



## **Inducción de tolerancia a *Globodera* spp. con microorganismos promotores de crecimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*)**

**Elocia Soria<sup>1</sup>, Fátima Rojas<sup>2</sup>, Noel Ortuño<sup>3</sup>**

### **Resumen**

Se evaluó el efecto de inducción de tolerancia al ataque de *Globodera* spp. a partir de la utilización de tres hongos (*Trichoderma*, *Pochonia* y *Pleurotus*) y una bacteria (*Bacillus*), como microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) en cultivo de papa variedad Desirée bajo condiciones de invernadero. Se extrajeron quistes del suelo infestado, provenientes del Municipio de Pocona, se infestó 25 quistes en cada maceta durante la siembra, a los 30 días se inocularon los microorganismos promotores de crecimiento PGPR, cepas provenientes de FCAyP. La investigación se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorio, con 15 tratamientos y dos testigos (testigo absoluto y testigo con nematodo), con 8 repeticiones. Las evaluaciones se realizaron a los 70 días, considerando las variables fisiológicas: peso fresco del follaje, y peso fresco de la raíz, y a los 90 días a la cosecha se determinó las variables Nematológicas (población final), variables Agronómicas (número de tubérculos y rendimiento) y análisis de mesofauna (población de colémbolos y ácaros). La aplicación de microorganismos promotores de crecimiento PGPR ayudaron a inducir tolerancia al ataque de *Globodera* spp. y también sobre la fisiología de la planta, lo cual se manifestó en el rendimiento del cultivo, siendo dos hongos (*Pochonia* + *Pleurotus*) combinados, actúan sinérgicamente ayudando a que la planta tolere el ataque del nematodo, aumentado el 20 % de rendimiento, aún siendo atacado por la plaga.

**Palabras Claves adicionales:** Microorganismos, PGPR, Tolerancia, *Globodera* spp, Hongos, Bacterias.

---

Autor de contacto: [n.ortuno@umss.edu.bo](mailto:n.ortuno@umss.edu.bo)

<sup>1</sup> Elocia Soria.  Consultora independiente. Cochabamba, Bolivia. E-mail: [elocia1995@gmail.com](mailto:elocia1995@gmail.com)

<sup>2</sup> Fátima Rojas.  Consultora independiente. Cochabamba, Bolivia. E-mail: [fatima\\_rojas@hotmail.com](mailto:fatima_rojas@hotmail.com)

<sup>3</sup> Noel Ortuño.  Laboratorio de Microbiología y Bioinsumos. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias- Universidad Mayor de San Simón (FCAyP-UMSS).



Publicado por la Asociación Latinoamericana de la Papa bajo los términos de la licencia: [Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

## Summary

### **Induction of tolerance to *Globodera* spp. with growth promoting microorganisms in the potato crop (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*)**

The effect of inducing tolerance to the attack of *Globodera* spp. was tested using three fungi (*Trichoderma*, *Pochonia* and *Pleurotus*) and a bacterium (*Bacillus*), as growth-promoting microorganisms (PGPR) in potato variety *Desirée* under greenhouse conditions. Cysts were extracted from the infested soil, from the Municipality of Pocona, 25 cysts were infested in each pot during planting, after 30 days the growth-promoting microorganisms PGPR, strains from FCAyP, were inoculated. The research was carried out under a completely randomized design, with 15 treatments and two controls (absolute control and control with nematode), with 8 repetitions. The evaluations were carried out at 70 days, considering the physiological variables: fresh weight of the foliage, and fresh weight of the root, and at 90 days after harvest, the Nematological variables (final population), Agronomic variables (number of tubers and yield) and analysis of mesofauna (population of collembola and mites). The application of growth promoting microorganisms PGPR helped to induce tolerance to the attack of *Globodera* spp. and also on the physiology of the plant, which was manifested in the crop yield, being two fungi (*Pochonia* + *Pleurotus*) combined, they act synergistically helping the plant to tolerate the attack of the nematode, increased by 20% of yield, still being attacked by the plague.

**Additional Key Words:** Microorganisms, PGPR, Tolerance, *Globodera* spp, Fungi, Bacteria.

## Introducción

La papa (*Solanum tuberosum*), es el cuarto cultivo de importancia mundial después de trigo, arroz y maíz (Pérez 2008). La papa es un alimento primordial en la canasta familiar de los bolivianos, representa una fuente significativa de ingresos económicos para los productores, permite disminuir la vulnerabilidad y la inseguridad alimentaria familiar y es parte del acervo cultural andino de nuestro país. Aproximadamente 200.000 familias de agricultores están involucradas en la producción de la papa, con cerca de 132.000 ha de siembra anual y con un

rendimiento promedio de aproximadamente 6 t/ha (Gandarillas y Ortuño 2009). Se produce en diferentes pisos ecológicos del país, desde 1,600 hasta los 4,500 msnm, comprendiendo siete departamentos de los nueve que tiene el país.

En general, el cultivo de papa es afectado por una cantidad de plagas, enfermedades, virus y nematodos que afectan su rendimiento y producción. El nematodo quiste representa una amenaza para el desarrollo y producción de papa y afecta hasta el 50 % de su rendimiento (Carrión y Rojas 2013).

Entre los problemas fitosanitarios más importantes en estos países andinos están los nematodos fitoparásitos que limitan su producción en la zona andina, entre las que han sido más estudiados, se encuentra el nematodo quiste de la papa (*Globodera rostochiensis* y *G. pallida*). Estos nematodos, desde que la papa se cultivó en la región andina, hace 8000 años AC, han coevolucionado con su hospedante el género *Solanum* sp. En este nematodo las hembras se alimentan de las raíces de la planta y extraen los contenidos celulares, con el fin de enquistar y mantener protegidos los huevos, los cuales pueden perdurar varios años, en el interior de la madre, y la misma cantidad de tiempo en el suelo (Franco et al. 2011).

En los últimos años el control biológico de plagas y enfermedades en la agricultura ha adquirido gran importancia, frente a los problemas fitosanitarios, el uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos en la agricultura ha traído como consecuencia severos problemas de contaminación al medio ambiente y ha generado la resistencia de plagas y enfermedades, así como la presencia de nuevas especies de microorganismos fitopatógenos con un grado de virulencia (Bravo *et al.* 2006).

La mayoría de los microorganismos fitopatógenos tienen antagonistas biológicos que se pueden emplear como estrategia de lucha en un programa de control biológico. En los últimos años el empleo de bacterias y hongos antagonistas de enfermedades agrícolas ha cobrado una singular importancia, debido a que no solo actúan contra un grupo determinado de microorganismos fitopatógenos (como lo hacen los plaguicidas químicos), sino que se están

utilizando para un grupo muy amplio de microorganismos fitopatógenos (Pérez 2004; Mondino y Vero 2006).

Los mecanismos de defensa de los vegetales fueron adquiriendo mayor importancia por la incorporación de nuevos conceptos de manejo de cultivos, en búsqueda de una agricultura más sustentable, tornándose indispensable investigar métodos opcionales de control de fitopatógenos, que sean al mismo tiempo eficientes y menos agresivos a la salud humana y a la agroecología (Gómez y Reis 2011).

Siendo uno de esos nuevos mecanismos la inducción de resistencia sistémica en plantas (Thomas et. al, 2003). Este tipo de resistencia es un estado fisiológico de capacidad de defensa aumentada en la planta, generada por un estímulo ambiental específico, en el cual donde las defensas innatas de la planta son potenciadas contra subsecuentes desafíos bióticos, este estado de resistencia incrementado es efectivo contra un amplio rango de patógenos y parásitos que incluyen hongos, virus, nematodos, plantas parásitas y aún insectos herbívoros (Patiño, 2015). Por lo cual, este es un mecanismo biológico de inducir un mecanismo de defensa innato en la planta que le permite tolerar el ataque de parásitos, concibiéndose el término tolerancia como la capacidad de la planta que aún siendo atacada por la planta esta puede producir. Esto resulta porque se mejora el desarrollo radicular, incrementa la actividad enzimática de la planta o proporciona que otros microorganismos benéficos actúen de mejor manera sobre las plantas (Gonzales y Fuentes 2017).

Las dos formas más claramente definidas de resistencia son la SAR (*Systemic Acquired Resistance*) e ISR (*Induced Systemic Resistance*), las cuales pueden ser diferenciadas con base en la naturaleza del inductor y las vías regulatorias involucradas. La forma clásica de SAR puede ser iniciada exponiendo la planta a microorganismos virulentos, avirulentos o no patogénicos, o en forma artificial con químicos como el ácido salicílico (AS), el ácido 2,6-dicloro isonicotínico (INA) o el ácido benzo (1, 2, 3) tiadiazol-7-carbotiónico. La SAR es efectiva dentro de un amplio espectro de especies de plantas (Patiño 2015).

De otro lado, la ISR se potencia la acción de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal conocidas como PGPR, por su sigla en inglés, de las cuales las mejor caracterizadas son cepas dentro de varias especies de *Pseudomonas* que no causan daño visible al sistema radical de las plantas, mientras que la ISR ha demostrado más especificidad en la habilidad de cepas de PGPR para promover resistencia sobre ciertas especies y genotipos de plantas (Patiño, 2015). Para lo cual se están explorando la diversidad microbiológica nativa en Bolivia, para desarrollar bioplaguicidas y biofertilizantes u otro tipo de bioinsumos. Este tipo de tecnología se podrá usar en la agricultura orgánica o en producción convencional, donde se pueda reducir el uso de agrotóxicos (Ortuño *et al.* 2010). También aprovechar mecanismos en las plantas como la tolerancia en ciertos cultivares de papa, las que puedan continuar produciendo favorablemente a pesar de ser atacados por parásitos, hasta cierto límite.

Por esos antecedentes es necesario buscar una estrategia de manejo a través de la bioinducción de tolerancia al ataque de *Globodera* spp. en el cultivo de papa, utilizando microorganismos que promueven el crecimiento de las plantas.

## Materiales y métodos

Se realizó en caseta de malla con semi sombra, en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón (FCA y P – UMSS), ubicado a 5 km de la ciudad de Cochabamba. Geográficamente está localizado a 17°24" de latitud sur y 66°10" de longitud oeste, y a una altitud de 2560 msnm.

Los microorganismos (hongos y bacterias) utilizados fueron del cepario de la FCAP-UMSS, siendo de los géneros: *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pochonia* spp. y *Pleurotus* spp. todos se aplicaron una sola vez cuando las plantas tenían cinco cm de altura de planta. Estos inoculantes son considerados promotores de crecimiento de plantas con potencial para compensar las pérdidas de rendimiento causadas por el nematodo.

Se utilizó semilla de papa certificada de la variedad Desirée. Los inóculos de *Globodera* spp. fueron aisladas de muestras de suelos naturalmente infestados con el nematodo, proveniente del Municipio de Pocona-Escalante, provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba.

Para la siembra se utilizó macetas 40\*40 cm, de 7 kg de capacidad, con sustrato estéril, donde la población inicial del nematodo fue de 25 quistes de *Globodera* spp. y viabilidad de 96%, por maceta, inmediatamente a la inoculación se sembró la semilla, para que a la emergencia de las raíces y la secreción de

los exudados radiculares estimulen la eclosión de los huevos del nematodo, de esa forma los juveniles salgan de los

quistes hasta los 30 días después de la siembra.

La inoculación de los microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) se depositaron cerca del cuello de la planta, considerando los tratamientos indicados en la **Tabla 1**. Trichoderma se aplicó a la

concentración de  $2 \times 10^9$  ufc, *Bacillus* spp. a  $4 \times 10^7$ , *Pochonia* spp.  $3.2 \times 10^9$  ufc, y *Pleurotus* spp. a 5cc/planta de extracto líquido de medio líquido del hongo.

**Tabla 1.** Disposición y descripción de tratamientos.

Tratamientos	Descripción
T01	Testigo (sin nematodo) suelo estéril
T0	Testigo (con quistes de <i>Globodera</i> spp.)
T1	<i>Trichoderma</i> spp.
T2	<i>Bacillus</i> spp.
T3	<i>Pochonia</i> spp.
T4	<i>Pleurotus</i> spp.
T5	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus</i> spp.
T6	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp.
T7	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T8	<i>Bacillus</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp.
T9	<i>Bacillus</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T10	<i>Pochonia</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T11	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp.
T12	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Bacillus</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T13	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T14	<i>Bacillus</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.
T15	<i>Trichoderma</i> spp. + <i>Pochonia</i> spp. + <i>Bacillus</i> spp. + <i>Pleurotus</i> spp.

Se evaluaron las siguientes variables fisiológicas: (Altura de planta, peso fresco del follaje, longitud de la raíz y peso fresco de la raíz); variables nematológicas (población inicial y final del nematodo), variables agronómicas (número de tubérculos y rendimiento) y análisis de mesofauna (población de colémbolos y ácaros, para esto se utilizó en embudo de Berlesse. Los datos fueron

analizados con un diseño completamente aleatorio, con 15 tratamientos más 2 testigos y 8 repeticiones. Se realizaron comparaciones de medias de rango múltiple de Tukey ( $p=0,05$ ), utilizando el sistema SAS 8, para el análisis de datos.

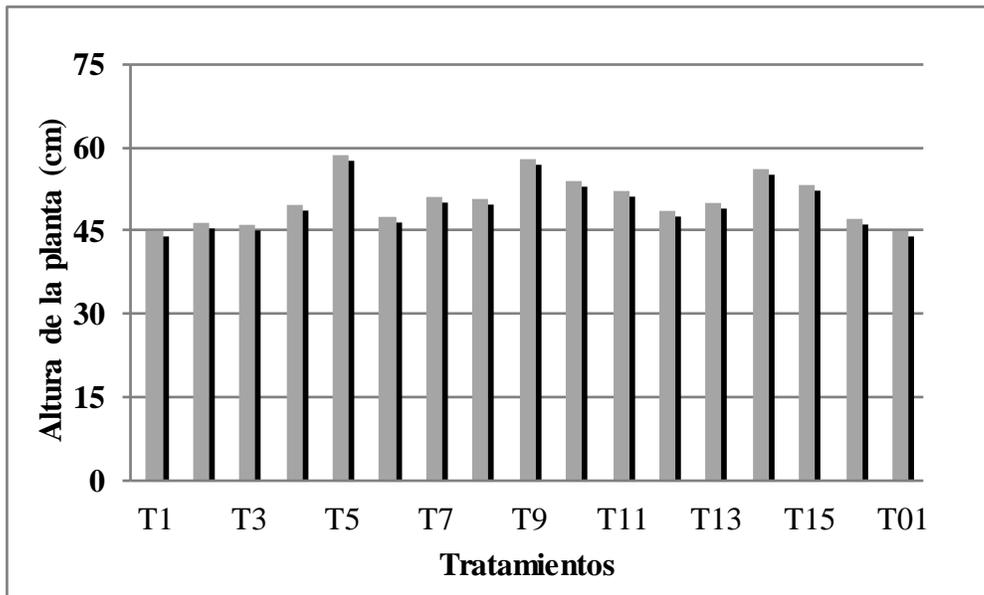
## Resultados y discusión

### Respuesta Fisiológica

#### Altura de planta (AP)

En la altura de las plantas de papa (AP), a los 70 días después de la siembra, se observaron diferencias entre los tratamientos (Figura 1). Los bioinoculantes aplicados, presentaron mayor crecimiento a pesar de ser atacados

por *Globodera* spp., fueron: T5 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus* spp.) con 58.5 cm, seguido T9 (*Bacillus* spp. + *Pleurotus* spp.) con 58 cm, T14 (*Bacillus* spp. + *Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) con 56 cm y el testigo T0 tuvo el menor crecimiento de 47 cm.



T0= Testigo (con nematodo) sin antagonismo

T01= Testigo (sin nematodo) suelo estéril

Figura 1. Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre la altura de la planta de papa variedad Desirée. T0= Testigo (con nematodo) sin antagonismo; T01= Testigo (sin nematodo) suelo estéril.

El estudio reveló que los microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) solos y combinados en la altura de planta (AP) en cultivo de papa, está directamente relacionada con las condiciones nutricionales de las plántulas, condiciones climáticas del invernadero, por lo cual no muestra mucha diferencia entre tratamientos desde inicio del experimento, en comparación al testigo absoluto y testigo con nematodo. Esto difiere con los reportes (Sierra Monroy, 2015) quién solo

después de 90 días de inoculación de nematodo *Radopholus* en plátano, en la variable. altura no encontró diferencias entre tratamientos. Caso similar reportó Niño et al. (2008), quienes no observaron diferencias significativas durante los primeros meses en J2 de *Meloidogyne* sobre uchuva, reportando efectos negativos para la variable altura sólo al final del experimento. En este trabajo la diferencia temprana en la altura, pudo deberse a que la variedad Rutgers utilizada en el

experimento, es altamente susceptible al ataque del nematodo.

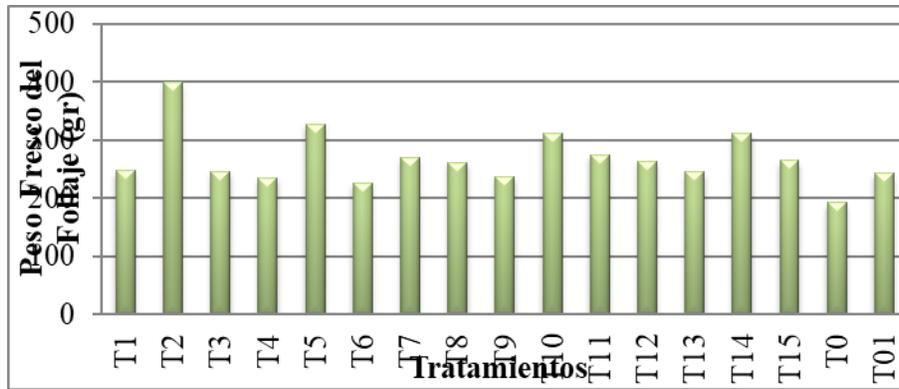
### **Peso fresco del follaje (PFF)**

El efecto de aplicación de los tratamientos sobre peso fresco del follaje de cultivo de papa, tuvo mayor crecimiento y acumulación de biomasa foliar, eso mejoró la capacidad fotosintética de la planta, es decir los microorganismos promotores de crecimiento PGPR inducen, el crecimiento de la planta de papa aún estado atacada por el nematodo quiste de la papa, en comparación con el testigo absoluto y testigo con nematodo. Los mejores tratamientos fueron T2 (*Bacillus* spp.), T5 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus* spp.), T10 (*Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) y, T14 (*Bacillus* spp. + *Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) a comparación del T0 (con nematodo). El T0 al invadir las raíces ocasionan daños en los tejidos, alterando la actividad meristemática en los puntos de crecimiento en comparación al testigo absoluto (T01 sin nematodo ni bioinoculantes). Donde el T01 es superior en la mayor acumulación de peso foliar, respecto al T0 (Testigo con quistes de *Globodera* spp.), lo cual muestra que le nematodo afecta con su parasitismo a la biomasa foliar de las plantas de papa (Figura 2). Debido a que estos microorganismos promotores de crecimiento PGPR también estimulan el desarrollo de la planta (Farfán, 2011),

Hernández *et al.* (2011), comentan que estos favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo, contribuyendo así a un mayor peso de tallos y raíces. Además, según lo reportado por Fernández *et al.* (2016), los PGPR poseen la habilidad de colonizar células epidérmicas y la corteza de raíces, y de esta forma protegen a la planta del ataque de parásitos, permitiendo así que la planta desarrolle normalmente por la fuente de nutrientes que se le proporcionaba en el riego.

### **Longitud de la raíz (LR)**

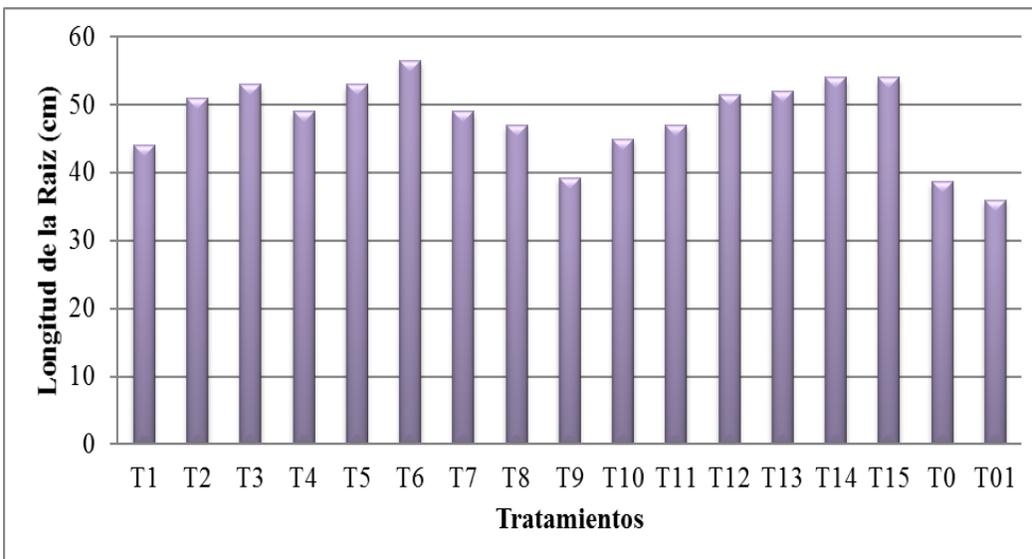
En la longitud de la raíz (LR), se observó el efecto de los PGPR en las plantas de papa, habiéndose observado el incremento mayor en diferentes tratamientos a pesar de estar atacados con *Globodera* spp., respecto al testigo (Figura 3). Observándose con mayor crecimiento de raíces a los tratamientos al T6 (*Trichoderma* spp. + *Pochonia* spp.), T14 (*Bacillus* spp. + *Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.), T15 (*Trichoderma* spp. + *Pochonia* spp. + *Bacillus* spp.+ *Pleurotus* spp.), respecto al testigo con nematodo (T0). Esta disminución de LR se debe al daño ocasionado por la invasión y alimentación del nematodo que obstruye el sistema vascular en la raíz, ocasionando su acortamiento y la pérdida de raicillas en la porción terminal.



T0= Testigo (con nematodo) sin antagonismo

T01= Testigo (sin nematodo) suelo estéril

Figura 2. Efecto de microorganismo PGPR sobre el peso fresco del follaje (PFF) de papa variedad Desirée. **T0**= Testigo (con nematodo) sin antagonismo; **T01**= Testigo (sin nematodo) suelo estéril.



**Figura 3.** Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre la Longitud de la raíz de papa variedad Desirée. **T0**= Testigo (con nematodo) sin antagonismo; **T01**= Testigo (sin nematodo) suelo estéril

El desarrollo de las raíces, es favorecida por efecto de la inoculación de los microorganismos PGPR, lo cual se manifiesta directamente con mayor crecimiento de las raíces del cultivo; estos resultados concuerdan con los reportes de Hernández y Escalona (2003), quienes mencionan la promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias

ocurre por varios factores; uno de ellos es por la síntesis de ciertas sustancias reguladoras de crecimiento, como giberelinas, citocininas y auxinas, las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radicales, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrientes, y permite

que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las heladas o las sequías.

También Antoun y Prévost (2005), reportan que los PGPR pueden inducir a la promoción del crecimiento de la planta por mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos, donde las bacterias le proporcionan a la planta metabolitos sintetizados por ella misma, estimulan el crecimiento vegetal incluyendo la producción de fitohormonas como las auxinas y reduciendo el nivel de etileno, mejorando la concentración de nutrientes, hierro o fósforo, así como la estimulación de mecanismos de resistencia a enfermedades de la planta.

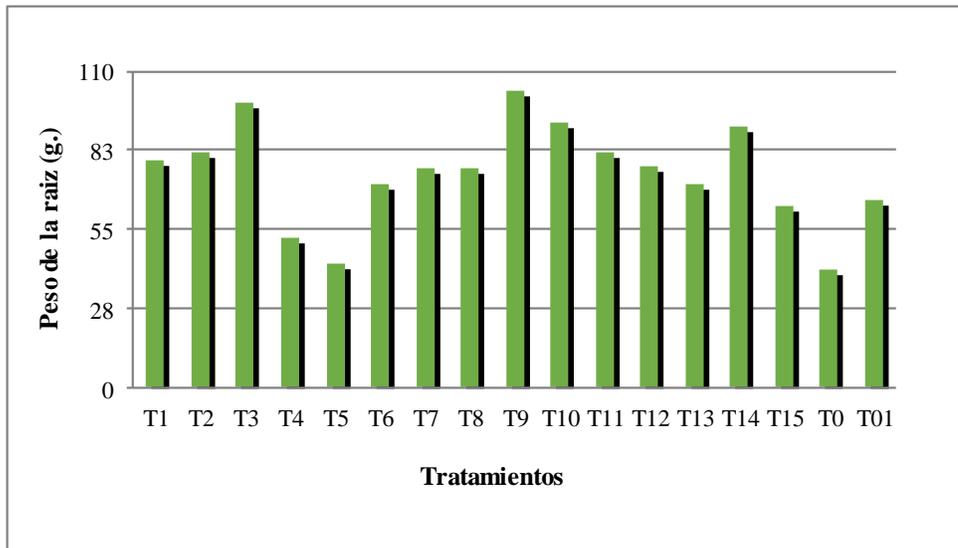
#### **Peso fresco de la raíz (PFR)**

El efecto sobre peso fresco de la raíz se observó que hay mayor desarrollo de volumen radicular, con la aplicación de PGPR, que inducen la tolerancia para mejorar la absorción de nutrientes y agua del suelo, a pesar de ser atacados por *Globodera* spp. respecto al testigo absoluto y testigo con nematodo (Figura 4).

Los mejores tratamientos que mostraron mayor peso de volumen radicular: T9 (*Bacillus* spp. + *Pleurotus* spp.), T3 (*ochonia* spp.), y T10 (*Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.), respecto al T0 con

nematodo (Testigo con quistes de *Globodera* spp.) en comparación al testigo absoluto T01 (Testigo sin nematodo, suelo estéril), a pesar de no estar afectado por nematodo igual tiene mayor desarrollo de volumen radicular. Por tanto, en la planta afectada por el nematodo (T0), el peso fresco alcanzado se debe a que la plaga al invadir a las raíces de la planta causa daño a las raíces funcionales y así la planta no puede absorber suficientemente sus requerimientos nutricionales del suelo.

El desarrollo de las raíces, es favorecido por efecto de la inoculación de los microorganismos, lo cual se manifiesta directamente con un mayor crecimiento de las raíces del cultivo; estos resultados concuerdan con los reportes de Hernández y Escalona (2003), quienes mencionan la promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias que ocurre por varios factores; uno de ellos es por la síntesis de ciertas sustancias reguladoras de crecimiento, como giberelinas, citocininas y auxinas, las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radicales, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrimentos, y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las heladas o las sequías.



T0 = Testigo (con nematodo) sin antagonismo

T01 = Testigo (sin nematodo) suelo estéril

**Figura 4.** Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre la Longitud de la raíz de papa variedad Désirée.

#### **Variables nematológicas**

Entre tratamientos no hubo diferencias significativas, como se observa en la Figura 5, respecto al testigo absoluto T01 (sin nematodo en suelo estéril), el cual no presentó ningún quiste. Por otro lado, el testigo con el nematodo T0 (con quistes de *Globodera* spp.) hubo la mayor reproducción del nematodo, al igual que otros tratamientos (Figura 5). Esto demuestra que el parasito no fue restringido significativamente en su reproducción con ningún tratamiento

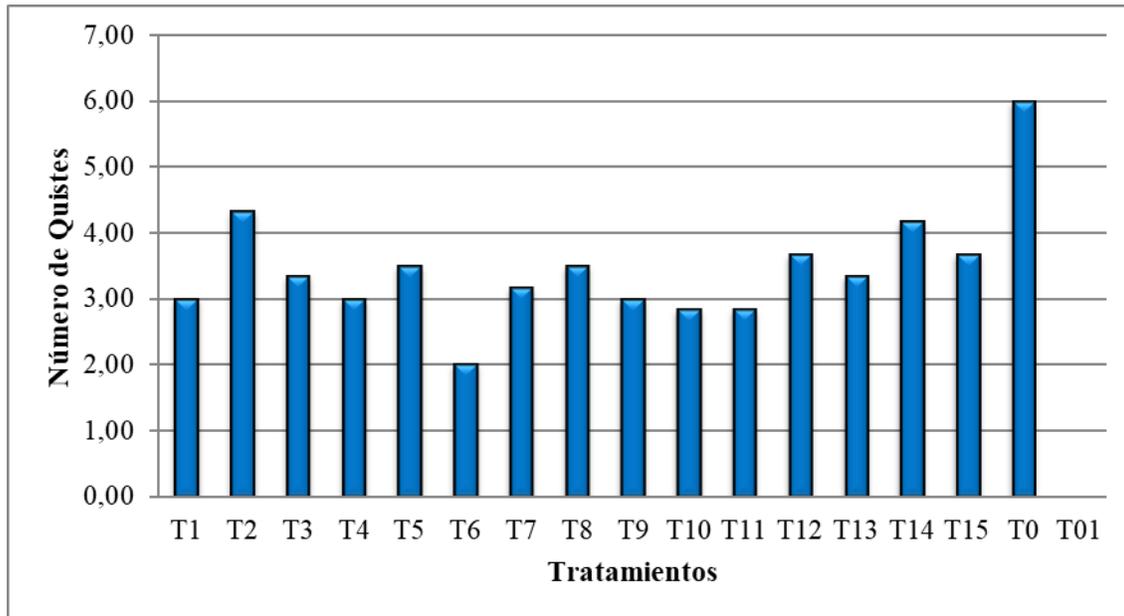
#### **Población final**

aplicado al suelo. Cuando se hizo el análisis porcentual de la reducción de población final del Nematodo quistes de la papa (NQP), en relación al testigo con nematodo, se observó que con la aplicación del tratamiento T6 (*Trichoderma* spp. + *Pochonia* spp.) se redujo la población del nematodo en 67 %, respecto al testigo T0 (con quistes de *Globodera* spp.), seguido del T10 (*Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) y T11 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus* spp. + *Pochonia* spp.), llegando a reducir en 53 %.

### Peso fresco de la raíz (PFR)

El efecto sobre peso fresco de la raíz se observó que hay mayor desarrollo de volumen radicular, con la aplicación de PGPR, que inducen la tolerancia para

mejor la absorción de nutrientes y agua del suelo, a pesar de ser atacados por *Globodera* spp. respecto al testigo absoluto y testigo con nematodo (Figura 4).



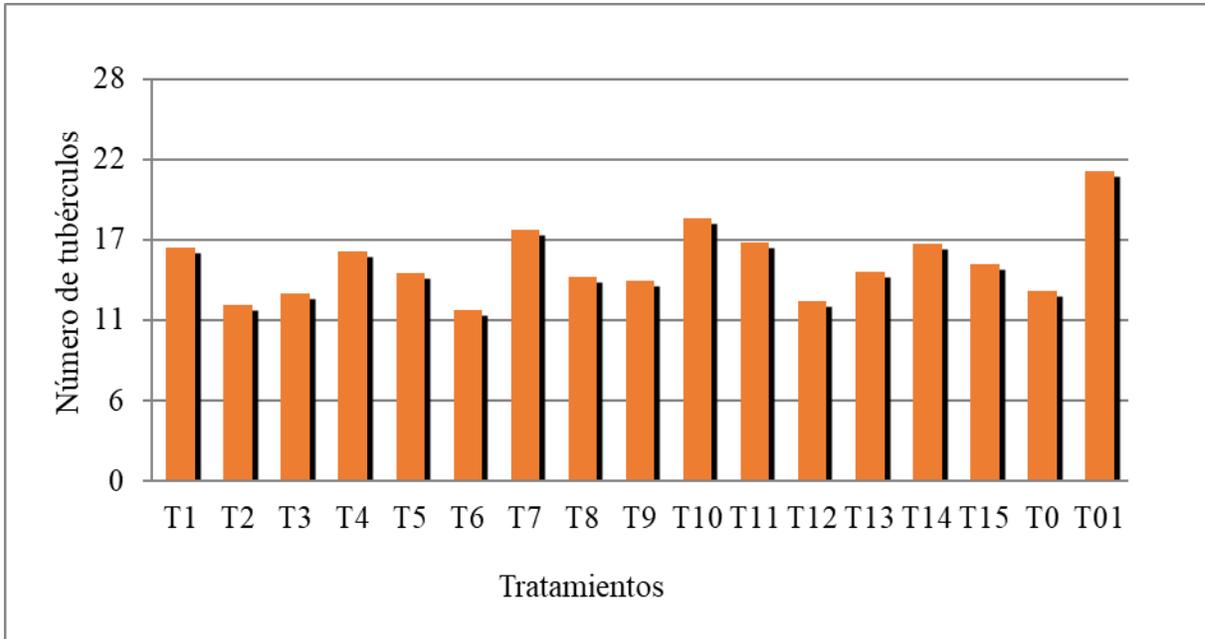
**Figura 5. Población final del nematodo.**

El tratamiento que presentó menor porcentaje de reducción de la población final fue T2 (*Bacillus* spp.) con 34 %, lo que demuestra que este último bioinoculante no tiene efecto sobre la población del nematodo *Globodera* spp. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Cañón y Sanabria (2017), quienes indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre bioinoculantes aplicados para el control de nematodos, por lo que es válido afirmar que en todos hubo un manejo mínimo de solo 45 %. El uso combinado de diferentes agentes biológicos para combatir múltiples problemas patogénicos, dentro de un mismo cultivo, es una práctica muy utilizada en la actualidad debido que al aplicarse de manera individual pueden

no ser lo suficientemente efectivos causando un mínimo impacto a la hora de controlar parásitos. Hongos como *Paecilomyces* sp. *Trichoderma* sp. *Lecanicillium* sp. entre otros hongos, son aplicados tradicionalmente en combinación, ya que se pueden desarrollar distintos mecanismos de acción. Avalos y Kugg (2015), reportan casos similares, donde al hongo *L. lecanii* se le atribuye la capacidad de producir enzimas tales como lipasas, proteasas, quitinasas, entre otra serie de micotoxinas denominadas metabolitos fúngicos secundarios, los cuales hacen parte de los componentes de infección, y a su vez permiten evadir los mecanismos de defensa de la plaga. La hembra de *G. pallida* contiene quitina en la cutícula de su cuerpo, lo que la hace

vulnerable a la acción de uno de los metabolitos producidos por el hongo, como la quitinasa. Por otro lado, Carrión y Rojas

(2013), mencionan la inoculación inicial de 25 quistes por maceta en condiciones de invernadero.



**Figura 6.** Efecto de inoculación de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) en el número de tubérculos por planta de papa. Letras iguales son estadísticamente similares al 95% de probabilidad.

### Rendimiento (t/ha)

Para la variable peso de tubérculo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P_r = 0,0248$ ), lo cual indica que el rendimiento de tubérculo fue diferente con la inoculación de los distintos microorganismos promotores de crecimiento (PGPR), a pesar de ser atacado por *Globodera* spp. Los pesos totales de tubérculos obtenidos en la cosecha, para los diferentes tratamientos, mostraron un incremento positivo respecto al testigo absoluto y testigo con nematodo, es decir, las plantas a pesar de ser atacadas con *Globodera* spp., y tratadas con microorganismo promotores de crecimiento (PGPR) rindieron mejor que el testigo absoluto (T01) y testigo con nematodo (T0) (**Figura 7**), se observa los pesos totales de tubérculos obtenidos en la cosecha de las plantas de papa, para los diferentes tratamientos, mostraron un incremento positivo respecto al testigo absoluto y testigo con nematodo, es decir, las plantas a pesar de ser atacadas con *Globodera* spp. y tratadas con microorganismo promotores de crecimiento (PGPR) rindieron mejor que el testigo absoluto (T01) y testigo con nematodo (T0). Donde los mejores tratamientos fueron el T10 (*Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) con 28.3 t/ha, seguido del T13 (*Trichoderma* spp. + *Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.) con 27.8 t/ha, T5 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus* spp.), T11 (*Trichoderma* spp. + *Bacillus* spp. + *Pochonia* spp.) y T7 (*Trichoderma* spp. + *Pleurotus* spp.) con rendimientos de 27.7, 27.6, y 26.6 t/ha, respectivamente, en comparación al testigo absoluto (T01) el que produjo 24.5 t/ha y el testigo con nematodo (T0) produjo 23.6 t/ha.

En la figura 7 se muestra una línea que marca el tratamiento (T0), el que fue atacado por el nematodo y tuvo el menor rendimiento, al mismo tiempo, existen tratamientos con microorganismos superiores estadísticamente, los cuales demuestran que la planta de papa a pesar de ser atacada, puede rendir mejor con la inoculación de estos microorganismos promotores de crecimiento. Ese hecho demuestra que estos tratamientos indujeron a la planta de papa a tolerar el ataque del nematodo *Globodera* spp.

Ese efecto de tolerancia se explica con el mecanismo de la Resistencia Sistémica Inducida (RSI), lo cual está evidenciado por diversos estudios, los que demostraron que esta resistencia funciona como reflejo de la señalización de ácido jasmónico (AJ) y etileno (ET). Estos dos ácidos traducen los estímulos extracelulares reconocidos por receptores de la célula a un gran número de moléculas blanco que, en completa coordinación, integran respuestas intracelulares altamente específicas al estímulo externo de microorganismos. Este mecanismo, dentro de la planta, puede ser inducido a través de elicitores como *Bacillus* spp. Existiendo evidencias de la inducción de mecanismos de resistencia a través de esta bacteria, contra hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos (Gururani *et al.* 2012).

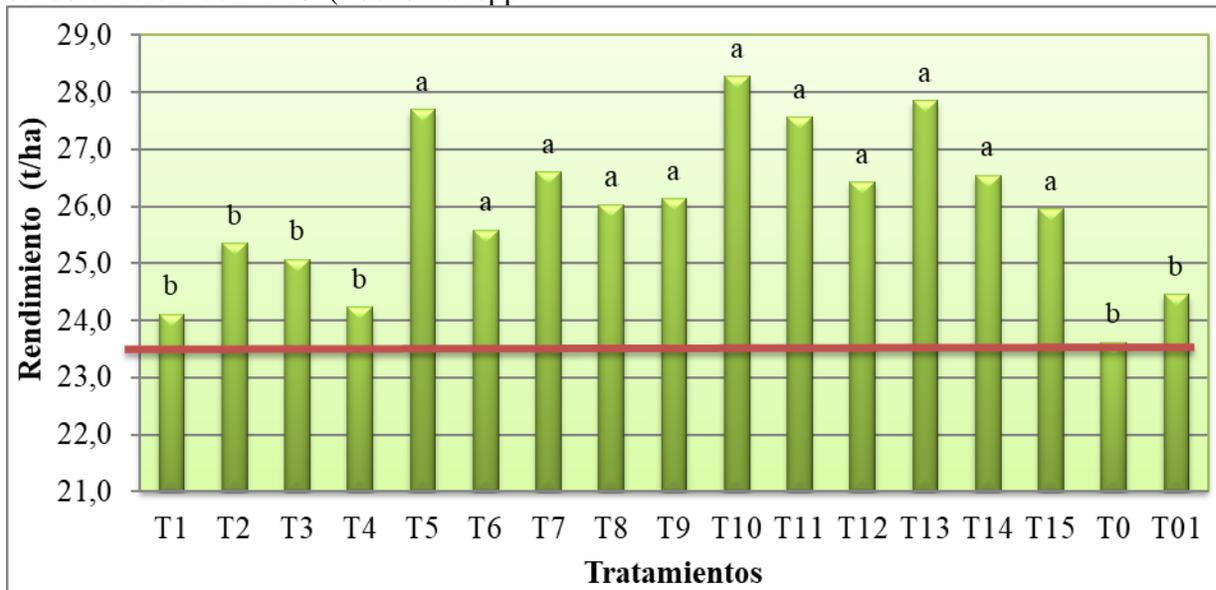
La RSI es potenciada por microorganismos, como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), en la interacción planta-microorganismo. Las rizobacterias como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, son utilizadas para estimular los mecanismos de RSI. Algunos estudios demostraron que las PGPR pertenecientes al género *Bacillus* pueden inducir mecanismos de defensa contra enfermedades producidas por parásitos en cultivos hortícolas (Samaniego-Gómez *et al.* 2017).

### Respuesta agronómica

#### Número de tubérculos

El mayor número de tubérculos se observó en el testigo absoluto T01 (sin nematodo en suelo estéril) con 21 tubérculos/planta, respecto al testigo con nematodo. Con la aplicación de microorganismos, los mejores tratamientos fueron el T10 (Pochonia + Pleurotus) con un promedio de 18 tubérculos /plt, y luego estuvieron el T7 (Trichoderma spp. + Pleurotus spp.), T11 (Trichoderma spp. + Bacillus spp. + Pochonia spp.), T14 (Bacillus spp. + Pochonia spp. + Pleurotus spp.), T1 (Trichoderma spp.) y T4 (Pleurotus spp.) (Figura 6), en comparación al resto de los tratamientos incluyendo el testigo (T0), el que desarrolló menor número de tubérculos. El mayor número de tubérculos se obtuvieron con T10 (Pochonia spp. +

*Pleurotus* spp.) y T7(Trichoderma spp. + *Pleurotus* spp.) y también el testigo absoluto (sin nematodo, suelo estéril). Estos resultados coinciden con Cubillos-Hinojosa et al. (2009), quienes mencionan el efecto favorable de *T. harzianum*, *B. subtilis* y *P. fluorescens* en el número de tubérculos. Este efecto se debe a que los microorganismos producen hormonas de crecimiento, que favorecen el desarrollo del sistema radicular y mejoran la nutrición. También señalan que la presencia de hormonas de crecimiento incrementa la tuberización.



**Figura 7.** Efecto de tratamientos sobre el rendimiento de cultivo de papa atacadas con *Globodera* spp. Letras iguales son estadísticamente similares al 95% de probabilidad.

Además de promover el crecimiento, *B. subtilis*, también induce resistencia sistémica en las plantas hospedantes a través de la liberación de compuestos volátiles como acetoina y 2,3-butanodiol (Kobayashi et al. 2014). Tras la activación

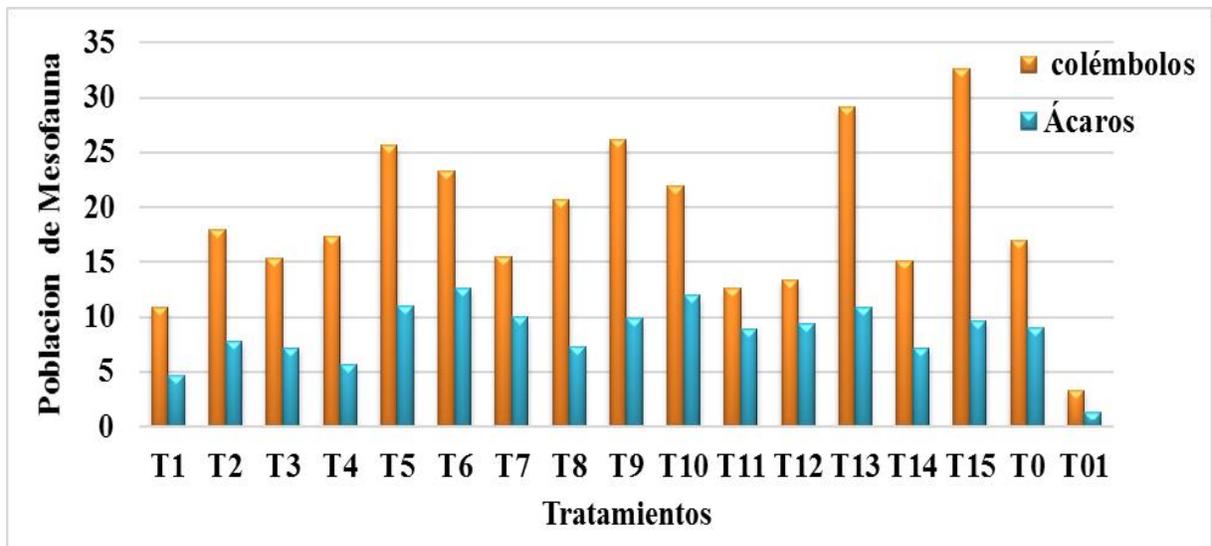
de RSI, se ha observado un aumento en la producción de peroxidasa, una enzima antioxidante presente en las plantas, así como la activación de ciertos genes de defensa de plantas que codifican para las proteínas fenilalanina amonio liasa (PAL)

y PR, y quitinasa,  $\beta$ -1, 3 glucanasa (Mishra et al. 2014). El uso de estas rizobacterias, como alternativa biológica para el control de nematodos en plantas, puede contribuir, en gran medida, al desarrollo de una agricultura sostenible.

### Análisis de Meso fauna

En la **Figura 8**, se observa la abundancia de la población de colémbolos y ácaros en el suelo en diferentes tratamientos respecto al testigo, con la aplicación de microorganismos, aumentando el crecimiento poblacional lo cual influye en mayor descomposición de la materia orgánica, que permite a la planta una mejor absorción de los nutrientes que se traduce en el incremento del desarrollo y crecimiento de la planta, y a la vez que mejora la salud del

suelo. Por tanto, los mejores tratamientos fueron el T15 que es la combinación entre todos los microorganismos promotores de crecimiento, seguido por T13, T9, T5, respecto al testigo con nematodo y testigo absoluto. Respecto a los ácaros los mejores tratamientos fueron: T6 que es la combinación de dos hongos, los que actuaron sinérgicamente, seguido por T10, T5, T13, T7, T9, T15, respecto al testigo con nematodo (T0) y testigo absoluto (T01). La población de colémbolos y ácaros del suelo en especial colémbolos, pueden participar directamente en la formación de sustancias húmicas, que favorecen la formación de agregados complejos, en los que se encuentra íntimamente asociados la materia orgánica



**Figura 8.** Efecto de tratamientos sobre la población de colembolos.

y la fracción arcillosa del suelo. También, Guillen et al. (2006), señalan que las poblaciones de colémbolos se distribuyen verticalmente en el perfil del suelo como respuesta a un patrón de humedad, y lo atribuyen a una relación estrecha con el establecimiento de hongos y bacterias, que son fuente de alimento para muchos de ellos.

### Conclusiones

En general, bajo las condiciones del estudio, en el cultivo de papa variedad Desirée, atacadas por *Globodera* spp. es más notorio el efecto del parasitismo del nematodo a los 70 días después de la siembra. Sin embargo, en el desarrollo crecimiento de las plantas, el mejor

tratamiento fue la combinación de un hongo filamentoso y una de las bacterias T5 (*Trichoderma* + *Bacillus*) las que han inducido a un mayor crecimiento de la altura de la planta y biomasa foliar, a pesar de ser atacada por el nematodo, respecto al testigo.

Por otro lado, en el desarrollo y crecimiento radicular, el T6 (*Trichoderma* spp. + *Pochonia* spp.) y T14 (*Bacillus* spp. + *Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.), fueron los que estimularon mayor desarrollo de raíces, a pesar de ser atacadas por *Globodera* spp. En cambio, en el rendimiento de las plantas de papa el mejor tratamiento fue el T10 (*Pochonia* spp. + *Pleurotus* spp.). Los efectos en el follaje, raíces y rendimiento en plantas de papa variedad Desirée (T10) atacadas por el nematodo demuestran que las interacciones

### Agradecimientos

Nuestros agradecimientos a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón, por la confianza brindada, y en particular al Laboratorio de Microbiología y Bioinsumos por las facilidades brindadas en laboratorio e invernadero.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses

### Referencias citadas

Antoun, H. y Prévost, D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In: Siddiqui Z.A. (eds) PGPR: Biocontrol and Biofertilization. 1-38 p. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7\\_1](https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_1)

Avalos, K. y Kugg, J. (2015). Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre *Planococcus citri* en condiciones de laboratorio. Revista REBIOLEST. 3(1), 63:70.

de los microorganismos evaluados generan bioinducción de tolerancia a *Globodera* spp.

Adicionalmente, los tratamientos T6 y T15 mostraron mayor abundancia de ácaros y colémbolos, respectivamente. Esto está relacionado en la mayor descomposición de la materia orgánica e inversamente proporcional a la población de *Globodera* spp. en comparación al testigo con nematodo y al testigo absoluto, y también estos microorganismos, de manera individual y combinados, presenta mayor efecto sobre crecimiento de población de la mesofauna, lo cual muestra que estos bioestimulantes no alteraron la biología del suelo analizado, bajo las condiciones de estudio.

Bravo, A., Ibarra, J., Castro, M., Galindo, E., Patiño, M., Serrano, L., García, R., Pereyra, A., Alcázar, A., Olvera, L., Wong, G., Pardo, L., Muñoz, C., Gómez, I., y Soberón, M. (2006). Los microorganismos en el control de insectos y patógenos. Revista Latinoamericana de Microbiología. 48(2), 113 -120.

Carrión, Y. y Rojas, D. (2013). Distribución poblacional del nematodo de quiste de la papa (*Globodera* spp.) en dos zonas productoras de los municipios de Tausa (Cundinamarca) y Ventaquemada (Boyacá). Tesis para optar al título de Ingeniero en Agroecología. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Bogotá, Colombia.

Cubillos, J., Mejía, L. y Valero, N. (2009). *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). Agronomía Colombiana. 27(1), 81-86.

Farfán, M. (2011). Comportamiento del nemátodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, con 12 productos

- químicos. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Fitopatología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Fernandez, G., Cerna, L. y Chico, J. (2016). Eficacia de *Paecilomyces lilacinus* en el control de *Meloidogyne incognita* que ataca al cultivo de *Capsicum annuum*, “pimiento piquillo”. *Fitosanidad*, 20(3), 109-119. (En Línea). Consultado 13 mayo 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209155121001>
- Franco, J., y A. González. (2011). Pérdidas causadas por el nematodo Quiste de la papa (*Globodera* spp.) en Bolivia y Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 16(2), 233-249.
- Gandarillas, A. y Ortuño, N. (2009). Compendio de enfermedades insectos, nematodos, factores abióticos que afectan el cultivo de papa en Bolivia. Cochabamba, Bolivia: Fundación PROINPA.
- Gómez, D. y Reis, E. (2011). Inductores abióticos de resistencia contra Fitopatógenos. *Química Viva*. 10(1), 6-17. Consultado 05 Junio 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86317320003>.
- González, H. y Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(1),17-31. Consultado 15 Marzo 2018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173401.60>.
- Guillen, C., Soto-Adames, F. y Springer, M. (2006). Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30(2), 19-29. Consultado 26 Mayo 2019. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/12598/2/7010003.2013.pdf>
- Gururani, M.A., Venkatesh, J., Upadhyaya, C.P., Nookaraju, A., Pandey, S.K. y Park, S.W. (2012). Plant disease resistance genes: Current status and future directions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 78,51-65.
- Hernández, L. y Escalona, M. (2003). Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. *Revista de divulgación y tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 15(1). Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/articulos/microorganismos/micro.htm>
- Hernández, T., Carrión, G. y Heredia, G. (2011). Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson. *Agrociencia México*. 45, 881-892.
- Kobayashi, K.K., Sekine, K.T. y Nishiguchi, M. (2014). Breakdown of plant virus resistance: can we predict and extend the durability of virus resistance?. *Journal of General Plant Pathology*. 80(4), 327-336.
- Mishra, S., Jagadeesh, K.S., Krishnaraj, P.U. y Prem, S. (2014). Biocontrol of tomato leaf curl virus (ToLCV) in tomato with chitosan supplemented formulations of *Pseudomonas* sp. under field conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 8(3), 347-355.
- Mondino, P. y Vero, S. (2006). Control biológico de patógenos en plantas. Montevideo, Uruguay: Comisión Sectorial de Educación Permanente y Universidad de la República.
- Niño, N., Arbeláez, G. y Navarro, R. (2008). Efecto de diferentes densidades poblacionales de *Meloidogyne hapla* sobre uchuva (*Physalis peruviana* L.) en

invernadero. *Agronomía Colombiana*. 26, 58-67.

Ortuño, N., Claros, M., Angulo, V., Navia, O., Memeces, E. y Castillo, J.A. (Marzo 16-19, 2010). Biofertilizantes artesanales con microorganismos rizosfericos nativos para una producción orgánica de quinua en Bolivia. *Producción Orgánica*. III Congreso Mundial de la Quinua. Oruro, Bolivia.

Pérez, G. (2008). Propiedades nutricionales de la papa. Lima, Perú: La GiGi, Sabores y olores de cinco tenedores. Disponible en: <http://gisellacuisine.blogspot.com/2008/02/propiedades-nutricionales-de-la-papa.html>.

Patiño-Hoyos, L.F. (2015). Resistencia inducida mediante sustancias químicas a enfermedades en plantas causadas por hongos. *Revista Politécnica*. 4(7), 103 – 115. Recuperado a partir de <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/116>

Pérez, N. (2004). Manejo Ecológico de Plagas. La Habana, Cuba: Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural.

Samaniego-Gámez, B.Y., Reyes-Ramírez, A., Moreno-Valenzuela, O.A. y Tun-Suárez, J.M. (2017). Resistencia sistémica

inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. *Revista de Protección Vegetal*. 32(1),10-22.

Cañón Rubio, D. y Sanabria Ramos, S.C. (2017). Evaluación de la acción de los hongos *Paecilomyces lilacinus*, *trichoderma harzianum* y *Lecanicillium lecanii* sobre el nematodo *Globodera pallida* Stone (Behrens) en plantas de papa variedad criolla galeras. Tesis para optar al título de Ingeniería Agronómica. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá D.C., Colombia.

Sierra Monroy, J.A. (2015). Evaluación de la acción nematicida in vitro e in vivo de especies de *Pleurotus* spp. sobre los nematodos *Meloidogyne* spp. y *Radopholus* spp. asociados a los cultivos de tomate y plátano. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

Thomas, F.C., Bloemberg, G.V. y Lugtenberg, B.J.J. (2003). Phenazine and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria. *New Phytologist* 157(3), 503-523.