

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
“Dr. MARTÍN CÁRDENAS”



**INDUCCIÓN DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *Globodera* spp. CON
MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN EL
CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum tuberosum*)**

**TESIS DE GRADO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

ELOCIA SORIA CAMACHO

Tutor: Noel Ortuño Castro

COCHABAMBA-BOLIVIA

2019

**INDUCCIÓN DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *Globodera* spp. CON
MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DE PAPA
(*Solanum tuberosum*)**

Elocia Soria¹; Fatima Rojas²; Noel Ortuño¹

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias-Universidad Mayor de San Simón

² Consultora independiente.

Dirección de contacto n.ortuno@umss.edu.bo

RESUMEN

Inducción de tolerancia al ataque de *Globodera* spp. con microorganismos promotores de crecimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum tuberosum*). 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 FCA y P. 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. La evaluación se realizó 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 ayudan a inducir la tolerancia al ataque de *Globodera* spp. y también sobre la fisiología de la planta, en el rendimiento se encontró que dos hongos (*Pochonia* + *Pleurotus*) combinados actúan sinérgicamente ayudando a que la planta tolere el ataque de la plaga, aumentado el 20 % de rendimiento, aún siendo atacado.

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

SUMMARY

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

induction of tolerance to the attack of *Globodera* spp. from the use of three fungi (*Trichoderma*, *Pochonia* and *Pleurotus*) and a bacterium (*Bacillus*), as growth-promoting microorganisms (PGPR) in potato cultivation of the Desirée variety under greenhouse conditions, cysts were extracted from the infested soil from the Municipality of Pocona, 25 cysts were infested in each pot during planting, 30 days later the PGPR growth promoting microorganisms, strains from FCA and P. were inoculated. The investigation was carried out under a completely randomized design with 15 treatments and two witnesses (absolute witness and witness with nematode) with 8 repetitions. The evaluation was carried out at 70 days considering the physiological variables: Fresh foliage weight, and fresh root weight, and at 90 days after harvest the Nematological variables (final population), Agronomic variables (number of tubers and yield were determined) and mesofauna analysis (population of colébolo and Ácaros). The application of PGPR growth promoting microorganisms help to induce tolerance to attack of *Globodera* spp. and also on the physiology of the plant, in the yield it was found that two fungi (*Pochonia* + *Pleurotus*) combined act synergistically helping the plant to tolerate the attack of the pest, increased by 20% yield, still being attacked.

Keywords: 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). Finalmente, otro mecanismo es a través de la inducción de resistencia sistémica en plantas (Thomas 2002).

Ante la necesidad y la demanda por los productores en Bolivia, se ha generado la necesidad de tecnología alternativa a los agroquímicos, para lo cual se está explorando los recursos microbiológicos y otros disponibles en el país, para desarrollar bioplaguicidas y biofertilizantes. Este tipo de tecnología permite ser usado en la agricultura orgánica o en producción convencional, donde se puede reducir el uso de agrotóxicos (Ortuño *et al.* 2010). También aprovechar mecanismos en las plantas como la tolerancia de ciertos cultivares de

papa, las que puedan continuar produciendo favorablemente a pesar de ser atacados, hasta cierto límite. Este mecanismo se puede bioinducir utilizando microorganismos benéficos o del tipo PGPR. 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.

Para eso es importante evaluar el efecto de la bio inducción de tolerancia al ataque de nematodo *Globodera* sp. con microorganismos promotores de crecimiento en cultivo de papa, variedad Desirée, en condiciones de invernadero.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la bio inducción de tolerancia al ataque de nematodo *Globodera* spp. con microorganismos promotores de crecimiento en cultivo de papa, variedad Desirée, en condiciones de invernadero.

Objetivo específico

- Determinar el efecto de *Globodera* spp. en el cultivo de papa.
- Analizar el efecto positivo de hongos y bacterias promotores de crecimiento, en plantas de papa variedad Desirée atacadas por *Globodera* spp.
- Establecer la tolerancia bio inducida por microorganismos promotores de crecimiento al ataque de *Globodera* spp., en el rendimiento del cultivo de papa, bajo condiciones controladas.
- Determinar el efecto de los tratamientos sobre la mesofauna del suelo en presencia de *Globodera* spp.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en los invernaderos, bajo una malla semi sombra, en la 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 del Laboratorio de Microbiología y Bioinsumos de la FCAP-UMSS, siendo de los géneros: *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pochonia* spp. y *Pleurotus* spp. (Figura 1) Se utilizó semilla de papa certificada

de la variedad Desirée. El inóculo del *Globodera* spp. (Figura 2) procedente de muestras de suelos infestados naturalmente con el nematodo, proveniente del Municipio de Pocona-Escalante, provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba.

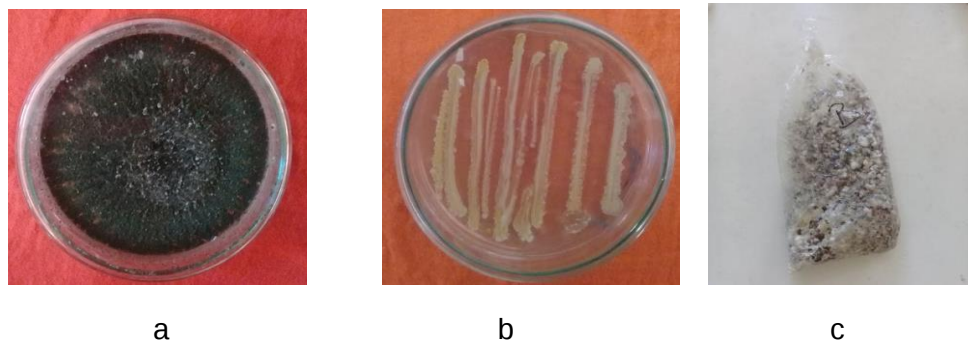


Figura 1. Inóculos de a) *Trichoderma* sp. b) *Bacillus* sp. c) *Pleurotus ostreatus*



Figura 2. Inóculo del nematodo *Globodera* spp. Utilizado en la investigación.

Para la siembra se utilizó macetas 40*40 cm, de 7 kg de capacidad, con sustrato estéril donde la población inicial se infestó a cada maceta 25 quistes de *Globodera* spp. y viabilidad de 96%, e inmediatamente se sembró la semilla, para que a la emergencia de las raíces y la secreción de sus exudados estimulan la eclosión de los huevos del nematodo, para que los juveniles salgan de los quistes a los 30 días después de la siembra (Figura 3).

La inoculación de los microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) se depositó cerca del cuello de la planta, considerando los tratamientos indicados en el cuadro 1.

Cuadro 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.



Figura 3. Ensayo implementado con sus respectivos tratamientos.

Se evaluaron las siguientes Variables Fisiológicas: (Altura de planta (cm), Peso fresco del follaje (gr), longitud de la raíz (cm) y peso fresco de la raíz (gr); variables Nematológicas (población inicial y final del nematodo (quistes/gr de suelo)), variables agronómicas (número de tubérculos (número/planta y Rendimiento (tn/ha)) y Análisis de mesofauna, población de colémbolos y ácaros (individuos/100 gr. de suelo).

Los datos fueron analizados con un diseño completamente aleatorio, la comparación de medias se realizó con Tukey ($p=0,05$) con 15 tratamientos más 2 testigos (absoluto-sin nematodo y otro solo con nematodo) y 8 repeticiones. Se utilizó para el análisis de datos el sistemas SAS 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuestas Fisiológicas

Altura de planta (AP)

El crecimiento de las plantas a los 70 días después de la siembra en Figura 4. Los tratamientos que presentan mayor crecimiento de altura de la planta (AP) a pesar de ser atacados con *Globodera* spp. fueron: T5 con 58.5 cm, seguido T9 con 58 cm, T14 con 56 cm y T10 con 54 cm en comparación que los otros tratamientos T15 con 53,3 cm, T11 con 52 cm, T7, T8 con 51 cm, y T13 con 50 cm, el testigo T0 tiene un crecimiento de 47 cm.

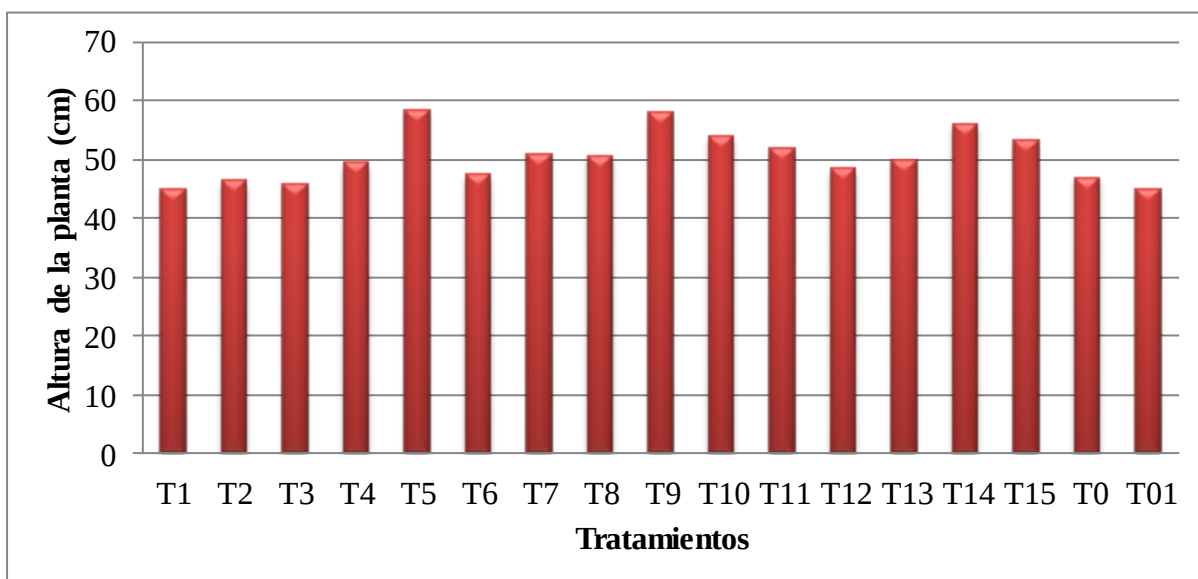


Figura 4. Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre la altura de la planta de papa variedad Desirée.

El estudio reveló que los microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) solos y combinados en la altura de la 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 2014) quien solo después de 90 días de inoculación de nematodo *Radopholus* en plátano, en la variable altura no encontró diferencias entre tratamientos. Caso similar reporta 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 tuvo un 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 a pesar de ser atacado por el nematodo quiste de la papa, a comparación con el testigo absoluto y testigo con nematodo. Los mejores tratamientos tenemos T2 con 399 g T5 con 328 g, T10 y, T14 con 311 g. a comparación que los otros tratamientos respecto al T0 con nematodo con 192 g, esto es debido a que los nematodos al invadir las raíces ocasionan daños en los tejidos, alteran a la actividad meristemática en los puntos de crecimiento a comparación al testigo absoluto (T01) 243 g. Es mayor la acumulación de biomasa foliar, debido a que no es afectado por el nematodo ni tampoco tratado con ningún microorganismo PGPR (Figura 5).

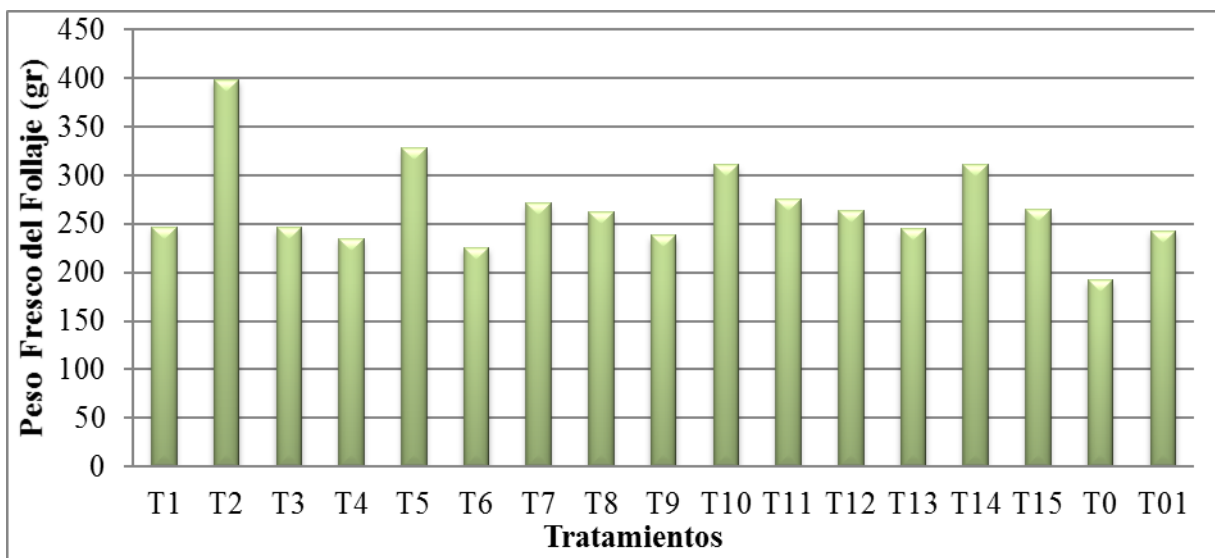


Figura 5. Efecto de microorganismo PGPR sobre el peso fresco del follaje (PFF) de papa variedad Desirée.

Debido a que estos microorganismos promotores de crecimiento PGPR también estimulan el desarrollo de la planta (Farfán 2011), Hernández *et al.* (2011), comentan los hongos que favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo, contribuyendo así a un mayor peso de tallos y raíces. Además, según lo reportado por Fernandez *et al.* (2016), posee la habilidad de colonizar células epidérmicas y la corteza de raíces, y de esta forma protege a la planta del ataque de microorganismos, permitiendo así que la planta desarrolle por la fuente de nutrientes que se le proporcionaba en el riego.

Longitud de la raíz (LR)

Cuando se aplicaron microorganismos promotores de crecimiento PGPR a las plantas de papa sobre la longitud de la raíz (LR) se observó un incremento mayor en el desarrollo de longitud de la raíz, en diferentes tratamientos a pesar de ser atacados con el *Globodera* spp., respecto al testigo (Figura 6). Observándose como mejores tratamientos al T6 con 56,5 cm, T14 y, T15 con 54 cm, T5 y T3 con 53 cm, T13 con 52 cm, T12 con 51,5 cm y T2 con 51 cm en comparación a los otros tratamientos T4, T7, T8, T11, T10, T1, T9, respecto al testigo con nematodo (T0) 38,7 cm. 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.

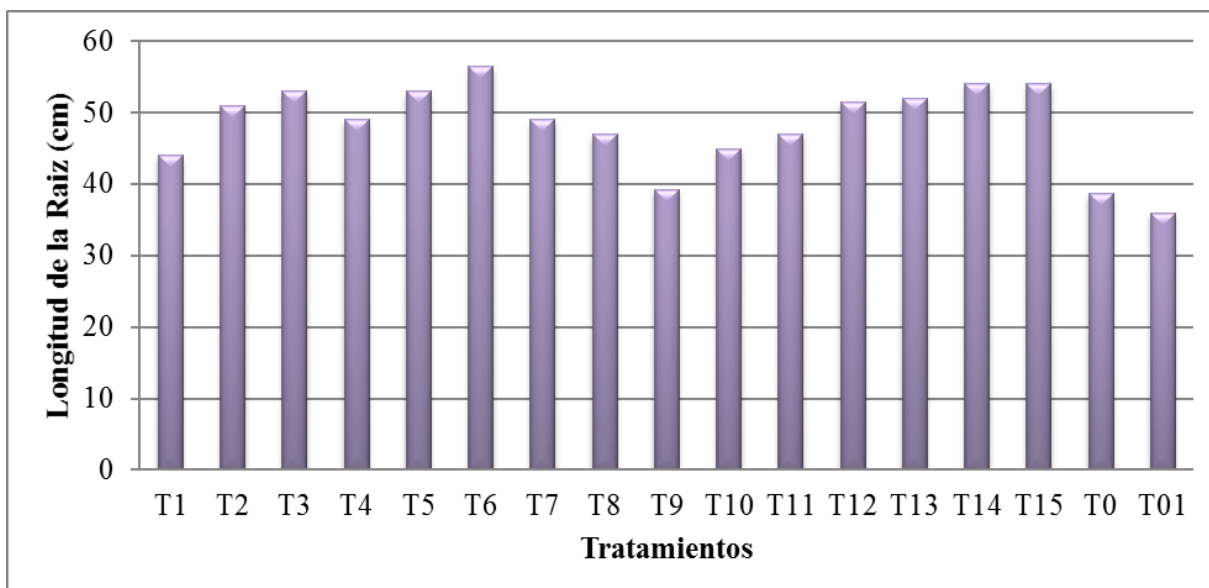


Figura 6. Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre la Longitud de la raíz de papa variedad Desirée.

El desarrollo de las raíces, es favorecido por efecto de la inoculación de los microorganismos, lo cual 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. También Antoun y Prévost (2005), reporta 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 microorganismos promotores de crecimiento PGPR, que

inducen la tolerancia para mejor absorción de nutrientes y agua del suelo, a pesar de ser atacados por *Globodera* spp. respecto al testigo absoluto y testigo con nematodo (Figura 7). Los mejores tratamientos que mostraron mayor peso de volumen radicular: T9 con 103 g, T3 con 99 g, y T10 con 92 g respecto al T0 con nematodo con 41 g. En comparación al testigo absoluto (T01), a pesar de no estar afectado por nematodo igual tiene mayor desarrollo de volumen radicular con 65 g. Por tanto, la planta afectada por el nematodo, el (T0), 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.

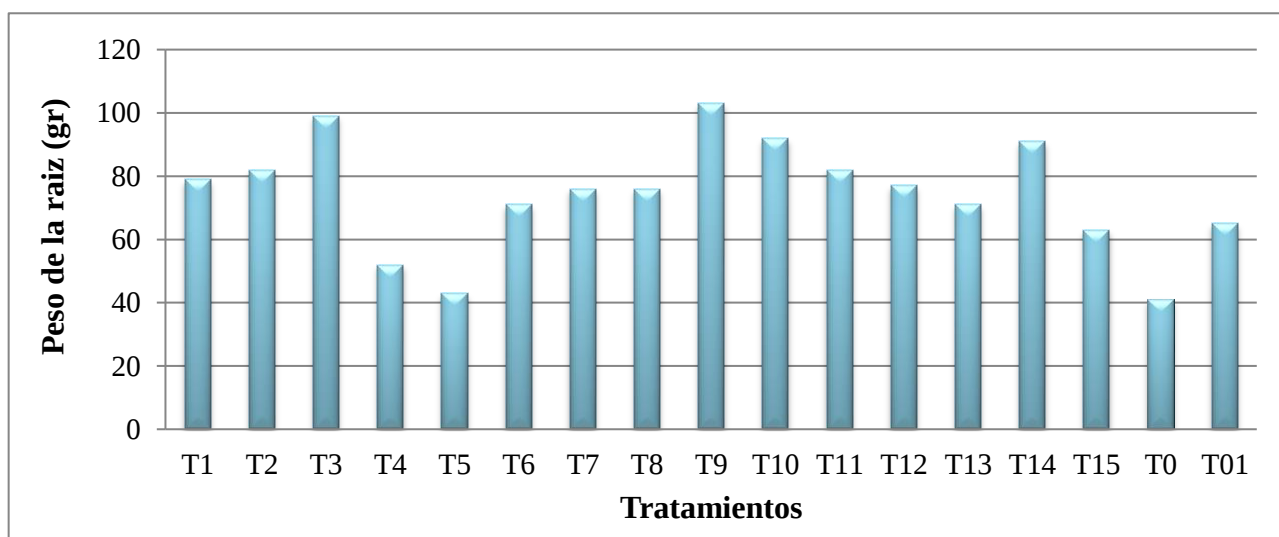


Figura 7. Efecto de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) sobre el peso fresco de la raíz de papa variedad Desirée.

El desarrollo de las raíces, es favorecido por efecto de la inoculación de los microorganismos, lo cual 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.

Respuesta nematológica

Población final

Se observa en la Figura 8, al testigo absoluto (T01) no presenta ningún quiste por otro lado el testigo con el nematodo (T0) se reprodujo irrestrictamente, al igual que los otros tratamientos. Esto demuestra que el parasito no fue restringido por su reproducción por ningún tratamiento aplicado al suelo. El análisis de la reducción porcentual de los Nematodo quistes de la papa (NQP) se realizó tomando como referencia el testigo con nematodo. Este reveló que las aplicaciones de microorganismos promotores de crecimiento PGPR de dos hongos combinados T6 redujeron las poblaciones de nematodos en un 67 %, seguido por T10 y T11) con una reducción de 53 %. El tratamiento que presentó menor porcentaje de reducción fue T2 con un 34 %, lo que demuestra que este producto no tiene mayores efectos sobre la población de nematodos del género *Globodera* spp.

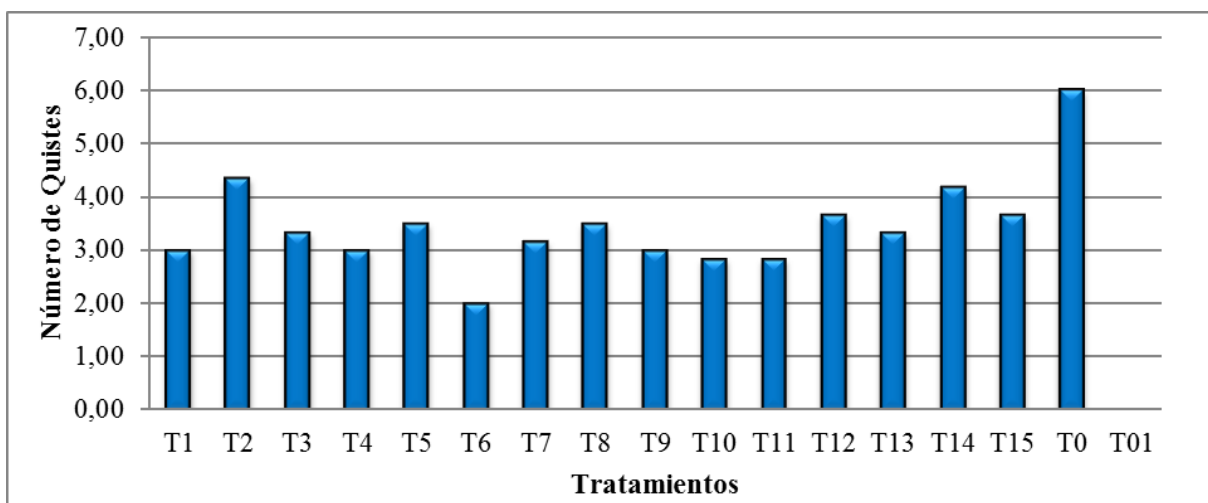


Figura 8. Población final del nematodo.

Coincide con los resultados obtenidos por Sanabria y Cañón (2017), quienes indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos por lo que es válido afirmar que en todos hubo un manejo mínimo del 45 %, teniendo en cuenta que, entre el máximo y mínimo valor de porcentaje de control entre todos los siete tratamientos, hay una diferencia del 26 %. Es preciso mencionar que el tratamiento 6: *Paecilomyces lilacinus* + *Lecanicilium lecanii*, fue el que presentó un valor por encima del 70 %, lo que significa que tuvo una mejor respuesta con respecto a los demás, demuestra que hubo control por parte de los tratamientos. 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 el patógeno. 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 también Avalos y Kugg (2015), reporta caso similar 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 un componente de 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 que la inoculación inicial de 25 quistes por maceta, en condiciones bajo invernadero y siembra en macetas, la multiplicación del nematodo quiste es menor que en campo. En condiciones de campo se han observado índices de multiplicación de hasta 20 veces.

Respuesta agronómica

Número de tubérculos

Donde el mayor número de tubérculos se observó en el testigo absoluto, con 21 tubérculos/plata respecto al testigo con nematodo, y con aplicación de microorganismos los mejores tratamientos están T10 (*Pochonia* + *Pleurotus*) con un promedio de 18 tubérculos /plt, T7, T11, T14 T1 y T4 (Figura 9), en comparación al resto de los tratamientos T15, T13, T5, T8, T9, T3, T12, T2, T6, incluyendo el testigo (T0), que desarrolló menor número de tubérculos. Los rendimientos mayores del número de tubérculos se obtuvieron en T10 y T7 y también el testigo absoluto, superó ligeramente al testigo con nematodo.

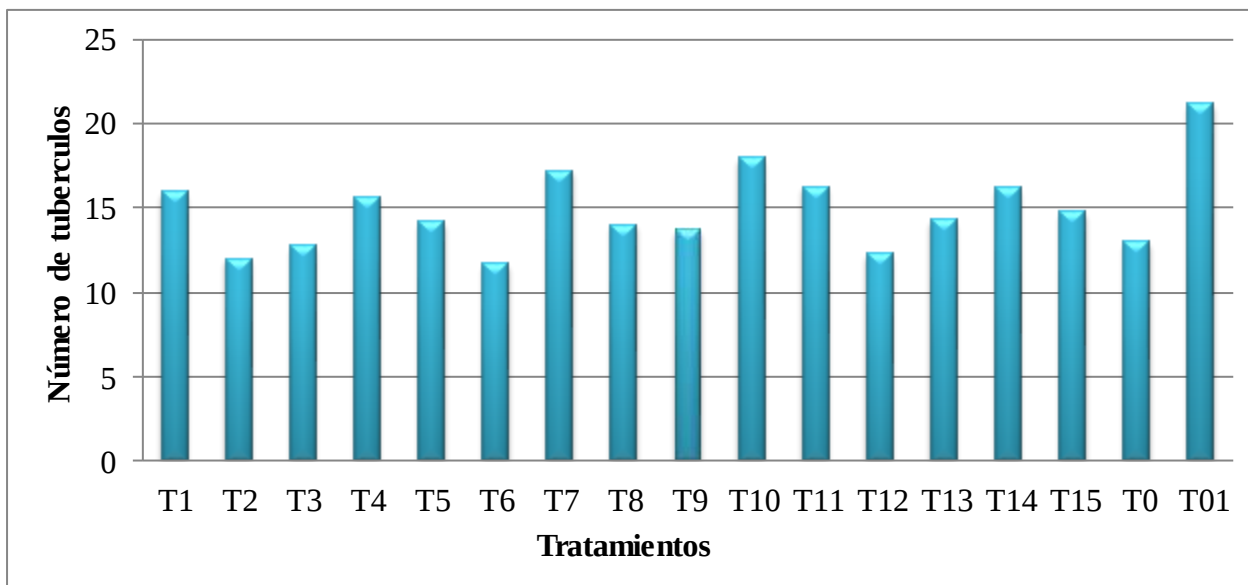
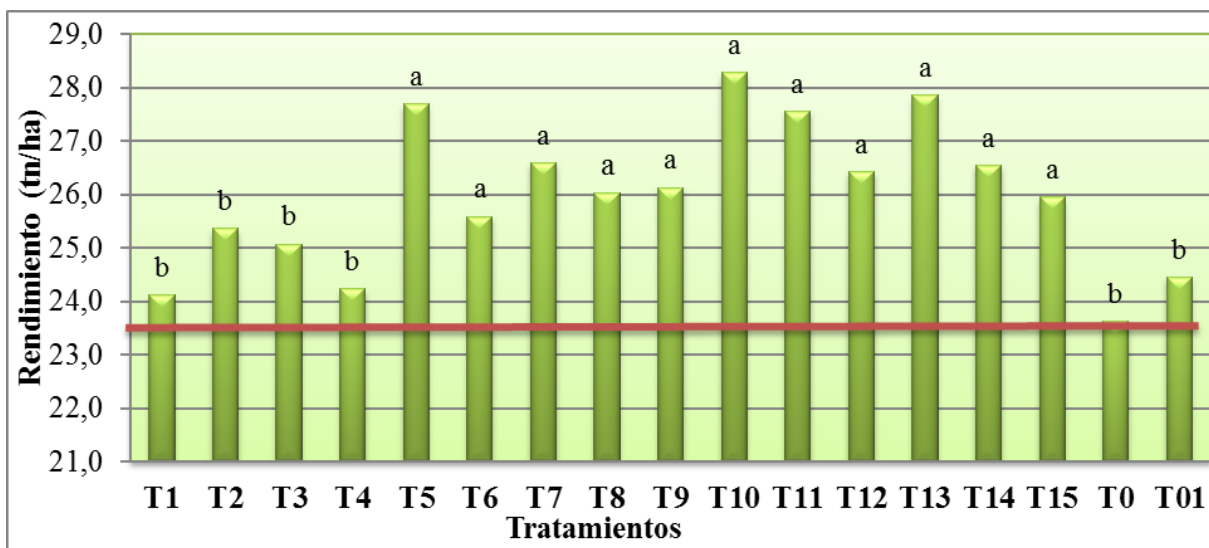


Figura 9. Variación de número de tubérculos de planta de papa por efecto de inoculación de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR).

Estos resultados coinciden (Cubillos-Hinojosa *et al.* 2009). Mencionan que el efecto favorable de *T. harzianum*, *B. subtilis* y *P. fluorescens* en el desarrollo fue evidente con el número de tubérculos mayor en T2 y T3. Este efecto se debe a que los microorganismos producen hormonas de crecimiento, que favorecen el desarrollo del sistema radicular y mejoran la nutrición. También señaló que la presencia de hormonas de crecimiento incrementó la tuberización; por lo que T1, sin inocular, mostró número menor de tubérculos.

Rendimiento (t/ha)

En la Figura 10, se observa donde 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 atacados 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 están el T10 con 28.3 t/ha, seguido del T13 con 27.8 t/ha, T5, T11 y T7 con rendimientos de 27.7, 27.6, y 26.6 t/ha, respectivamente en comparación al testigo absoluto (T01) produjo 24.5 t/ha y el testigo con nematodo (T0) produjo 23.6 t/ha).



* Letras iguales son estadísticamente similares al 95% de probabilidad

Figura 10. Efecto de tratamientos sobre el rendimiento de cultivo de papa atacadas con *Globodera* spp.

Según MDRyT (2016), tuvo un rendimiento promedio de 15,5 t/ha, con la aplicación de fertilizantes y abonos químicos. Los rendimientos obtenidos son superiores al promedio nacional, pero son bajos en comparación con los resultados obtenidos en países vecinos. También Rodríguez (2007), menciona que los nematodos provocan alteraciones en la conducción de las raíces de la planta, disminuyendo el transporte de fluidos y nutrientes en ambas direcciones, lo que favorece la muerte de las raíces y la reducción del crecimiento y rendimiento de las plantas.

Análisis de Meso fauna

En la Figura 11, se observa la abundancia de la población de microorganismos 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, así la planta absorbe mejor los nutrientes para mejor desarrollo y crecimiento de la planta, y también mejorar 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).

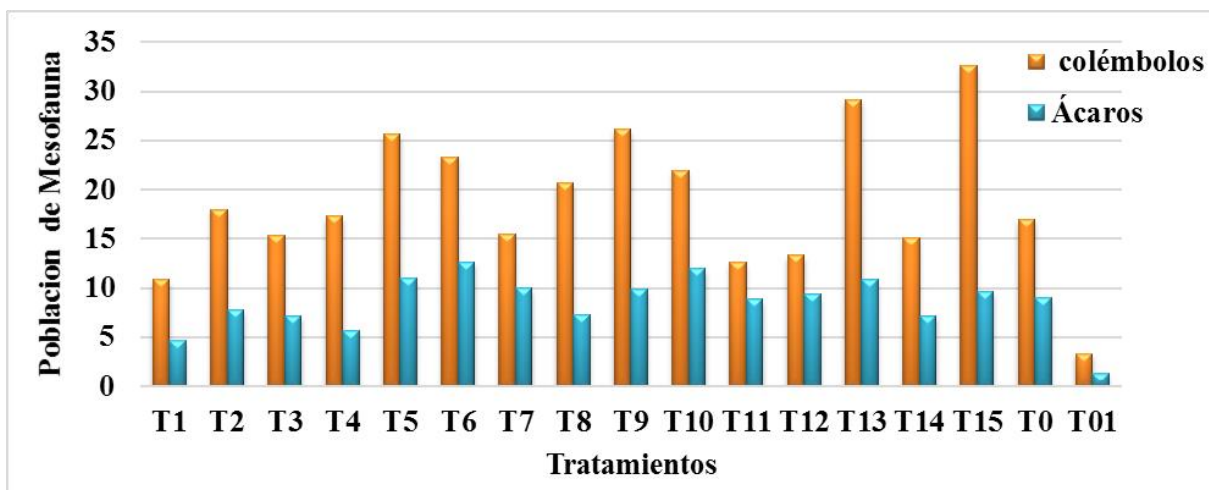


Figura 11. Efecto de tratamientos sobre la población de colembolas.

La población de colémbolos y ácaros del suelo en especial colémbolos, pueden participar directamente en la formación de sustancias húmicas, el que favorece a la formación de agregados complejos, en los que se encuentra íntimamente asociados la materia orgánica 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 atacadas por *Globodera* spp. es más notorio el efecto del parasitismo del nematodo a los 70 días después después de la siembra. Sin embargo, en el desarrollo crecimiento de las plantas, el mejor tratamiento fue la combinación de un hongo y una bacteria 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 y T14, 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, seguido de T13, T5, T11 y finalmente T7, todos respecto al testigo.

Estos efectos en el follaje, raíces y rendimiento en plantas de papa variedad Desirée (T10) atacadas por el nematodo demuestran que las interacciones 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 mesofauna, lo cual muestra que estos bioestimulantes no alteraron la biología del suelo analizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoun, H. y Prévost, D. 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. PGPR, Biocontrol and Biofertilization, Springer. 1-38 p.
- Avalos, K; Kugg, J. 2015. Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre *Planococcus citri* en condiciones de laboratorio. Trujillo: REBIOLEST.
- 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; Soberón, M. 2006. Los microorganismos en el control de insectos y patógenos. Cuernavaca, México, Revista Latinoamericana de Microbiología. 48(2). 113 -120 p.
- Carrión, 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 Venta quemada (Boyacá). Tesis Lic. Bogotá, Colombia, Corporación Universitaria Minuto de Dios. 56 p.
- Cubillos, J; Mejía, L. y Valero, N. 2009. *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). Agron. Colomb. 27: 81-86 p.
- Farfán, M. 2011. Comportamiento del nemátodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, con 12 productos químicos. Facultad de Agronomía- Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 3 p.
- 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" Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal La Habana, Cuba. Rev. Fito sanidad, 20(3). 109-119 p. (En Línea). Consultado 13 may. 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209155121001>

- Franco, J; Ponce, A; González, V. 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; Ortuño, N. 2009. Compendio de enfermedades insectos, nematodos, factores abióticos que afectan el cultivo de papa en Bolivia Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 9-12 p.
- Gómez, D; Reis, E. 2011. Inductores abióticos de resistencia contra Fitopatógenos. Buenos Aires, Argentina, Revista Química Viva. 10(1). 6-17 p. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86317320003.pdf> , 05/06/18.
- Guillen, C; Soto-Adames, F. y Springer, M. 2006 Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. En: Agronomía Costarricense, 30(2), 19-29 p. Citado en 26 may 19. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/12598/2/7010003.2013.pdf>
- 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 p.
- MDR y T (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2016. Correo del sur. Consultado 07 ago. 2019. Disponible en: https://correodelsur.com/local/20161206_papa-cosecha-alcanzo-a-15-toneladas-por-hectarea.html.
- Mondino, P; Vero, S. 2006. Control biológico de patógenos en plantas. Editorial. Facultad de Agronomía Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 158 p.
- 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 p.
- Ortuño, N; Claros, M; Angulo, V; Navia, O; Memeces, E; Castillo, J. 2010. biofertilizantes artesanales con microorganismos rizosfericos nativos para una producción orgánica de quinua en Bolivia. Congreso de producción orgánica. Chillan, Chile. Rodríguez, R. 2007. El cultivo moderno del tomate. 4 ed. Leo prensa, Madrid. 132 p.

- Pérez, G. 2008. Propiedades nutricionales de la papa. Disponible en: <http://gisellacuisine.blogspot.com/2008/02/propiedades-nutricionales-de-la-papa.html>.
- Pérez, N. 2004. Manejo Ecológico de Plagas. La Habana, Cuba. Editorial Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural. 127 – 284 p.
- Rodríguez, R. 2007. El cultivo moderno del tomate. 4 ed. Leo prensa, Madrid. 132 p.
- Sanabria, S. y Cañón, D. 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. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A Facultad de Ingeniería Agronómica Bogotá D.C. Colombia. 32 p.
- Sierra, MJ. 2014. 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. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Posgrados Palmira, Colombia 50 p.
- Thomas, F. 2002. Phenazine and their role in biocontrol by *Pseudomonas* bacteria, Rev. New Phytol. 157, 503-523.