

Evaluación y bioformulación con base en hongos nematófagos y un extracto vegetal para el manejo de *Globodera pallida* en el cultivo de papa bajo condiciones de invernadero

Sucuy-Bonilla Ariel Felipe¹, LLumiquinga-Hormaza Pablo Javier², Tello-Torres Cristina Margarita²

¹Universidad De Las Américas. (UDLA). Vía a Nayón, Quito. Ecuador. Tel: +593 2 398 1000

ariel.sucuy@udla.edu.ec

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (INIAP). Av. Eloy Alfaro N30-350 y Amazonas.

Quito. Ecuador. Tel: +593 2 256 7645

pablo.llumiquinga@iniap.gob.ec, cristina.tello@iniap.gob.ec

Resumen

El nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) constituye una de las principales limitantes fitosanitarias para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en la Sierra del Ecuador, provocando pérdidas de hasta el 30 % del rendimiento. La dependencia prolongada de nematicidas químicos ha generado preocupaciones ambientales, toxicidad residual y resistencia del patógeno, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo sostenible. En este contexto, el presente estudio evaluó la eficacia nematicida de dos bioformulados a base de *Trichoderma virens*, *Purpureocillium lilacinum* y extracto de quinua (*Chenopodium quinoa*), desarrollados en dos presentaciones: gránulo cubierto y gránulo dispersable. La investigación se llevó a cabo en dos fases: la primera consistió en la producción, formulación y caracterización microbiológica y fisicoquímica de los bioinsumos, mientras que la segunda comprendió la evaluación de su eficacia bajo condiciones controladas de invernadero. Se utilizó la variedad Leona Negra y un diseño completamente al azar con ocho tratamientos (2×3 dosis + 2 testigos) y seis repeticiones. Los bioformulados se aplicaron mensualmente durante un ciclo completo del cultivo. Se evaluaron variables agronómicas y la dinámica poblacional de *G. pallida*, considerando el incremento de huevos y larvas por unidad experimental.

Los resultados permitieron determinar el impacto diferencial de cada formulación y dosis sobre la población del nematodo, así como su efecto en el crecimiento y productividad de la planta. Este estudio demuestra el potencial de integración de agentes de control biológico y

extractos vegetales en bioformulados con actividad nematocida, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles para el manejo de *G. pallida*. Las formulaciones evaluadas ofrecen una alternativa ecológica con potencial de aplicación en programas de manejo integrado de plagas en cultivos de papa.

Palabras clave: *Globodera pallida*, bioformulados, control biológico, extracto de quinua, hongos nematotagos

Abstract

The potato cyst nematode (*Globodera pallida*) is one of the main phytosanitary constraints on potato crops (*Solanum tuberosum*) in the Ecuadorian highlands, causing yield losses of up to 30%. Prolonged reliance on chemical nematicides has generated environmental concerns, as well as residual toxicity and pathogen resistance, underscoring the need for sustainable management strategies. In this context, this study evaluated the nematocidal efficacy of two bioformulations based on *Trichoderma virens*, *Purpureocillium lilacinum*, and quinoa extract (*Chenopodium quinoa*), developed in two presentations: coated granules and dispersible granules. The research was carried out in two phases: the first consisted of the production, formulation, and microbiological and physicochemical characterization of the bioinputs, while the second involved evaluating their efficacy under controlled greenhouse conditions. The Leona Negra variety was used in a completely randomized design with eight treatments (2 x 3 doses + 2 controls) and six replicates. The bioformulations were applied monthly throughout the entire crop cycle. Agronomic variables and *G. pallida* population dynamics were evaluated, considering the increase in eggs and larvae per experimental unit.

The results allowed determining the differential impact of each formulation and dose on the nematode population, as well as its effect on plant growth and productivity. This study demonstrates the potential for integrating biological control agents and plant extracts into bioformulations with nematocidal activity, contributing to the development of sustainable strategies for managing *G. pallida*. The formulations evaluated offer an environmentally friendly alternative with potential application in integrated pest management programs for potato crops.

Keywords: *Globodera pallida*, bioformulations, biological control, quinoa extract, nematode fungi

1. Introducción

En la región Sierra del Ecuador, el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) constituye una actividad estratégica tanto desde el punto de vista económico como alimentario, especialmente para pequeños productores, para el 2022, se registró una producción aproximada de 251 mil toneladas en 17 926 ha, con un rendimiento promedio de 14.03 t/ha ((MAG-SIPA, 2024). No obstante, su productividad se ve limitada por diversos factores bióticos, entre los cuales el nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) se considera una de las principales amenazas fitosanitarias. Esta especie puede causar pérdidas de rendimiento de hasta un 30 %, especialmente en provincias de la Sierra central y sur como Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar (Riera et al., 2010).

G. pallida es un nematodo endoparásito que infecta el sistema radicular de la planta, afectando su crecimiento y reduciendo la eficacia en la absorción de agua y nutrientes (Arteaga, 2020). Su ciclo biológico incluye la formación de quistes, estructuras de resistencia que contienen cientos de huevos viables y que pueden permanecer en el suelo por más de 20 años en ausencia del hospedero, lo que dificulta su erradicación (Silvestre et al., 2022). La infestación ocurre cuando las larvas emergen de los quistes y penetran las raíces de la papa, donde se alimentan y completan su desarrollo (Silvestre et al., 2022; Poinar, 2019). El manejo convencional de esta plaga se ha basado en el uso de nematicidas químicos, los cuales presentan eficacia limitada y efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente (Vera et al., 2024). Ante estas limitaciones, se ha incrementado el interés por estrategias de manejo sostenible, entre ellas el empleo de variedades resistentes, la rotación de cultivos con especies no hospederas y, en particular, el uso de microorganismos con actividad nematicida. Estas herramientas biológicas se destacan como alternativas clave dentro de programas de manejo integrado de plagas, al ofrecer una solución más sostenible para reducir poblaciones de *G. pallida*.

El control biológico de nematodos fitoparásitos mediante hongos nematófagos representa una alternativa sostenible y eficaz frente a los métodos químicos convencionales.

Dentro de este grupo, *Trichoderma virens* destaca por su capacidad para colonizar el sistema radicular de la planta y activar mecanismos de defensa inducida (Perry et al., 2018). Este hongo produce enzimas hidrolíticas como quitinasas, que degradan la quitina presente en las paredes del quiste, debilitándolas y facilitando su ruptura. Además, su actividad metabólica promueve la liberación de nutrientes, favoreciendo el crecimiento vegetal (Marraschi et al., 2019; Yao et al., 2023; Yan et al., 2021).

Por su parte, *Purpureocillium lilacinum* constituye otro agente de biocontrol prometedor. Este hongo actúa como parásito facultativo de nematodos, atacando principalmente huevos, juveniles y hembras inmaduras mediante la acción de quitinasas y serina proteasas, estos compuestos generan lisis celular, lo que conduce a la muerte del embrión (Perry et al., 2018; Hajji et al., 2017). Su especificidad hacia fases vulnerables del nematodo lo convierte en un controlador altamente eficaz.

Adicionalmente, extractos vegetales como los derivados de quinua (*Chenopodium quinoa*) han mostrado un alto potencial nematicida, atribuible a su alto contenido de saponinas. Estas moléculas poseen propiedades fungicidas, bactericidas y nematicidas, con efectos citotóxicos sobre nematodos, alcanzando hasta un 100% de mortalidad en ensayos in vitro con extractos de quinua y chocho (*Lupinus mutabilis*) (Chacalo, 2022). En condiciones controladas, Flores (2023) reportó una reducción significativa en la población de quistes de *G. pallida* tras la aplicación de extracto de quinua.

No obstante, a pesar de los avances obtenidos en el estudio individual de estos agentes, aun no se ha desarrollado un bioformulado para el control de *G. pallida* en el cultivo de papa. La evolución adaptativa del nematodo, incluyendo el desarrollo de resistencia a nematicidas sintéticos y fertilizantes (Tobin et al., 2008), ha limitado la eficacia de los métodos convencionales y ralentizando la adopción de estrategias biológicas en programas de manejo integrado. Esta situación ha prolongado la dependencia de soluciones químicas tradicionales, lo que afecta la sostenibilidad de los cultivos a largo plazo.

El presente estudio propone el desarrollo y evaluación de dos bioformulados, un gránulo cubierto y un gránulo dispersable, compuestos por los hongos nematófagos *T. virens* y *P. lilacinum*, combinados con extracto de quinua, orientados al control biológico de *G. pallida* bajo condiciones de invernadero, enfocado a un ciclo biológico completo del

nematodo. La formulación busca interferir en el ciclo biológico del nematodo en sus diferentes estadios, reduciendo su densidad poblacional y favoreciendo tanto la salud edáfica como el rendimiento del cultivo de papa. El objetivo principal de esta investigación es determinar la eficacia nematicida de ambos bioformulados mediante la aplicación de diferentes dosis, con el fin de identificar el tratamiento más eficiente para su integración en estrategias de manejo sostenible.

2. Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en dos fases. La primera, relacionada con la preparación y caracterización de los bioformulados, se llevó a cabo en los laboratorios de Control Biológico de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador. La segunda fase incluyó la preparación del inóculo de *G. pallida* y la evaluación de la eficacia nematicida de los bioformulados, procesos realizados en el laboratorio de Nematología del mismo instituto. Finalmente, el ensayo se realizó bajo condiciones controladas en el invernadero automatizado del INIAP, ubicado en Sangolquí, en el campus IASA de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE).

2.1 Desarrollo y caracterización de los bioformulados

2.1.1 Aislamiento y multiplicación de las cepas

Las cepas de los hongos *T. virens* y *P. lilacinum* se cultivaron inicialmente en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) para su reactivación. Posteriormente, se realizó una multiplicación masiva en arroz estéril, inoculado con fragmentos de micelio a partir de los cultivos en agar. La colonización del sustrato arroz se observó a los 10 días de incubación.

2.1.2 Elaboración del bioformulado gránulo cubierto

Los conidios generados en el arroz esporulado fueron extraídos mediante agitación vigorosa con agua estéril y sucesivas filtraciones. El procedimiento se repitió hasta alcanzar el volumen requerido. Posteriormente, mediante centrifugación, se separaron los conidios para formar una pasta concentrada. Las pastas de ambas cepas, constituyen los principios activos junto con el extracto de quinua, se mezclaron con goma xantana, aceite vegetal, zeolita,

mezcla bentonita-talco y talco, que actúan como excipientes inertes. La bioformulación final alcanzó una concentración inicial del producto de 1.97×10^9 conidios.g⁻¹.

2.1.3 Elaboración del bioformulado gránulo dispersable

Se siguió el mismo procedimiento de obtención de la pasta concentrada a partir de los conidios de *T. virens*, *P. lilacinum* y extracto de quinua. A esta mezcla se incorporaron como agentes secantes, almidón de yuca y bentonita. Este proceso generó una pasta sólida moldeable que, tras ser rallada, permitió obtener un bioformulado granulado dispersable en agua, con una concentración inicial de 1.38×10^9 conidios.g⁻¹.

2.1.4 Análisis de calidad de los bioformulados

Con el fin de garantizar la calidad microbiológica de los bioformulados, se realizaron análisis mensuales de la viabilidad (UFC.g⁻¹), concentración de conidios (conidios.g⁻¹) y el porcentaje de pureza. Además, se efectuaron pruebas físico-químicas que incluyeron la actividad del agua, con un medidor AquaLab 4TE, y el porcentaje de humedad utilizando una balanza térmica (BOECO, BMA 150), siguiendo la metodología descrita por Báez et al. (2019).

2.1.5. Obtención del inóculo *G. pallida*

A partir de suelo naturalmente infestado con *Globodera pallida*, se realizó la extracción de quistes empleando el elutriador de Fenwick, utilizando una muestra de 200 cm³ de suelo. El lavado con agua a presión permitió separar los quistes por diferencia de densidad, los cuales fueron retenidos en un tamiz de 250 µm (Van Bezooijen, 2006). Posteriormente, los quistes se enjuagaron, transferidos a un matraz aforado con alcohol absoluto, y se filtró con papel filtro, luego se eliminaron los residuos sólidos manualmente. La estimación de huevos y larvas por quiste, se realizó a partir de una submuestra de 25 quistes, para lo cual se trituraron en una siracusa y el contenido se aforó con 100 mL de agua destilada y se cuantificó bajo estereomicroscopio para determinar la concentración inicial de huevos y larvas.

2.1.6. Siembra y aplicación de tratamientos

Se utilizó un sustrato compuesto por tierra negra y arena en proporción 3:1. Se sembró la variedad Leona Negra, que se probó en estudios previos como cultivo susceptible al nematodo (Riera et al., 2010). Se colocaron 350 quistes por unidad experimental, con una

concentración promedio de 60000 huevos y larvas por maceta. Los bioformulados desarrollados (gránulo cubierto y gránulo dispersable) tuvieron una concentración inicial de 1.0×10^9 cada uno y fueron aplicados en tres cantidades (1.2, 1.6 y 2 g) mensualmente a partir de los 15 días de la siembra. La cosecha se efectuó a los 3 meses, correspondiente al ciclo de crecimiento de la variedad evaluada.

Durante el ciclo del cultivo se realizaron las labores culturales correspondientes: riego, control fitosanitario, control de malezas, tutorado y aporcado.

2.1.7. Evaluación de variables agronómicas

Las variables se registraron en dos momentos: pre-cosecha (altura de tallo y contenido de clorofila). Los cuales se evaluaron mensualmente hasta el día de la cosecha y post-cosecha (número de tubérculos, peso de tubérculos, peso de raíz e incremento de larvas y huevos de nematodos). Estas mediciones permitieron caracterizar el comportamiento agronómico del cultivo y la dinámica poblacional de *G. pallida* bajo los tratamientos aplicados.

2.1.8. Evaluación del incremento de larvas y huevos de *G. pallida*

El incremento poblacional de *G. pallida* se calculó mediante la razón entre la concentración final de huevos y larvas del nematodo por maceta y la concentración inicial de huevos y larvas aplicadas por maceta.

Para la cuantificación de la concentración final de huevos y larvas del nematodo por maceta, se utilizó el elutriador de Oostenbrink, procesando 200 cm^3 de suelo por unidad experimental. El lavado con agua a presión permitió separar los quistes, reteniendo partículas gruesas en el tamiz superior, mientras el flujo ascendente evitó la sedimentación de nematodos (Van Eck, 1984). La fracción fina fue colectada en tamices de $45 \mu\text{m}$, aforada a 100 mL y analizada en estereomicroscopio para el recuento de larvas y huevos del nematodo *G. pallida*. Además, se realizó el conteo de huevos y larvas de quistes de cada unidad experimental mediante el elutriador de Fenwick.

2.1.9. Diseño experimental

Se implementó un diseño factorial $2 \times 3 + 2$ con un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 6 observaciones, que incluyó dos bioformulados, tres dosis y dos testigos (químico y absoluto) (Tabla 1). El ingrediente activo del producto químico es la abamectina cuya

concentración para la aplicación es de 0.138 g.l-1 (Sasanelli et al., 2019). Los datos fueron procesados en el software estadístico R versión 4.5.0. Se verificaron los supuestos de normalidad e independencia, y posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre tratamientos. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey HSD al 5% de significancia.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados según tipo de formulación

Tratamiento	Código	Bioformulado	Cantidad (g)
1	T1	Gránulo cubierto	1.2
2	T2	Granulo cubierto	1.6
3	T3	Gránulo cubierto	2
4	T4	Gránulo dispersable	1.2
5	T5	Gránulo dispersable	1.6
6	T6	Gránulo dispersable	2
7	T7	Testigo químico	250 ml
8	T8	Testigo absoluto	-

3. Resultados y discusión

3.1 Respuesta Agronómica del Cultivo de Papa a los Tratamientos Aplicados

En el análisis de las variables agronómicas evaluadas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, con excepción del peso de tubérculos (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de tres concentraciones de dos bioformulados sobre variables agronómicas de cultivo de papa var. Leona negra afectada con G. pallida.

Tratamiento	Variables agronómicas				
	Altura (cm)	Clorofila	Número de tubérculos	Peso de tubérculos (g)	Peso de raíz (g)
T1	68.9±2.7 ^a	51.1±2.6 ^a	26.4±5.9 ^a	152.4±45.4 ^{ab}	171.0±13.7 ^a
T2	69.4±4.4 ^a	48.4±1.6 ^a	24.9±7.9 ^a	149.4±32.2 ^{ab}	166.5±41.6 ^a
T3	72.1±4.7 ^a	50.0±1.0 ^a	25.3±11.4 ^a	159.7±51.8 ^{ab}	186.7±78.0 ^a
T4	71.1±2.7 ^a	50.6±1.5 ^a	24.7±14.5 ^a	168.5±33.1 ^{ab}	137.3±32.6 ^a
T5	71.8±3.9 ^a	48.3±2.5 ^a	22.0±12.4 ^a	148.9±37.6 ^{ab}	129.2±27.3 ^a
T6	72.1±4.5 ^a	49.1±2.0 ^a	26.0±6.3 ^a	179.3±12.4 ^a	133.9±43.5 ^a
T7	72.5±1.1 ^a	49.4±0.8 ^a	22.3±6.6 ^a	153.1±18.2 ^{ab}	127.8±7.3 ^a
T8	70.3±2.3 ^a	49.7±2.1 ^a	20.4±5.7 ^a	115.1±37.5 ^b	152.6±38.3 ^a

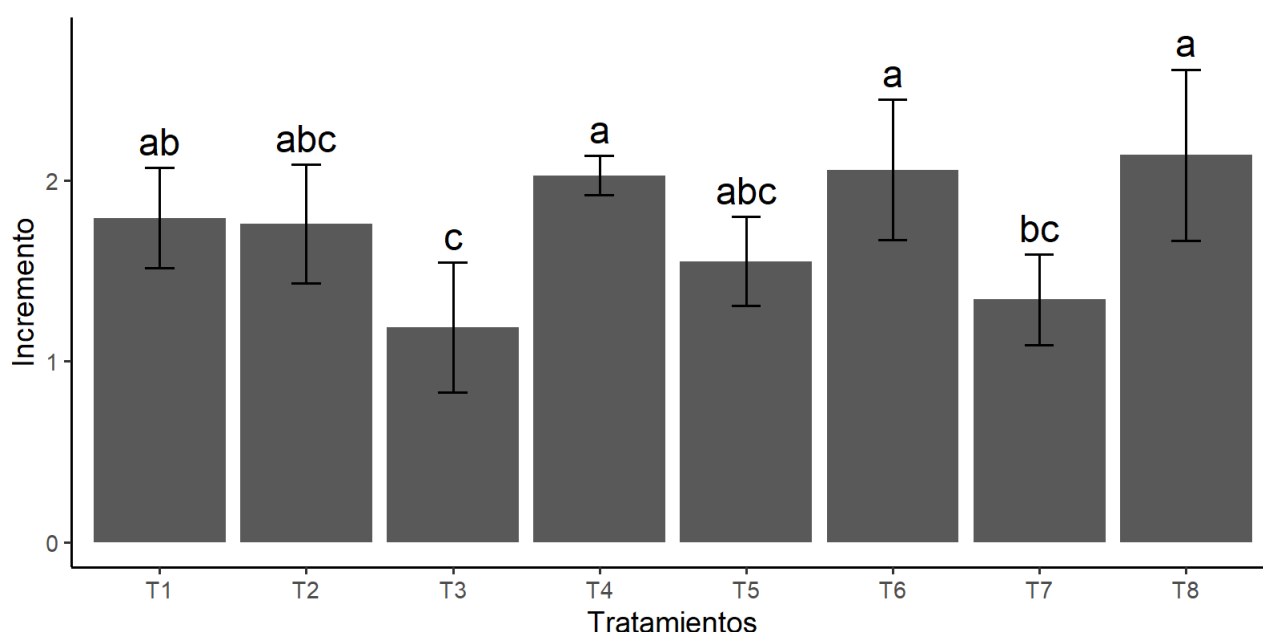
En la variable peso de tubérculos ya que se observa diferencias significativas en cuanto al tratamiento T6 en comparación del T8 que corresponde al testigo absoluto, lo cual indica una mejora en el rendimiento de tubérculos.

Este resultado sugiere que el tipo de formulación (gránulo dispersable) realizado para el tratamiento T6, tuvo un efecto positivo en la producción de tubérculos. Una posible explicación es la inclusión de yuca como uno de sus componentes principales. Este almidón contiene aproximadamente un 22% de amilosa (Aristizábal et al., 2007), lo cual puede favorecer a la liberación gradual de los agentes biológicos en el suelo; además, el almidón actúa como fuente de carbono, lo que podría contribuir al desarrollo del microbioma rizosférico y a la estimulación del crecimiento vegetal (Grandes, 2017).

3.2 Incremento de larvas y huevos de nematodos

Como se muestra en la Figura 1, se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). El tratamiento T3 presentó el menor incremento de 1.19, en contraste con T8 (testigo absoluto) 2.14, lo que sugiere un efecto supresor sobre la población del nematodo durante su primer ciclo biológico.

Figure 1. Concentración por incremento de huevos y larvas de *G. pallida* bajo diferentes tratamientos



El tratamiento T3, correspondiente al gránulo cubierto en dosis alta, evidenció una disminución significativa en la población de huevos y larvas de *G. pallida* con un porcentaje de reducción del 55.60%. Este efecto puede atribuirse a la mayor estabilidad de esta formulación, cuya matriz sólida permitió una liberación gradual del agente biológico. La inclusión de zeolita, mineral con alta porosidad, favoreció la retención y liberación controlada de los componentes activos en el suelo (Borgues et al., 2012).

Los hongos nematófagos *T. virens* y *P. lilacinum*, incorporados en el bioformulado, poseen mecanismos de acción bien establecidos, como la producción de quitinasas y proteasas, que degradan las estructuras de huevos y juveniles del nematodo (Perry et al., 2018; Hajji et al., 2017). La formulación sólida protegió los conidios frente a las condiciones fungistáticas del suelo, mejorando su viabilidad y capacidad de germinación (Skinner et al., 2012). Estudios previos han reportado resultados similares en el control de otros fitonematodos en condiciones controladas (Kiriga, 2018).

La baja concentración final de nematodos en T3 sugiere una posible interrupción del primer ciclo biológico de *G. pallida*. *T. virens* no solo actúa directamente sobre el patógeno, sino que también activa respuestas de defensa sistémica en raíces colonizadas (Yao et al., 2023; Gava et al., 2021), mientras que *P. lilacinum* mantiene una acción específica sobre

huevos y juveniles. La inclusión del extracto de quinua, fuente de saponinas con actividad nematocida, aportó un efecto tóxico complementario, reforzando la eficacia del bioformulado (Chacalo, 2022; Flores, 2023).

3.3 Estabilidad y Calidad de Bioformulados Durante el Almacenamiento

Ambos bioformulados mantuvieron viabilidades microbiológicas aceptables durante los 180 días de almacenamiento, con valores finales en el orden de 10⁸ UFC.g⁻¹. Sin embargo, el gránulo cubierto (Tabla 3) mostró una tendencia más estable en la viabilidad, con descensos progresivos y sin picos abruptos, mientras que, el gránulo dispersable (Tabla 4) presentó fluctuaciones marcadas, alcanzando un valor máximo al día 60 (4.27×10⁹ UFC.g⁻¹) seguido de una disminución considerable al final del periodo.

Respecto a la concentración de conidios, el gránulo cubierto mantuvo cifras relativamente constantes a lo largo del tiempo, en comparación con el gránulo dispersable, que evidenció una reducción progresiva. Este comportamiento sugiere que la formulación del gránulo cubierto ofrece mayor estabilidad de los ingredientes activos.

Tabla 3. Parámetros de control de calidad del bioformulado en gránulo cubierto durante 180 días de almacenamiento.

Tiempo (días)	Viabilidad (UFC/g)	Concentración (conidios/g)	% Pureza	a _w	% Humedad
0	1.55×10 ⁹	1.97×10 ⁹	100	0.52	5.77
30	1.45×10 ⁹	1.86×10 ⁹	100	0.51	5.68
60	1.03×10 ⁹	1.85×10 ⁹	100	0.58	5.04
120	1.02×10 ⁹	2.11×10 ⁹	100	0.61	5.32
150	8.75×10 ⁸	1.77×10 ⁹	100	0.62	4.88
180	3.50×10 ⁸	1.90×10 ⁹	100	0.61	5.88

El contenido de humedad fue consistentemente menor en el gránulo cubierto (promedio ~5%), lo cual representa una condición favorable para la conservación de los conidios; mientras que, el gránulo dispersable presentó valores superiores al 9% durante todo el período de almacenamiento, alcanzando hasta 13.45% al día 150. A pesar de estas diferencias, ambos bioformulados mantuvieron una pureza del 100% y una actividad de agua

cercana a 0.60, valores que se encuentran dentro de los rangos establecidos para este tipo de productos.

Tabla 4. Parámetros de control de calidad del bioformulado en gránulo dispersable durante 180 días de almacenamiento.

Tiempo (días)	Viabilidad (UFC/g)	Concentración (conidios/g)	% Pureza	a_w	% Humedad
0	1.31×10^9	1.38×10^9	100	0.61	9.49
30	1.21×10^9	1.34×10^9	100	0.62	9.15
60	4.27×10^9	1.63×10^9	100	0.60	10.69
120	4.07×10^9	1.10×10^9	100	0.61	10.02
150	7.10×10^8	8.50×10^8	100	0.60	13.45
180	4.57×10^8	8.65×10^8	100	0.60	9.24

Según los criterios establecidos en el *Manual de análisis de calidad para formulaciones con base en hongos biocontroladores* (Báez et al., 2019), ambos bioformulados cumplen con los parámetros microbiológicos y físico-químicos requeridos, lo que respalda su adecuación técnica. Las diferencias observadas entre las formulaciones pueden atribuirse al tipo de formulación y a los ingredientes activos utilizados, que influyen directamente en la estabilidad microbiológica, las propiedades físico-químicas del producto y su eficacia potencial en campo.

4. Conclusiones

Se desarrollaron dos bioformulados a base de *Trichoderma virens*, *Purpureocillium lilacinum* y extracto de quinua, en presentaciones de gránulo cubierto y gránulo dispersable, ambos cumplieron con los parámetros microbiológicos y físico-químicos exigidos para productos biológicos de calidad, manteniendo viabilidades superiores a 10^8 UFC/g durante 180 días de almacenamiento.

El tratamiento con gránulo cubierto a 2 g (T3) presentó la mayor eficacia nematocida, al reducir significativamente la densidad de huevos y larvas de *G. pallida* en un 55.60% respecto al testigo absoluto. Este efecto se podría atribuir a la acción sinérgica de los hongos nematófagos, mediante la producción de enzimas líticas (quitinasas y proteasas), y las saponinas del extracto de quinua, lo que sugiere una interrupción efectiva en el primer ciclo biológico del nematodo.

Las diferencias observadas entre formulaciones resaltan la importancia del tipo de matriz y sus componentes en la liberación del agente biológico, su estabilidad y eficacia en campo. En particular, la formulación tipo gránulo cubierto, al presentar una liberación lenta, favorece el establecimiento del microorganismo en la rizosfera, prolongando su efecto biológico en el suelo, en contraste con la formulación dispersable de disolución más rápida.

5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en particular a la Estación Experimental Santa Catalina, por brindar el apoyo técnico, logístico e infraestructural necesario para la ejecución de esta investigación. Se extiende un reconocimiento especial al personal de los laboratorios de Control Biológico y Nematología por su colaboración en la producción de bioformulados y en el análisis del material experimental. Esta investigación no habría sido posible sin el compromiso institucional del INIAP con el desarrollo de alternativas sostenibles para la agricultura ecuatoriana.

6. Referencias

- Aït Hamza, M., Lakhtar, H., Tazi, H., Moukhli, A., Fossati-Gaschignard, O., Miché, L., ... & Boubaker, H. (2017). Diversity of nematophagous fungi in Moroccan olive nurseries: Highlighting prey-predator interactions and efficient strains against root-knot nematodes. *Biological Control*, 114, 14-23.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Lorío, D. M. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* (Vol. 163). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Arteaga MB, Soria CA, Ordoñez ME. Determinación del potencial nematocida y nematostático in vitro de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) sobre larvas J2 de *Globodera pallida* (Stone). *REMCB*
- Azócar Peralta, D. I. (2020). Control de *Globodera rostochiensis* wollenberg, en papas (*Solanum tuberosum* L.), a través del uso de rizobacterias nativas.
- Báez Cevallos, F. J., Perdomo Quishpe, C. E., Pincay Verdezoto, A. K., Tello Torres, C. M., Villamizar, L., Trevor, J., ... & Viera, W. (2019). Manual de Análisis de calidad para formulaciones con base en hongos biocontroladores.

- Betancourth, C. A., Cañar, K. Y., Almeida, J. V., & 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.
- Borges-Rodríguez, D., San Juan-Rodríguez, A. N., Díaz-LLanes, A. O., Gómez-Santiesteban, E., & Hernández-Sanchez, R. (2012). Evaluación de la zeolita como soporte sólido para la formulación del biofertilizante *Azospirillum*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(2), 12-18.
- Chacalo, E. (2022). Evaluación de la efectividad de extractos vegetales frente a *Meloidogyne incognita in vitro*, cantón Mejía. *UTE*.
- Evans, K., y Stone, A. R. (1977). A Review of the Distribution and Biology of the Potato Cyst-Nematodes *Globodera rostochiensis*. *PANS*, 23(2), 178–189. <https://doi.org/10.1080/09670877709412426>
- Flores Ajila, V. T. (2023). Eficacia de cinco extractos vegetales para el control de *Globodera pallida* en *Solanum tuberosum* L., bajo invernadero.
- Flores, V. (2023). Eficacia de cinco extractos vegetales para el control de *Globodera pallida* en *Solanum tuberosum* L., bajo invernadero. *Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador*
- Gava, C. A. T., da Silva, J. C., Simões, W. L., & Paranhos, B. A. J. (2021). Impact of soil texture on conidia movement and residual effect of entomopathogenic fungi applied through irrigation to control fruit-fly pupae in mango orchards. *Biological Control*, 163, 104559.
- Grandes, F. R. (2017). Almidones usados como agentes gelificantes en reemplazo de Phytigel® en medios de cultivo para tejidos vegetales (Doctoral dissertation, Zamorano, Escuela Agrícola Panamericano, 2017.).
- Hajji, L., Hlaoua, W., Regaieg, H., & Horrigue-Raouani, N. (2017). Biocontrol potential of *Verticillium leptobactrum* and *Purpureocillium lilacinum* against *Meloidogyne javanica* and *Globodera pallida* on potato (*Solanum tuberosum*). *American journal of potato research*, 94, 178-183.
- Kiriga, A. W., Haukeland, S., Kariuki, G. M., Coyne, D. L., & Beek, N. V. (2018). Effect of *Trichoderma spp.* and *Purpureocillium lilacinum* on *Meloidogyne javanica* in commercial pineapple production in Kenya. *Biological Control*, 119, 27-32.

- Kumar, D. (2024). Evaluation of nematophagous and biocontrol efficacy of *Dactylellina phymatopaga* against *Meloidogyne graminicola* on rice (*Oryza sativa* L.). *Biological Control*, 188, 105425.
- Marraschi, R., Ferreira, A., da Silva Bueno, RN, Leite, J., Lucon, C., Harakava, R., et al. (2019). Protocolo para la selección de especies de *Trichoderma* para proteger las heridas de poda de la vid contra *Lasiodiplodia theobromae*. *Braz. J. Microbiol.* 50, 213–221. doi: 10.1007/s42770-018-0029-y
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2024). Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). Disponible en: <https://sipa.agricultura.gob.ec/>
- Peiris, P. U. S., Li, Y., Brown, P., & Xu, C. (2020). Fungal biocontrol against *Meloidogyne* spp. in agricultural crops: A systematic review and meta-analysis. *Biological Control*, 144, 104235.
- Perry, R. Moens, M. & Jones J. (2018) Cyst nematodes. CAB INTERNATIONAL
- Poinar, G. O. (2019). Diseases Of Nematodes: Volume II. CRC Press.
- Riera, W. I., Revelo, J., Rivadeneira Ruales, J. E., & Tafur, V. (2010). Evaluación de la resistencia y/o tolerancia de variedades de papas nativas al parasitismo del nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) en invernadero.
- Sasanelli, N., Toderas, I., Veronico, P., Iurcu-Straistaru, E., Rusu, S., Melillo, M. T., & Caboni, P. (2019). Abamectin efficacy on the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Plants*, 9(1), 12.
- Silvestre, R., Dandurand, L. M., Zasada, I. A., Franco, J., & Kuhl, J. C. (2022). RESEARCH/INVESTIGACIÓN AN ASSESSMENT OF POTATO CYST NEMATODE (*GLOBODERA* SPP.) RESEARCH FROM THE ANDEAN REGION OF SOUTH AMERICA. PART 1: OCCURRENCE AND IMPACT.
- Skinner, M., Gouli, S., Frank, C. E., Parker, B. L., & Kim, J. S. (2012). Management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) with granular formulations of entomopathogenic fungi. *Biological Control*, 63(3), 246-252.
- Soria, E., Rojas, F., & Ortuño, N. (2021). Inducción de tolerancia a *Globodera* spp. con microorganismos promotores de crecimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) Publicado por la Asociación Latinoamericana de la Papa bajo los términos de la licencia: Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). <https://doi.org/10.37066/ralap.v25i1.417>

- Timper, P., Strickland, T. C., & Jagdale, G. B. (2021). Biological suppression of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* following winter cover crops in conservation tillage cotton. *Biological Control*, 155, 104525.
- Tobin, J., Haydock, P., Hare, M., Woods, S., & Crump, D. (2008). Effect of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosthiazate on the multiplication rate of potato cyst nematodes (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*) in potato crops grown under UK field conditions. *Biological Control*.
- Van Bezooijen, J. (2006). Methods and techniques for nematology. Wageningen University Wageningen.
- Van Eck, A., Eguiguren, R., Défaz, M., Revelo, J., & Cedeño, G. (1984). Técnicas de laboratorio en nematología.
- Vera-Morales, M., Castañeda-Ruiz, R. F., Sosa, D., Arias-Vega, C., Quevedo, A., & Ratti, M. F. (2024). Compuestos bioactivos de bacterias y hongos en el control de nematodos fitopatógenos: mecanismos de acción, interacciones y aplicaciones. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 143-157.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta agronómica*, 64(2), 194-205.
- Yan, Y., Mao, Q., Wang, Y., Zhao, J., Fu, Y., Yang, Z., ... & Ahammed, G. J. (2021). *Trichoderma harzianum* induces resistance to root-knot nematodes by increasing secondary metabolite synthesis and defense-related enzyme activity in *Solanum lycopersicum* L. *Biological Control*, 158, 104609.
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in microbiology*, 14, 1160551.