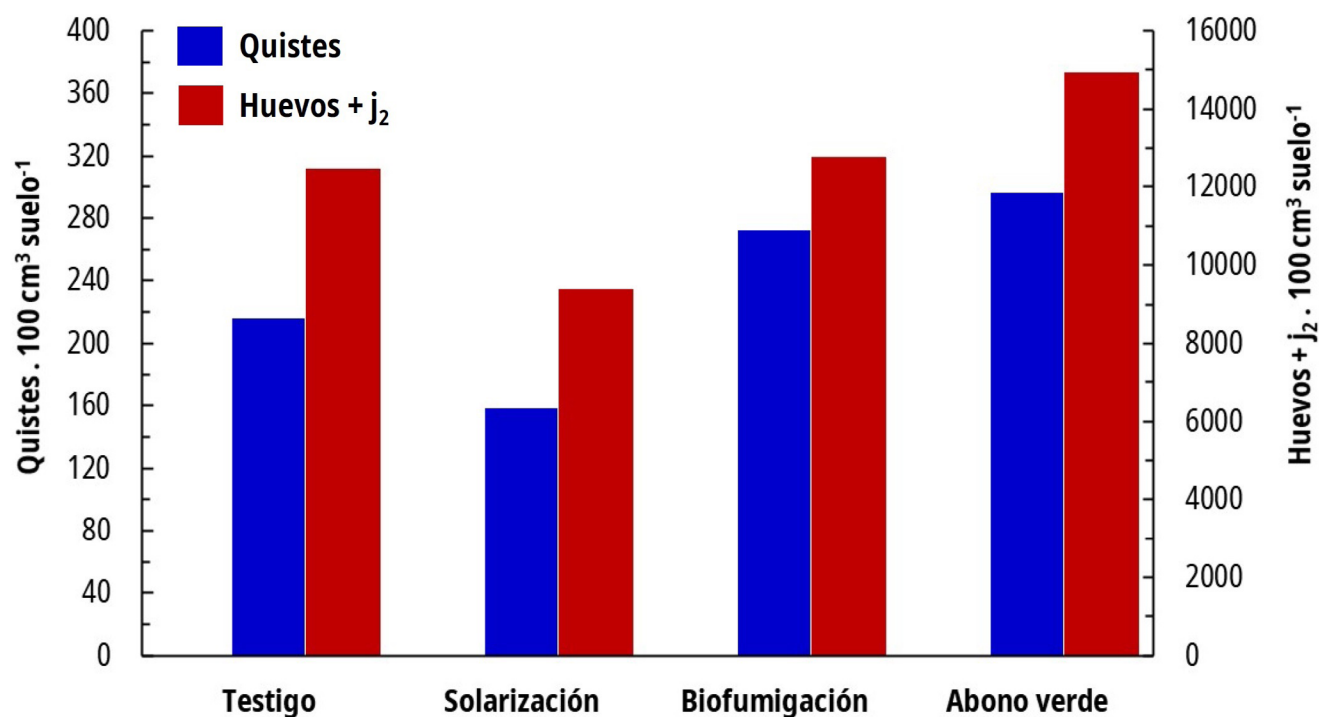


Figura 1. Número de quistes y de juveniles (j_2) y huevos de *G. rostochiensis* en 100 cm³ de suelo de cada parcela, cuantificados previo a la aplicación de tratamientos y siembra de las semillas de papa, variedad Granola, estado Mérida, Venezuela.

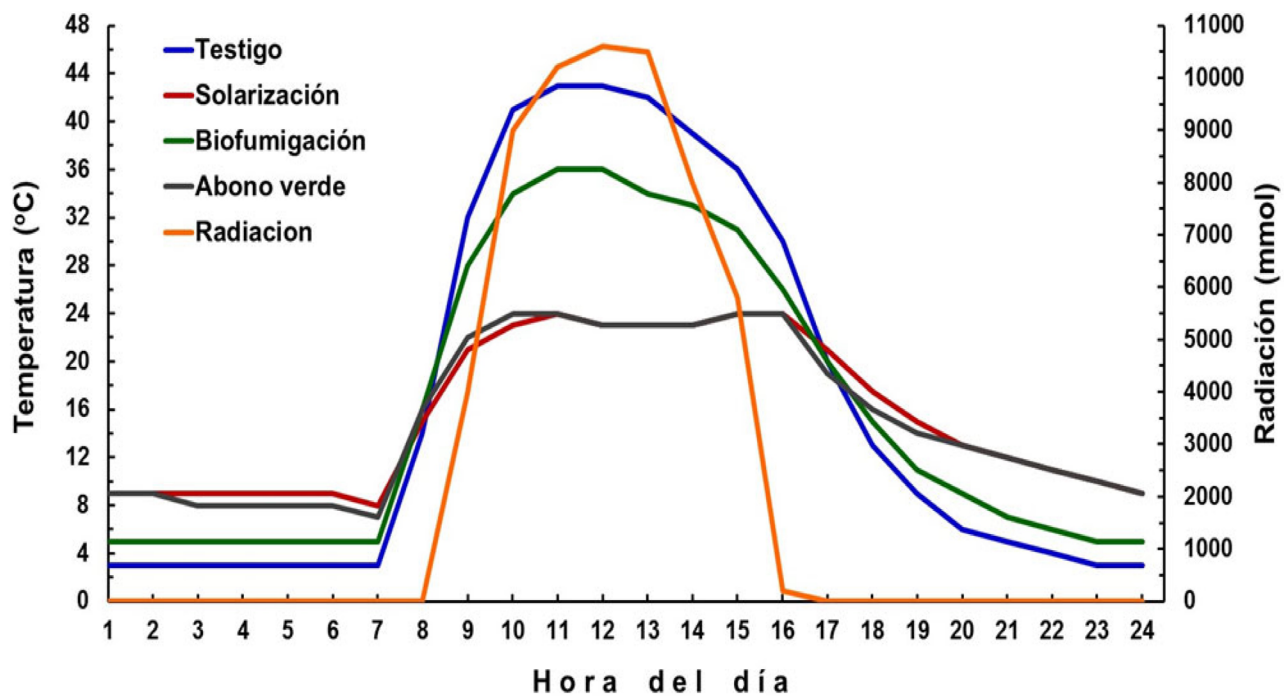


Figura 2. Relación directa de la radiación (mmol) y la temperatura (°C) del suelo a 10 cm de profundidad, en cuatro tratamientos de control del nematodo dorado de la papa en siembra de la variedad Granola, en el estado Mérida, Venezuela

El análisis de varianza (Cuadro 1), indica que los tratamientos no tuvieron efectividad en la reducción de las poblaciones de quistes de *G. rostochiensis*. y huevos + j_2 ; sin embargo, para las épocas de evaluación se obtuvieron diferencias estadísticas significativas para ambas variables.

En el Cuadro 2, se presenta la comparación de promedios de la población de quistes y huevos + j_2 de *G. rostochiensis* para las épocas evaluadas. Se distingue que, la menor población de quistes correspondió a la época de cosecha, la cual fue estadísticamente inferior a las poblaciones pre y pos tratamiento, que fueron similares entre sí. Los promedios variaron desde 106,88 hasta 270 quistes.100 cm⁻³. Similarmente, para las poblaciones de huevos + j_2 , se obtuvo que las en la época de cosecha fueron estadísticamente menores al resto de las épocas; con promedios que oscilaron entre 1.125,69 hasta 15.136,25.

A pesar de no haber diferencias significativas entre los tratamientos, la tendencia fue a obtener mayores reducciones de las poblaciones de quistes de *G. rostochiensis* en el tratamiento de biofumigación. En ese caso, de una poblaciones post tratamiento de 315 quistes.100 cm⁻³ de suelo, en la cosecha se redujo a 82 quistes.100 cm⁻³ de suelo (Figura 3A). Esto fue seguido por los tratamientos de incorporación de abonos verdes, con poblaciones post tratamiento de 250 quistes.100 cm⁻³ de suelo y en la cosecha se disminuyó a 100 quistes.100 cm⁻³; y, el tratamiento de solarización, donde las poblaciones post tratamiento fueron de 270 quistes.100 cm⁻³ de suelo y a la cosecha se mitigó a 110 quistes.100 cm⁻³ de suelo. Efecto contrario ocurrió para el caso del número de huevos + j_2 de *G. rostochiensis*, ya que todas las parcelas sometidas a tratamientos incrementaron las poblaciones de huevos + j_2 (Figura 3B)

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza para la población de quistes y huevos + juveniles (j_2) de *G. rostochiensis* en cuatro tratamientos de control en siembra de papa, variedad Granolá, en el estado Mérida, Venezuela.

Fuente de variación	Grados de libertad	Número de Quistes			Huevos + Juveniles (j_2)		
		CM	F	p-valor	CM	F	p-valor
Bloque	3	4387,19	0,91	0,4459	8854371	0,63	0,6029
Época	2	118472,4	24,62	<0,0001	882097068	62,43	<0,0001
Tratamiento	3	5852,52	1,22	0,3192	13898664	0,98	0,4124
Época*Tratamiento	6	6899,23	1,43	0,2316	28819530	2,04	0,0880
Error	33	4811,95			14129216		
Coeficiente de variación (%)		34,0			39,4		

Cuadro 2. Comparación de promedios de la población de quistes y huevos + juveniles (j_2) de *G. rostochiensis* en diferentes épocas de cuatro tratamiento en siembra de papa, variedad Granola, en el estado Mérida, Venezuela.

Época	Número de Quistes		Huevos + Juveniles (j_2)	
	Medias	Ámbito	Medias	Ámbito
Pos-Tratamiento	270,00	A	15.136,25	A
Pre-Tratamiento	235,94	A	12.393,75	A
Cosecha	106,88	B	1.125,69	B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (Tukey, $p > 0,05$)

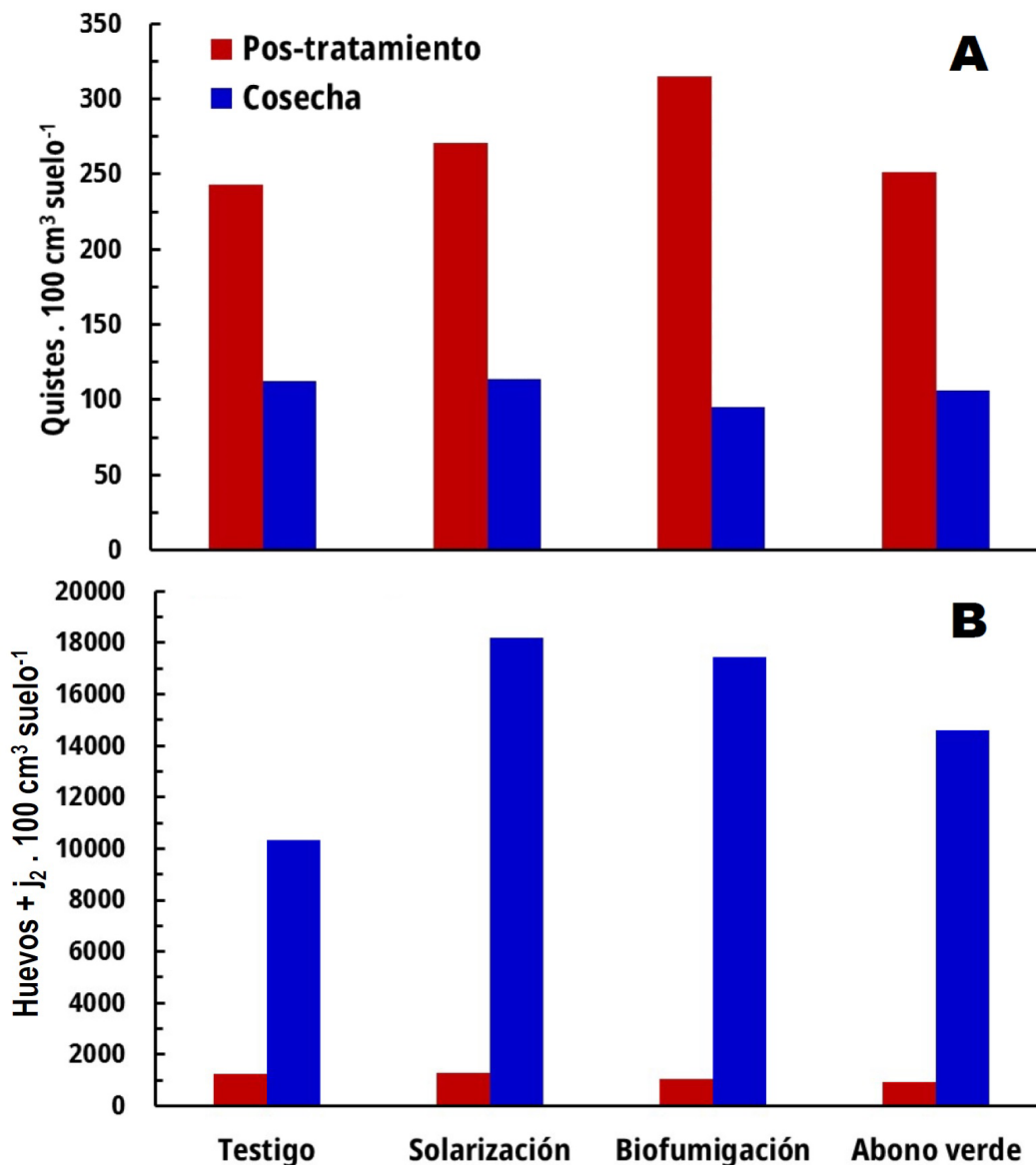


Figura 3. Número promedio de quistes (A) y de huevos + j₂ (B) de *G. rostochiensis* en etapas postratamiento y cosecha en cuatro tratamientos de control en siembra de papa, variedad Granola, en el estado Mérida, Venezuela.

Estos resultados coinciden con los alcanzados por Cadillo (2019) y Rojo (2010). Los autores señalan que, en la descomposición de los residuos vegetales, incorporados al suelo, en acción de los microorganismos, se generan sustancias que pueden actuar en el control de nematodos. Son productos químicos, como el amonio, nitratos, sulfídrico y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos; estos pueden producir una acción nematicida directa o afectar el desarrollo de los quistes, la eclosión

huevos o la movilidad de los juveniles de nematodos; también, aportan nutrientes al suelo que están disponibles para la planta lo que se traduce en incremento en rendimientos.

La mayor reducción de la población de quistes de *G. rostochiensis*, se alcanzó en los tratamientos de biofumigación, seguido por el de solarización y del uso de abono verde. Eso se asocia, en parte, a las temperaturas registradas en el suelo, donde se observó acumulación de calor por mayor tiempo

durante el día; debido, probablemente, a factores como: la fenología de la planta, el microclima, y las condiciones del suelo que contribuyeron a mayor emisión de gases con la cobertura plástica.

En trabajos similares, Bello *et al.* (2000) y Curay *et al.* (2021) reportan que, la aplicación de la biofumigación se puede realizar en cualquier época del año; en áreas donde existen bajas temperatura, hasta aproximadamente 30 °C, y en cultivos extensivos. En las investigaciones, reportan la aplicación de la biofumigación para el control de nematodos de dinámica vertical, como *G. rostochiensis*. En ese caso, los nematodos estaban ubicados entre 1 a 20 cm de profundidad en cultivos extensivos como *S. tuberosum*; el control con la incorporación de abonos verdes al suelo fue efectivo, en condiciones de bajas temperaturas, lo que coincide con la presente investigación.

Por otra parte, es importante acotar que la temperatura mayor a 10 cm del suelo se alcanzó en el tratamiento testigo. De igual forma, el descenso de la temperatura nocturna fue mayor en ese tratamiento. Lo planteado, permite deducir que hay mayor efectividad de todos los tratamientos de control debido a la acumulación de calor por mayor tiempo. Cuando la temperatura del suelo aumentó sobre el nivel térmico de sobrevivencia, es decir, temperaturas superiores a 30 °C, hubo mortalidad de los nematodos. Por su parte, Bello *et al.* (2000) e INIA (2018) señalan que los resultados de la aplicación de la biofumigación en cultivos extensivos son efectivos en condiciones de bajas temperaturas y sin aplicación de cubiertas de plástico. Rosado (2005) indica que, estas temperaturas por periodos prolongados son letales para el nematodo, ya que su actividad metabólica es susceptible a las altas temperaturas que se generan. Además, el incremento de la temperatura del suelo por efecto de solarización o biofumigación, es considerada como una de las razones de los cambios biológicos en el suelo (Carreño 2017). Abu-Irmaileh (2012) agrega que, el incremento de la temperatura del suelo por el calor generado de la descomposición de esos materiales y al incrementar la capacidad del suelo de mantener calor, se contribuye a un aumento en la actividad de los microorganismos. Algunos de los cuales son antagonistas de nematodos. También hay un aumento en la disponibilidad de nutrientes por parte de la planta.

Katan (1995) señala que la mayoría de los organismos nocivos del suelo tienen un carácter mesofílico, es decir, no resisten temperaturas por encima de 32 °C; su reducción es factible si se logra tales niveles térmicos en el suelo. Godoy *et al.* (2013), afirman que el suelo húmedo a capacidad de campo conduce mejor el calor, lo cual permite una distribución uniforme tanto de calor, como de las sustancias que se liberan durante la descomposición de la materia orgánica.

Para el caso de número de huevos y juveniles no se observó reducción de las poblaciones, pero es importante notar que hubo incremento al momento de la cosecha, respecto del primer conteo (post tratamiento). Esto se debió, en parte, al fenómeno de eclosión de los huevos ante el estímulo de las raíces de las plantas. La situación se puede explicar también por el fenómeno de diapausa, ya que no todos los huevos de los nematodos eclosionan al mismo tiempo, aún bajo condiciones óptimas (Muhammad 1994; Betancourth *et al.* 2022).

Lo antes expuesto, permite inferir que con los tratamientos evaluados se redujo más las poblaciones de quistes de *G. rostochiensis*. El resultado coincide con los hallazgos de Bello *et al.* (2000), Lugo *et al.* (2010), Carreño (2017) y Curay *et al.* (2021), quienes reportaron reducción de poblaciones de nematodos asociado a la acción tóxica de sustancias volátiles producidas tras la biodescomposición de la materia orgánica; y a la liberación de compuestos que estimulan los antagonistas saprofitos del suelo, tales como los aldehídos, alcoholes, y o toxinas alelopáticas, que ayudan al incremento de una microflora beneficiosa. Estas técnicas con crucíferas tienen efectos supresivos asociados a la liberación de isotiocianatos durante la hidrólisis de los glucosinolatos presentes en las Brassicas. Además, tienen actividad biológica comparable a la del metamsodio, pesticida de amplio espectro y caracterizado por generar metil-isotiocianato.

El análisis de Chi-cuadrado para la comparación entre la población final y población post tratamiento de quistes de *G. rostochiensis*, calculado como tasa de reproducción, mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos. El tratamiento testigo alcanzó un promedio de 4,88 %, superior al resto de los tratamientos, los cuales fueron similares entre sí, con fluctuaciones promedio de sus tasas de reproducción entre 0,30 y 0,42 % (Figura 4).

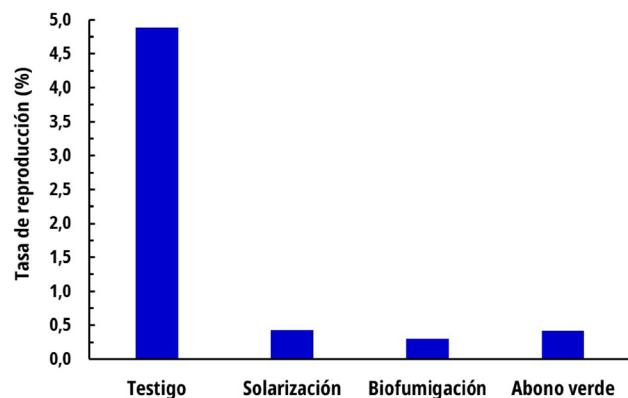


Figura 4. Tasa de reproducción de *G. rostochiensis* en cuatro tratamientos de control en siembra de papa, variedad Granola, en el estado Mérida, Venezuela

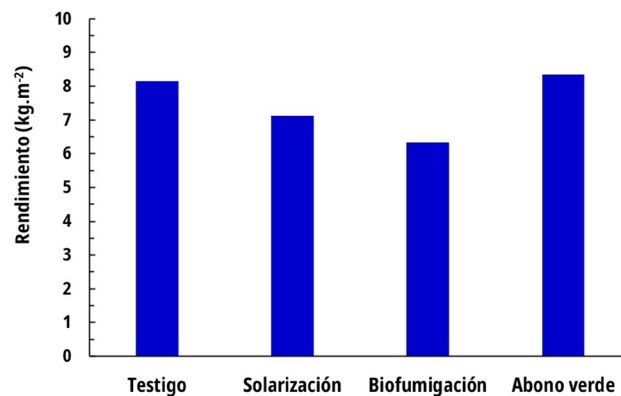


Figura 5. Rendimiento promedio (kg.m⁻²) de papa, variedad Granola, en cuatro tratamientos de control de *G. rostochiensis* en el estado Mérida, Venezuela

Estos resultados contrastan con valores de tasas de reproducción elevadas de hasta 20 % reportados por Jiménez *et al.* (2000), para Venezuela. En Chile, se determinó que la tasa de reproducción de *G. rostochiensis* en promedio fue de 39 % en siembra realizada en primavera; de 8 y 9 % en siembra de época de verano e invierno, respectivamente (Grecco *et al.* 1992). En Italia se encontró un índice de reproducción de 58 – 65 % (Grecco *et al.* 1982). Lo que indica, que con los tratamientos empleados en esta investigación se logró reducir la tasa de reproducción de *G. rostochiensis*.

Con relación a la producción de cultivo, se muestra en la Figura 5, el rendimiento promedio de la papa para cada tratamiento evaluado. Se evidencia que las parcelas donde se incorporó el abono verde alcanzaron el mayor rendimiento 8,350 kg.m⁻²; seguido por los tratamientos donde se aplicó solarización y biofumigación, con rendimiento alcanzado de 7,125 kg.m⁻² y 6,325 kg.m⁻², respectivamente.

Es importante considerar que, aunque las parcelas tratadas con biofumigación lograron la mayor reducción de la población de quistes de *G. rostochiensis*, los mayores rendimientos se consiguieron en las parcelas tratadas con abonos verdes. Esto podría atribuirse a que, la incorporación de materia orgánica al suelo, genera algunos gases que intervienen en el proceso de reducción de poblaciones de quistes (lo que permite reducir las poblaciones para ciclos siguientes); también, existe un aporte nutricional al suelo en su proceso de descomposición, lo

que se refleja en incremento en los rendimientos. Estos resultados concuerdan con los trabajos de Chango y Curay (2018), quienes señalan reducción de 68,69 % de una población de nematodos, con la incorporación de crucíferas. Landaverde-Acosta (2012) encontró que, las mayores concentraciones de nutrientes la presentaron los tratamientos con aplicación de control biológico y fertilizantes orgánicos, con respecto a los fertilizantes químicos; de igual forma encontró un mayor nivel de producción en las parcelas con aplicación de abonos orgánicos.

Los resultados sugieren la necesidad de realizar este sistema de manejo durante 3 a 4 años sucesivos para obtener mejores efectos, tal como lo señalan Iriarte *et al.* (2011) y Vuelta (2014). Las prácticas de solarización y de biofumigación, en el tiempo, permiten la acción de los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica para el control de fitonematodos del suelo. Rodríguez (2019) indica que, aún en caso de no encontrar diferencias en la producción de la papa, entre el manejo convencional con agroquímicos y uno alternativo que proteja el ambiente, siempre debe escogerse el que no use químicos, como una medida de protección ambiental.

La eficacia de la aplicación de estas técnicas para reducir las poblaciones de patógenos durante varios años consecutivos es similar a la de los fumigantes convencionales; además, permite disminuir la carga tóxica provocada por el uso de agroquímicos tan contaminantes como son los nematicidas químicos. Con el uso de estrategias agroecológicas, se logrará

en el tiempo una mejor protección de los cultivos y del medio ambiente. Esto será de beneficio para los habitantes del municipio Rangel del estado Mérida, Venezuela, zona agrícola por excelencia; igualmente, se puede poner en práctica en otras áreas agrícolas con condiciones similares.

CONCLUSIONES

Se determinó que las estrategias agroecológicas empleadas como técnicas alternativas de control, donde se incorporó abono verde (T4) y biofumigación (T3), fueron efectivas; por el uso de láminas de polietileno transparente (PE) de 60 µm de espesor y 4.000 kg.ha⁻¹ de abono verde (*B. napus*).

Con las prácticas de incorporación de abonos verdes (T4) y biofumigación (T3) se encontró una reducción de las poblaciones del nematodo *G. rostochiensis* y el incremento de los rendimientos del cultivo de papa; lo cual representa una opción factible para los productores del municipio Rangel del estado Mérida, así como también para las zonas productoras de papa del páramo andino venezolano.

LITERATURA CITADA

- AAbu-Irmailehl, B. 2012. Solarización del suelo. Manejo de malezas (en línea), FAO. Consultado 20 ene. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3Bdn4BY>.
- Anaya, G; Jiménez, N; Rodriguez, D; Crozzoli, R; Greco, N. 2005. Respuesta de clones avanzados de papa al nematodo del quiste *Globodera rostochiensis*, y comportamiento en micro-parcelas de un clon resistente al nematodo. *Nematropica* 35 (2): 145-154.
- Arbolea, J. 2018. Solarización una técnica de manejo integral de malezas y plagas (en línea). Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA. Montevideo - Uruguay, 96 p. Consultado 29 ago. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3a1rbVI>
- Bello, A; López-Pérez, JA; Sanz, R; Escuer, M; Herrero, J. 2000. Biofumigation and organic amendments. Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries. United Nations Environment Programme (UNEP), Francia. p. 113-141.
- Betancourth, C; Cañar, K, Almeida J; Avellaneda, I. 2022. Eficacia de fluensulfona en el control de *Globodera pallida* (stone) Behrens en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Nariño (Colombia). *Información Tecnológica* 33(2): 107-116.
- Blanco, O. 1994. Efecto del descanso del suelo sobre el número y la viabilidad de quistes de *Globodera* spp, en la papa. In Hervé, D; Genin, D; Riviere, G, (eds,) *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia. p. 171-174.
- Cadillo R, A. 2019. Control del nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) utilizando productos orgánicos en la zona de Cajay- Ancash. Tesis Ingeniero Agrónomo (en línea). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. 81 p. Consultado 28 nov. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3mmSCiu>
- Carreño, FH. 2017. Identificación de genes regulados diferencialmente en respuesta a la infección por *Globodera pallida* en una variedad de papa resistente y otra susceptible al nematode (en línea). Tesis Maestro en Microbiología. Universidad Peruana Calletano Heredia. Lima, Perú. 131 p. Consultada 20 dic. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3mlHJgR>
- Chango, L.; Curay S. 2018. Aplicación de extractos de extractos vegetales de palo bobo (*Nicotiana glauca*), clavel chino (*Tagetes patula*) y mostaza (*Sinapis alba*) para el control de nematodos en el cultivo de tomate riñon (*Lycopersicum esculentum*) (en línea). Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 66 p, Consultado 20 dic. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3a5Du3h>
- Comina, P; Rivadeneira, J; Cuesta, X. 2017. Estudio de la interacción genotipo por ambiente en papa. Resistencia a tizón tardío y contenido de Fe y Z, In 7 Congreso Ecuatoriano de la papa, Adaptación al cambio climático. Libro de Memorias, Carchi Ecuador. Junio 29 y 30. 210 p.

- Curay, S; Mangui, J; Perez, M; Telenchana, N; Vázques, C. 2021. Biofumigación y solarización como estrategia de manejo de nematodos en tomate (*Solanum lycopersicum*). Información Tecnológica 33(2): 107-116.
- Dao, F; González, J. 1971. El nematodo dorado de la papa *Heterodera rostochiensis* Woll, y su presencia en los andes Venezolanos. Agronomía Tropical 21:105-110.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2020. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020, Chapter 3 Food Security and Nutrition (en línea). p. 24-33. Consultado 29 ene. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3D56Gno>
- FEDEAGRO (Federación Nacional de Asociaciones de Productores Agrarios de Venezuela). 2017. Estadísticas agrícolas (en línea). Consultado el 29 ene, 2021. Disponible en <http://bit.ly/2TBAAFB>
- Fenwick, DW. 1940. Methods for the recovery and counting of cysts of *Heterodera schachtii* from soil. Journal of Helminthology 18:155-172.
- Greco, N., Di Vito, M; Brandonisio, A; Giordano, I; De Marinis, G. 1982. The effect of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. Nematologica 28:379-386.
- Greco, N; Moreno, IL. 1992. Influence of *Globodera rostochiensis* on yield of summer, winter, and spring sown potato in Chile. Nematropica 22:165-173.
- Greco, N; Crozzoli, R. 1995. Nematodo del quiste de la papa, *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*: Aspectos generales, Fitopatología Venezolana 8: 26:33.
- Godoy, H; Salvador, H; Villalobos, G; Medina, J; Marín, E; Aguilar, M; Maya, Á. 2013. Biosolarización Técnica para el control de patógenos del suelo en invernadero (en línea). INIFAP, Primera Edición 2013, Folleto Técnico 18. 36 p. Consultado 13 ene. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3akLz4p>
- González, K; Crozzoli, R; Greco, N. 2001. Utilización de enmiendas orgánicas en el control de *Meloidogyne incognita*. Nematología Mediterranea 29: 41-45.
- González, L; Osorio, M; Araujo, Y; Niño, L; Gabriel, J. 2019. Selección de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) adaptados a las condiciones agroecológicas del Estado Mérida, Venezuela. Revista Latinoamericana de la Papa 23(1):76-85.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Uruguay). 2018. Solarización: Una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura. p. 96.
- Iriarte, L; Sosa, M; Reybet, YG. 2011. Efecto de la biofumigación con repollo sobre el control de *Fusarium oxysporum* en suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias 37(3): 231-237.
- Jiménez, N; Crozzoli, R; Greco, N. 2000. Effect of *Globodera rostochiensis* on the yield of potato in Venezuela, Nematología mediterranea 28: 295-299.
- JMP (JMP Statistical discovery from SAS, USA). 2020. Data analysis software (en línea). Consultado 09 oct. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3DcV8hW>
- Katan J. 1995. Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests- annual. Review Phytopathology 19:211-36.
- Landaverde-Acosta, JI. 2012. Uso de dos estrategias de control del nematodo dorado y fertilización del suelo en cultivo de papa. Tesis Licenciatura, Agronomía. Universidad Veracruzana. México. 45 p.
- López-Lima, D; Desgarennnes, D; Lima-Rivera, D. 2020. Integrated management of *Globodera rostochiensis*: a novel biocontrol agent, crop rotation and fallow, (en línea). Journal of Plant Disease Protection 127:633-640. Consultado el 18 may. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/2IHjNVb>
- Lugo, Z; Crozzoli, R; Greco, N; Cortez, A; Fernández, A. 2010. Efecto de la solarización y de *Calotropis procera* en el control de *Meloidogyne incognita* en melón en el estado Falcón, Venezuela. Nematología Mediterranea 38: 121-127.
- MPPAT (Ministerio del Poder Popular para la agricultura y Tierras, Venezuela). 2018. Evolución de la Producción, la Superficie y el Rendimiento de Rubros Seleccionados en el Período 1995-2018. p. 41.

- Muhammad, Z. 1994. Diapause in the nematode *Globodera pallida*. Eur J Plant Pathol, 100, 413-423 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF01874808>
- Montes Y, IM. 2020. Mejoramiento de las propiedades biofísicas del suelo mediante la incorporación de dos abonos verdes y materia orgánica (en línea). Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Escuela de Posgrado 114 p. Consultado 24 ago. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/31dNnrJ>
- Obando, M; García, G; Araya, M. 2017. Control químico de *Globodera pallida* (Stone) Behrens y la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Floresta (en línea). Revista Protección Vegetal 32 (3):1-1. Consultado 17 dic, 2020. Disponible en <https://bit.ly/2T56aVg>
- Obregón, S; Bejarano, J; Saavedra, M; Haro, A. 2018. Cruciferae plant species for biofumigation in Mediterranean conditions. 5 ISHS International Symposium on Brassicas. p. 172.
- Peña, R; Duerto, O. 1987. Evaluación de la funcionalidad de las obras conservacionistas, el caso de "La Misinta", Mucuchíes, Estado Mérida. Trabajo especial de grado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 201 p.
- Perera, S; Trujillo, L; Cruz, B; Díaz, C; Santos, B; Tascón, C. 2013. Evaluación de alternativas al uso de metan sodio para el control del nematodo dorado (*Globodera rostochiensis* y *G. pallida*) en el cultivo de la papa en Tenerife, 2º año experimental. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural. 8 p.
- PROINPA (Productores Integrales del Páramo, Venezuela). 2014. Boletín informativo 2014. Red socialista de Innovación Productiva Integral del Cultivo de Papa municipio Rangel estado Mérida -Venezuela. 16 p.
- Pullman, G; Deavay, J; Garber, R. 1981. Soil solarization and thermal death: a logarithmic relation between time and temperature for soilborne pathogens. Phytopathology 71(9):959-964
- Rivadeneira, J; Ortega, D; Morales, V; Montero, C; Cuesta, X. 2017. Efecto de la interacción genotipo por ambiente en el contenido de hierro, zinc y vitamina C en genotipos de papa (*Solanum* sp).
- VII congreso Ecuatoriano de la papa. Adaptación al cambio climático. Libro de Memorias, Carchi Ecuador. Junio 29 y 30. 210 p.
- Rojo, M. 2010. Bases agronómicas para la utilización de restos agrarios en biodesinfección de suelos (en línea). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Consultado 20 ene. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3l5X1XI>
- Rodríguez C, AE. 2019. Evaluación de prácticas de manejo integrado y convencional del nematodo de quiste de la papa (*Globodera pallida* Stone 1973), en la Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago. (en línea), Trabajo de Licenciado en Ciencias Agronómicas. Universidad Nacional Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Heredia, Costa Rica. 94 p. Consultado el 20 feb. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/3o0ucLK>
- Rosado, S. 2005. Efecto de prácticas agrícolas sostenibles en el manejo de nematodos fitoparasítico en calabaza (*Cucurbita moschata* Duch). Tesis maestro en ciencias. Universidad de Puerto Rico. 114p.
- Scurrah, MI; Niere, B; Bridge, J. 2005. Nematode parasites of Solanum and sweet potatoes, In Luc; M; Sikora, RA; Bridge, J, (eds.). Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CABI Publishing. p. 193-219.
- S'Jacob, J; Van Bezooijen, J. 1971. A manual for practical work in nematology, Wageningen. Agricultural University. The Netherland. p.15-17.
- Silva, C. 2018. Biofumigación con brassicaceas para el control de nematodos en el cultivo de papa, Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. p. 70.
- Vuelta, DE. 2014. La biofumigación y la solarización como alternativas al manejo de plagas del suelo (en línea). Ciencia en su PC 1:15-26. Consultado 21 dic. 2021. Disponible en <https://bit.ly/3BoQ9KR>