

En búsqueda de una alternativa de manejo del camanduleo de la papa ocasionada por *Spongospora subterranea*

Searching for an alternative to manage powdery scab, caused by *Spongospora subterranea*, in potato

PAULA MESA^{1, 3}
CELSA GARCÍA¹
ALBA MARINA COTES²

Camanduleo de la papa ocasionada por *Spongospora subterranea*. Izq.: planta con agallas inmaduras; Centro: plantas con agallas maduras; Der.: plantas sanas tratadas con Quitosán.

Fotos: P. Mesa



RESUMEN

Entre las principales problemáticas que se presentan en la producción de papa se encuentra *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerheim f. sp. *subterranea*, agente causal de la sarna polvosa y camanduleo, enfermedades que afectan los tubérculos, las raíces, que no cuentan con prácticas de manejo efectivas. Con el fin de generar una alternativa de manejo se evaluó el efecto en la reducción del camanduleo de microorganismos potencialmente biocontroladores de los géneros *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. y *Streptomyces* spp. Así mismo, se evaluó el biocarbón, la quitina y el quitosán, aditivos orgánicos que han demostrado actividad de control en otros patosistemas. Inicialmente, se estableció un ensayo para obtener el desarrollo de agallas en dos ambientes diferentes (Mosquera y Subachoque, Cundinamarca) y dos concentraciones de inóculo del protozoo. La evaluación se realizó 8 semanas después de la siembra (SDS), midiendo la severidad expresada como número de agallas por planta. Dado el consistente desarrollo de la enfermedad, se decidió establecer los ensayos en el Municipio de Subachoque, usando suelo naturalmente infestado con 1×10^3 esporosoros/g de suelo. Al aplicar los biocontroladores, se observó disminución ($P > 0,05$) en el desarrollo de agallas con la mayoría de los microorganismos, siendo *Streptomyces misionensis* Ac006 el que más redujo la enfermedad en un 51,41%. Por otra parte, entre los aditivos evaluados, fue el quitosán al 0,5% con el que se obtuvo una mayor reducción ($P \leq 0,05$) en el número de agallas 62,58%. Estos resultados permiten sugerir el uso de estos tratamientos para el manejo del camanduleo de la papa.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ORCID García, C.: 0000-0002-3321-7893; ORCID Mesa, P.: 0000-0002-8318-2932

² Centro de Investigación Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Mosquera (Colombia). ORCID Cotes, A.M.: 0000-0003-3649-5706

³ Autor para correspondencia. pemesaq@unal.edu.co

Palabras clave adicionales: fitopatógeno biotrófico, protozoo, enfermedad, agallas, biocontroladores, aditivos orgánicos.

ABSTRACT

One of the main problems in potato production is powdery scab, caused by the protozoan *Spongospora subterranea*. Currently, there are no effective control strategies for this pathogen, which causes root damage and, therefore, reduces tuber quality. In order to develop a biocontrol alternative for powdery scab, we assessed the effect of eight potential microbial agents belonging to the genera *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. and *Streptomyces* spp. in the reduction of the disease. Additionally, we evaluated biocarbon, chitin and chitosan, which are organic additives with a biocontrol potential in other pathosystems. Initially, a trial was established to obtain the development of galls in two different locations (Mosquera and Subachoque, Cundinamarca) with two concentrations of protozoan inoculum. Eight weeks after sowing, the disease severity was determined counting the number of galls per plant. Because of the consistent development of the disease, the assays were established in the municipality of Subachoque in potted plants with naturally infested soil (1×10^3 sporosori/g of soil). All microbial biocontrol agents showed a reduction in gall development ($P > 0.05$). *Streptomyces misionensis* Ac006 caused the largest reduction in severity (51.41%). Among the organic additives, 0.5% chitosan had the greatest (62.58%) effect on disease reduction, a significant ($P \leq 0.05$) effect. Our results suggest possible alternatives for the sustainable management of powdery scab in potato.

Additional key words: biotrophic phytopathogen, protozoan, disease, galls, biocontrol, organic additives

Fecha de recepción: 22-05-2017 Aprobado para publicación: 30-09-2017

INTRODUCCIÓN

El protozoo *Spongospora subterranea* causante de la sarna polvosa y del camanduleo de la papa, ha ocasionado en Colombia pérdidas hasta del 50% de las cosechas y 30% en la reducción del peso de los tubérculos (Gilchrist *et al.*, 2011). A pesar de que *S. subterranea* representa una gran problemática para la producción de papa, el manejo es difícil de lograr debido a varios factores, tales como su supervivencia por varios años en el suelo y la inexistencia de métodos efectivos de control, ya que no se cuenta con agroquímicos ni bioplaguicidas registrados para su control. Así mismo, el manejo cultural implica rotaciones de largo tiempo con cultivos específicos y no se han desarrollado variedades comerciales resistentes (Falloon, 2008). Debido a estos factores, surge la necesidad de desarrollar nuevas estrategias amigables con el medio ambiente y que puedan ser incorporadas en programas de manejo integrado.

En este sentido, varios estudios han identificado el efecto de algunos biocontroladores sobre las

enfermedades ocasionadas por *S. subterranea* (Nielsen y Larsen, 2004; Hoyos *et al.*, 2008; Restrepo *et al.*, 2009; Bastidas, 2010; Soler *et al.*, 2012a, 2012b). La mayoría de estos se han desarrollado con hongos del género *Trichoderma* spp., hongo ampliamente distribuido a nivel mundial y primer agente de control biológico de fitopatógenos (Anand y Reddy, 2009). De otra parte, otros microorganismos del suelo con un amplio rango de funciones, son las bacterias filamentosas denominadas actinomicetos, los cuales se desarrollan en asociación con las raíces, en la rizósfera y juegan un papel fundamental en el control de fitopatógenos en gran número de cultivos (Poomthongdee *et al.*, 2015). Así mismo, las bacterias rizosféricas promotoras de crecimiento vegetal (PGPRs), en particular las pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, aparte del efecto positivo en el desarrollo vegetal, son capaces de controlar diversos fitopatógenos (Szczech y Shoda, 2004).

Además de estas opciones de control biológico, existen sustancias de origen natural que pueden actuar como bioestimulantes, es el caso del biocarbón, la quitina y el quitosán. El carbón vegetal también conocido como biocarbón es producido por pirólisis, proceso que consiste en la combustión de la materia orgánica bajo condiciones de baja oxigenación (Sohi *et al.*, 2009). La quitina es un polímero N-acetil D-glucosamina unidos por enlace $\beta(1,4)$, mientras que el quitosán es un polímero de β -1,4-glucosamina que se produce por desacetilación de la quitina presente en el exoesqueleto de artrópodos (Jin *et al.*, 2005; Goy *et al.*, 2009). Se ha reportado que estos aditivos actúan en forma preventiva, por inducción de resistencia en el huésped, o por estimulación de la flora benéfica del suelo (Cohen, 2001; EL Hadrami *et al.*, 2010).

Hasta el momento, no existe un único método de control que por sí solo sea efectivo contra *S. subterranea* que permita la reducción del inóculo o su capacidad de infección, por lo que la solución al problema debe ser abordada de manera integral (Falloon, 2008). De esta manera, en la presente investigación se evaluaron microorganismos potencialmente biocontroladores y algunos aditivos orgánicos con el fin de reducir el camanduleo de la papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de inóculo patógeno

Para obtener esporosoros de *S. subterranea* como fuente de inóculo, se tomaron muestras de suelo y de agallas de raíces de un cultivo comercial de papa cv. Diacol Capiro, ubicado en el Municipio Subachoque, finca California (4°57'0,05" N y 74°9'18,72" W), con historial de la enfermedad. Se utilizó la metodología de Bastidas (2010) con modificaciones. Se colectaron agallas y se pusieron a madurar en bolsas plásticas con suelo durante 8 d a 4°C. Después de este tiempo, las agallas se empacaron en bolsas de papel y se dejaron durante otros 8 d a temperatura ambiente, una vez las agallas maduras estuvieron secas, se maceraron en mortero. Para la estimación de la concentración de esporosoros, las muestras se pasaron por tamices de 425 y 250 μm , se pesó 0,1 g del tamizado y se adicionó a un tubo Falcon con 10 mL de agua destilada estéril. Enseguida el tubo se agitó en un vortex a 300 rpm durante 3 min. Posteriormente, se tomó 10 μL de la muestra y se trasladó a una cámara de Neubauer, para realizar el conteo de esporosoros.

Desarrollo de la enfermedad

Para estandarizar una metodología que permitiera el desarrollo del camanduleo, expresado como el desarrollo de agallas a lo largo del sistema radical de la planta (prueba de patogenicidad) y continuar con los ensayos de control, se evaluó dos concentraciones del patógeno, la primera fue suelo con inóculo natural (1×10^5 esporosoros/g), y la segunda fue este mismo suelo infectado al que se le adicionaron esporosoros aislados de agallas obtenidas de raíces, para obtener una concentración de 1×10^4 esporosoros/g de suelo. Este ensayo se realizó a la intemperie en dos sitios diferentes, en Mosquera (4°41'21,87" N y 74°12'6,62" W) y en Subachoque (4°54'19,09" N y 74°12'8,40" W).

Características generales de los ensayos

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de patogenicidad, se realizaron los ensayos con los biocontroladores y aditivos orgánicos. Estos se llevaron a cabo en Subachoque a la intemperie. Tanto para los ensayos de patogenicidad como para los de control, se sembró un tubérculo del cv. Parda Pastusa por materia con 600 g de suelo infectado con el patógeno debidamente homogeneizado. La evaluación fue de tipo destructivo y se realizó 8 SDS, para lo cual, las raíces se lavaron por inmersión en tazas con agua de grifo y se contó el número de agallas por planta.

Biocontroladores

Se evaluó la actividad biocontroladora de diferentes cepas provenientes del Banco de Microorganismos con interés en control biológico, administrado por Corpoica, estos aislamientos fueron seleccionados en estudios previos por su demostrada actividad biocontroladora en otros patosistemas. Las cepas evaluadas fueron *Trichoderma koningiopsis* Th003 (Cotes *et al.*, 2001; Moreno *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2013; Mesa *et al.*, 2014), *Trichoderma asperellum* Th034 (Beltrán y Garcés, 2011), *Trichoderma brevicompactum* Th0201 (Smith *et al.*, 2012), *Pseudomonas fluorescens* Ps006 (Ruíz *et al.*, 2013), *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006 (Caviedes, 2010) y tres cepas de los actinomicetos, *Streptomyces misionensis* Ac001, *Streptomyces* sp. Ac002 y *Streptomyces misionensis* Ac006 (Sastoque *et al.*, 2010).

La producción de inóculo de *Trichoderma* spp. se hizo en Papa Dextrosa Agar (PDA) con crecimiento durante 7 d a 25°C y se ajustó la concentración a 1×10^6 conidios/mL. El inóculo de *P. fluorescens* y *B. amyloliquefaciens* se preparó en caldo Luria Bertani (LB)

durante 48 horas a 28°C en agitación continua a 125 rpm y se utilizó 1×10^8 células/mL. Los actinomicetos se cultivaron en caldo Papa Dextrosa (PD) durante siete días a 28°C en agitación continua a 125 rpm. Sin embargo, dado que la concentración de inóculo no fue constante en varios ensayos se utilizó una dilución 1:100 en agua. La inoculación con todos los microorganismos se realizó por inmersión de los tubérculos durante 10 min y una aplicación adicional de 35 mL al suelo alrededor de la planta 30 días después de siembra (dds).

Aditivos orgánicos

Se utilizó biocarbón, proveniente de la pirolisis del mesocarpo de semillas de palma proveniente de Cenipalma, quitosán (C3646) con 85% mínimo de acetilación y quitina (C9213), ambos provenientes de concha de cangrejo, marca Sigma-Aldrich Ltd. (St. Louis, MO, USA). Los tres aditivos se maceraron en un molino eléctrico, con el fin de disminuir su tamaño de partícula y aumentar su dispersión. La quitina se pasó por un tamiz de 150 μm , el quitosán por un tamiz de 300 μm y el biocarbón por un tamiz de 500 μm . La quitina y el quitosán se evaluaron al 0,1 y 0,5% diluidos en agua y la aplicación se realizó por inmersión de las semillas de papa durante 10 min. El biocarbón se aplicó en mezcla con el suelo 1:100 peso:peso en el momento de la siembra.

Diseño experimental y análisis estadístico

En el ensayo de desarrollo de agallas (prueba de patogenicidad) se estableció un diseño en bloques completos al azar, siendo cada ambiente un bloque. Para los ensayos con los biocontroladores y con los aditivos orgánicos se utilizó un diseño completamente al azar con diez repeticiones, siendo una planta la unidad experimental.

En los bioensayos de control se contó con un testigo que consistió en plantas sin ningún tratamiento. Se determinó la relación porcentual de agallas por planta (Ag/Pl) entre el tratamiento y el testigo (Ec. 1). Los datos también se transformaron como eficacia en la reducción de agallas por cada tratamiento, considerando la relación porcentual en el testigo como 100% y restándole la relación porcentual obtenida en cada tratamiento.

$$\frac{Ag}{Pl} = \frac{\text{Número de agallas por planta en los tratamientos}}{\text{Número promedio de agallas en el testigo patógeno}} \times 100 \quad (1)$$

Se realizaron diagramas de caja y bigotes para el número de agallas en cada uno de los bioensayos. La relación porcentual se analizó con pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis) a un valor de $P \leq 0,05$. Se trabajó con los paquetes estadísticos SAS v.9 (SAS Institute, Cary, NC, USA) y Statistix (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de la enfermedad

EL camanduleo de la papa solo se expresó en Subchoque, aunque no se evidenció efecto ($P > 0,05$) de las dos concentraciones evaluadas, encontrándose 107 y 95 agallas cuando se usaron las concentraciones de 1×10^3 y 1×10^4 esporos/g, respectivamente (Fig. 1). Coincidiendo con el presente estudio, otros autores que también estudiaban el camanduleo no encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de inóculo evaluadas y concluyeron que un bajo nivel de inóculo en el suelo puede ocasionar una alta severidad de agallas en las raíces (Van De Graaf *et al.*, 2007; Shah *et al.*, 2011). Así mismo, Nakayama *et al.* (2007) y Brierley *et al.* (2013) no encontraron una relación entre la incidencia y la severidad de la sarna polvosa con el nivel de inóculo presente en el suelo. En tanto que Qu y Christ (2006) y Shah *et al.* (2011) sí obtuvieron relación entre el nivel de inóculo en el suelo y la incidencia de la enfermedad en los tubérculos.

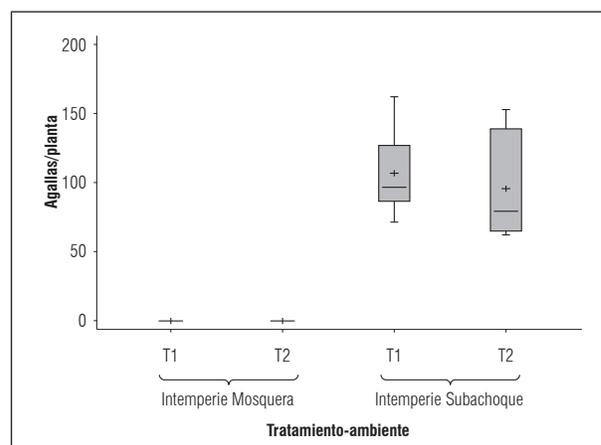


Figura 1. Efecto de dos ambientes y dos concentraciones de inóculo de *Spongospora subterranea* en el número de agallas en plantas de papa cv. Parda Pastusa. T1: 1×10^3 esporos/g de suelo; T2: 1×10^4 esporos/g de suelo.

Tabla 1. Temperatura registrada en dos ambientes de evaluación de infección de *Spongospora subterranea* en cv. Parda Pastusa para Cundinamarca, Colombia.

Ambiente	Temperatura (°C)		
	Media-máxima	Media-mínima	Media
Mosquera intemperie (4°41'21,87" N; 74°12'6,62" W)	20,3	6,1	14,2
Subachoque intemperie (4°54'19,09" N; 74°12'8,40" W)	23,8	7,8	15,3

Los datos de Mosquera son de la estación meteorológica del Centro de Investigación; en Subachoque los datos fueron simulados en Meteoblue. Datos promedio de 17 de agosto a 17 de octubre de 2015.

En cuanto al ambiente y a pesar de que la temperatura registrada en Mosquera y en Subachoque fue similar (Tab. 1) y óptima para el desarrollo de la enfermedad según reportes previos (Puerta *et al.*, 2008; Corrales *et al.*, 2012), se pudo evidenciar que este no fue un parámetro crítico para el desarrollo de la enfermedad, por lo que se presume que existen otros factores climáticos que juegan un papel crucial en la expresión del camanduleo: es el caso de la precipitación, de la humedad relativa o del brillo solar. Estos resultados demuestran la gran complejidad de este patosistema y la necesidad de desarrollar más investigación básica en el estudio de esta gran problemática.

Efecto de biocontroladores en la reducción del camanduleo

Se observó disminución del número de agallas con la mayoría de los microorganismos evaluados. No obstante, esta reducción de agallas no fue diferente significativamente al testigo (Fig. 2). Estos resultados son parcialmente explicados por la alta variabilidad de los datos (Tab. 2), fenómeno que se presentó a pesar de trabajar con varias repeticiones. Esta variabilidad pudo ser debida a una distribución variable del inóculo patogénico y a la complejidad del proceso infeccioso, ya que se producen múltiples estructuras tales como agallas con esporosoros, plasmodios (estructuras granulares), zoosporangios, con sus zoosporas y quistes que se forman a partir de estas (Falloon *et al.*, 2016). De acuerdo con las condiciones particulares de los micrositios del suelo y según las señales quimio-tróficas de las raíces, podría presumirse que hay gran variabilidad en el proceso patogénico y por ende en la actividad de los biocontroladores.

Otra razón por la cual se obtuvieron estos resultados, puede ser debida a la distribución agregada de este patógeno obligado en el suelo (Nakayama *et al.*, 2007), y a pesar de que en el establecimiento de los ensayos se realizó una mezcla del suelo, esto no asegura que cada unidad experimental tuviera la misma cantidad

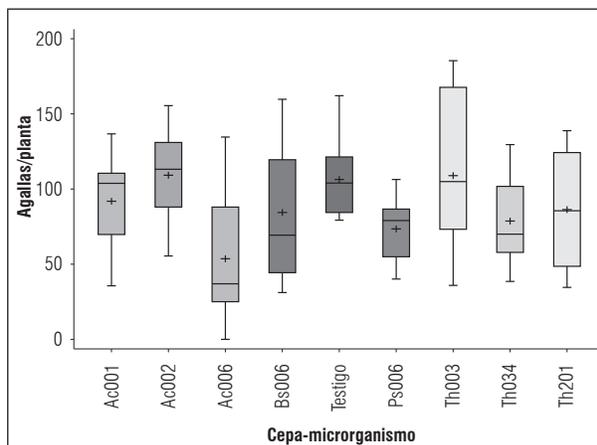


Figura 2. Efecto de biocontroladores sobre el número de agallas en materas a la intemperie, Subachoque (Colombia), en plantas de papa cv. Parda Pastusa. Ac001: *S. misionensis*; Ac002: *Streptomyces* sp.; Ac006: *S. misionensis*; Bs006: *B. amyloliquefaciens*; Ps006: *P. fluorescens*; Th003: *T. koningiopsis*; Th034: *T. harzianum*; Th201: *T. brevicompactum*.

Tabla 2. Efecto de biocontroladores sobre la reducción de agallas en la raíz producidas por *Spongospora subterranea* en plantas de papa cv. Parda Pastusa en materas a la intemperie, Subachoque (Colombia).

Microorganismo	Reducción de agallas (%)	Desviación estándar
Testigo	-	35,34
Th003	-1,28	49,58
Th034	27,06	27,70
Th201	19,63	39,10
Ac001	14,11	29,94
Ac002	-1,74	30,48
Ac006	51,41	41,03
Bs006	22,23	44,44
Ps006	31,35	19,89

Ac001: *S. misionensis*; Ac002: *Streptomyces* sp.; Ac006: *S. misionensis*; Bs006: *B. amyloliquefaciens*; Ps006: *P. fluorescens*; Th003: *T. koningiopsis*; Th034: *T. harzianum*; Th201: *T. brevicompactum*

de esporosoros. Así mismo, los estudios relacionados con su biología son escasos y no se ha elucidado los factores que estimulan la liberación de zoosporas (Balendres *et al.*, 2016). Además, en los diferentes ensayos se apreciaron agallas de diferentes tamaños (desde 2 a 10 mm). Y el sistema de evaluación usado en la presente investigación, en donde se contaron las agallas, no es tan preciso para cuantificar la cantidad de inóculo presente en las raíces, como lo son otros métodos moleculares usados actualmente (Qu *et al.*, 2011).

Como se mencionó en la metodología, los biocontroladores se seleccionaron por presentar reducción significativa de varias enfermedades en otros patosistemas, lo que no sucedió con el camanduleo de la papa. Esto podría explicarse por la mencionada complejidad del patógeno, o por el tipo de suelo, contenido de materia orgánica y exudados de las raíces (Zhang *et al.*, 2014). Además, no es seguro que todas las unidades experimentales tuvieran la misma microflora asociada y es muy probable que las diferentes especies habitantes del suelo desestabilizaran la actividad de los biocontroladores (Neuhauser y Fargione, 2004), en donde se puede presentar competencia por espacio y nutrientes, colonización en las raíces y formación de biopelículas (Sun *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta que el 75% de las plantas en el testigo desarrolló 119 agallas/planta, las plantas tratadas con *S. misionensis* Ac006 expresaron la menor cantidad con 81 agallas/planta. Lo que significa una reducción del camanduleo del 51,41%, seguido de *P. fluorescens* Ps006 con 31,35% (Tab. 2).

En relación a enfermedades ocasionadas por patógenos del suelo, *S. misionensis* ha demostrado actividad biocontroladora del tizón de las plántulas ocasionado por *Fusarium proliferatum* y de la pudrición basal causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lilii* en el cultivo de lirio (Chung *et al.*, 2011). Poomthongdee *et al.* (2015) observaron actividad antagónica de esta bacteria contra tres hongos patógenos del arroz: *Fusarium moniliforme*, *Helminthosporium oryzae* y *Rhizoctonia solani*.

P. fluorescens Ps006 ha demostrado que reduce la incidencia y la severidad de *F. oxysporum* en tomate en un 86 y 50%, respectivamente (Ruíz *et al.*, 2013). Se ha identificado reducción del camanduleo con el uso de otros aislamientos de *Pseudomonas* spp. en donde se obtuvieron niveles de control entre el 20 y 76% en términos de reducción de agallas en raíz, según la especie hospedera y el aislamiento bacteriano empleado bajo

condiciones de invernadero (Bastidas, 2010). También se ha reportado actividad de biocontrol de *P. fluorescens* en otros patógenos del suelo como, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *Macrophomina phaseolina* (Nandakumar *et al.*, 2001), la bacteria *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* y el nematodo *Meloidogyne javanica* en tomate (Siddiqui *et al.*, 2006). Particularmente, se ha identificado que ciertas cepas de *P. fluorescens* en ambientes naturales previenen infecciones en las raíces de las plantas (Ganeshan y Kumar, 2005), efecto que pudo haber favorecido el control del camanduleo de la papa.

Efecto de los aditivos orgánicos

Se evidenció efecto de los aditivos en la disminución de agallas, siendo quitosán diferente ($P \leq 0,05$) al testigo (Fig. 3). El 75% de las plantas tratadas con quitosán al 0,5% desarrolló 51 agallas, con una reducción de agallas del 62,58%, en comparación con las plantas del testigo que presentaron 141 agallas (Tab. 3).

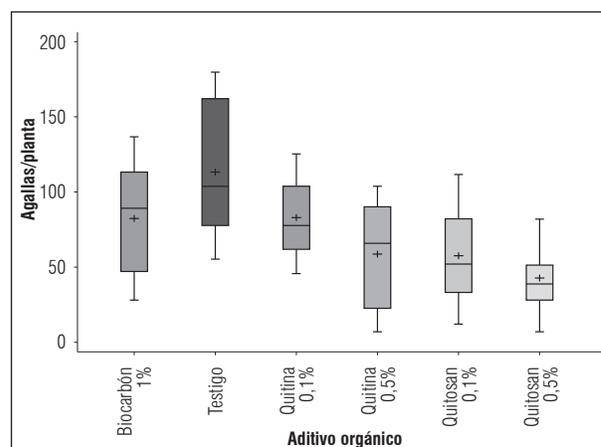


Figura 3. Efecto de tres aditivos orgánicos en diferentes concentraciones sobre el número de agallas en materas a la intemperie, Subachoque (Colombia), en plantas de papa cv. Parda Pastusa.

El efecto del quitosán en la disminución de agallas pudo ser debido a uno o varios de los mecanismos de acción reportados para este aditivo, entre los que se encuentran: efectos directos contra patógenos, desarrollo de barreras físicas alrededor de los sitios de penetración del patógeno, modulación de las respuestas de defensa de las plantas, estimulación de la actividad de microorganismos benéficos del suelo, entre otros (Andres *et al.*, 2010).

Tabla 3. Efecto de aditivos orgánicos sobre la reducción de agallas en la raíz producidas por *Spongospora subterranea* en plantas de papa cv. Parda Pastusa en materas a la intemperie, Subachoque (Colombia).

Aditivo	Reducción de agallas (%)	Desviación estándar
Testigo	-	39,02
Biocarbón	26,44 ab	35,13
Quitina 0,1%	26,71 ab	22,51
Quitina 0,5%	44,67 ab	30,84
Quitosan 0,1%	48,73 ab	29,94
Quitosan 0,5%	62,58 b	18,90

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Kruskal-Wallis ($P \leq 0,05$)

En el cultivo de papa Chirkov *et al.* (2001) encontraron significativamente menor número de plantas infectadas con el virus X de la papa, cuando se trataron con quitosán. En tomate y papa también se observó disminución en el desarrollo de la gota producida por *Phytophthora infestans* y del nematodo *Meloidogyne incognita* (Vasyukova *et al.*, 2001). Así mismo, se ha observado inhibición *in vitro* de *R. solani* y *F. moliniforme* ((Zeng y Shi, 2009); y disminución de la población del nematodo *Bursaphelenchus xylophilus* en plantas de *Pinus pinaster* ((Nunes da Silva *et al.*, 2014).

En esta investigación se evidenció mayor reducción de agallas cuando las plantas de trataron con los aditivos orgánicos, que cuando las plantas se inocularon con los microorganismos. Efecto similar se evidenció en las investigaciones realizadas por Beauséjour *et al.* (2003), Rivero (2008) y Melia y Aryantha (2010) en el control de la sarna común en papa, de hongos que causan el manchado de grano en arroz y de *F. oxysporum* en tomate.

CONCLUSIONES

Se evidenció mayor efecto del ambiente en el desarrollo del camanduleo de la papa, que de la concentración de inóculo presente en el suelo. Los microorganismos que disminuyeron en mayor proporción, aunque no significativamente, fueron el camanduleo fueron *S. misionensis* Ac006 y *P. fluorescens* Ps006 con un 51,41 y 31,35% de eficacia, respectivamente. Sin embargo, se encontró mayor efecto de control con el uso de aditivos orgánicos, presentándose así, una reducción significativa de agallas 62,58% cuando los tubérculos

semilla se trataron con quitosán 0,5%. Se puede identificar una alternativa de manejo de esta enfermedad. No obstante, es necesario evaluar en condiciones de campo los tratamientos seleccionados, en diferentes zonas productoras, tipos de suelos, otros cultivares y hasta cosecha para determinar la eficacia de estos.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anand, S. y J. Reddy. 2009. Biocontrol potential of *Trichoderma* sp. against plant pathogen. Int. J. Agric. Sci. 1(2), 30-39. Doi: 10.9735/0975-3710.1.2.30-39
- Andres, Y., L. Giraud, C. Gerente y L. Cloirec. 2010. Antibacterial effects of chitosan powder: mechanisms of action. Environ. Technol. 28(12), 1356-1363. Doi: 10.1080/09593332808618893
- Balendres, M., R. Tegg y C. Wilson. 2016. Key events in pathogenesis of *Spongospora* diseases in potato: a review. Australas. Plant Pathol. 45(3), 229-240. Doi: 10.1007/s13313-016-0398-3
- Bastidas, L. 2010. Determinación de la capacidad biocontroladora de *Pseudomonas* spp. contra *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en el cultivo de papa. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Beauséjour, J., N. Clermont y C. Beaulieu. 2003. Effect of *Streptomyces melanosporofaciens* strain EF-76 and of chitosan on common scab of potato. Plant Soil 256(2), 463-468. Doi: 10.1023/A:1026177714855
- Beltrán, C. y E. Garcés. 2011. Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. con potencial biocontrolador de *Rhizoctonia solani* Kühn en papa bajo condiciones de casa de malla. Acta Biol. Colomb. 10(1), 82-83.
- Brierley, J., L. Sullivan, S. Wale, A. Hilton, D. Kiezebrink y A. Lees. 2013. Relationship between *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* soil inoculum level, host resistance and powdery scab on potato tubers in the field. Plant Pathol. 62(2), 413-420. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2012.02649.x
- Caviedes, D. 2010. Aislamiento y selección de *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp., promotoras del crecimiento vegetal en cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) con actividad antagonista frente a *Fusarium oxysporum*. Trabajo de grado en Microbiología industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Chirkov, S., A. Il'ina, N. Surgucheva, E. Letunova, Y. Varitsev, N. Tatarinova y V. Varlamov. 2001. Effect of

- chitosan on systemic viral infection and some defense responses in potato plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 48(6), 774-779. Doi: 10.1023/A:1012508625017
- Chung, W., R. Wu, C. Hsu, H. Huang y J. Huang. 2011. Application of antagonistic rhizobacteria for control of *Fusarium* seedling blight and basal rot of lily. *Aust. Plant Pathol.* 40(3), 269-276. Doi: 10.1007/s13313-011-0040-3
- Cohen, E. 2001. Chitin synthesis and inhibition: a revisit. *Pest Manag. Sci.* 57(10), 946-950. Doi: 10.1002/ps.363
- Corrales, C., C. Zuluaga, J. Cotes y E. González. 2012. Determinación de las condiciones óptimas para la liberación de zoosporas de *Spongospora subterranea* en bioensayos. *Trop. Plant Pathol.* 37(4), 239-245. Doi: 10.1590/S1982-56762012000400002
- Cotes, A., A. Cárdenas y H. Pinzon. 2001. Effect of seed priming in the presence of *Trichoderma koningii* on seed and seedling disease induced in tomato by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *IOB-CWPRS Bull.* 24, 259-263.
- Díaz, A., P. Smith, P. Mesa, J. Zapata, D. Caviedes y A. Cotes. 2013. Control of *Fusarium* wilt in cape gooseberry by *Trichoderma koningiiopsis* and PGPR. *IOBC-WPRS Bull.* 86, 89-94.
- EL Hadrami, A., L. Adam, I. Hadrami y F. Daayf. 2010. Chitosan in plant protection. *Mar. Drugs* 8(4), 968. Doi: 10.3390/md8040968
- Falloon, R., 2008. Control of powdery scab of potato: towards integrated disease management. *Am. J. Potato Res.* 85(4), 253-260. Doi: 10.1007/s12230-008-9022-6
- Falloon, R., U. Merz, R. Butler, D. Curtin, R. Lister y S. Thomas. 2016. Root infection of potato by *Spongospora subterranea*: knowledge review and evidence for decreased plant productivity. *Plant Pathol.* 65(3), 422-434. Doi: 10.1111/ppa.12419
- Ganeshan, G. y A. Kumar. 2005. *Pseudomonas fluorescens*, a potential bacterial antagonist to control plant diseases. *J. Plant Interact.* 1(3), 123-134. Doi: 10.1080/17429140600907043
- Gilchrist, E., J. Soler, U. Merz y S. Reynaldi. 2011. Powdery scab effect on the potato *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* growth and yield. *Trop. Plant Pathol.* 36(6), 350-355. Doi: 10.1590/S1982-56762011000600002
- Goy, R., D. de Britto y O. Assis. 2009. A review of the antimicrobial activity of chitosan. *Polímeros* 19(3), 241-247. Doi: 10.1590/S0104-14282009000300013
- Hoyos, L., S. Jaramillo y S. Orduz. 2008. Evaluation of *Trichoderma asperellum* as bioregulator of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín* 61(2), 4496-4502.
- Jin, R., J. Suh, R. Park, Y. Kim, H. Krishnan y K. Kim. 2005. Effect of chitin compost and broth on biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nematology* 7(1), 125-132. Doi: 10.1163/1568541054192171
- Melia, S. e I. Aryantha. 2010. The effects of Chitosan on antifungal activity of *Trichoderma harzianum* Rifai against *Fusarium oxysporum*. pp. 6-8. En: The 2nd International Biotechnology & Biodiversity Conference. Johor Bahru, Johor, Malaysia.
- Mesa, P., C. Moreno y A. Cotes. 2014. Efecto promotor de crecimiento vegetal y biocontrolador de *Trichoderma koningiiopsis* sobre *Rhizoctonia solani* en el cultivo de arroz. *Actual. Biológicas* 36, 242.
- Moreno, C., F. Castillo, A. González, D. Bernal, Y. Jaimes, M. Chaparro, C. González, F. Rodríguez, S. Restrepo y A. Cotes. 2009. Biological and molecular characterization of the response of tomato plants treated with *Trichoderma koningiiopsis*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 74(2), 111-120. Doi: 10.1016/j.pmp.2009.10.001
- Nakayama, T., M. Horita y T. Shimanuki. 2007. *Spongospora subterranea* soil contamination and its relationship to severity of powdery scab on potatoes. *J. Gen. Plant Pathol.* 73(4), 229-234. Doi: 10.1007/s10327-007-0008-x
- Nandakumar, R., S. Babu, R. Viswanathan, T. Raguchander y R. Samiyappan. 2001. Induction of systemic resistance in rice against sheath blight disease by *Pseudomonas fluorescens*. *Soil Biol. Biochem.* 33(4), 603-612. Doi: 10.1016/S0038-0717(00)00202-9
- Neuhauser, C. y J. Fargione. 2004. A mutualism-parasitism continuum model and its application to plant-mycorrhizae interactions. *Ecol. Model.* 177(3), 337-352. Doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.02.010
- Nielsen, S. y J. Larsen. 2004. Two *Trichoderma harzianum*-based bio-control agents reduce tomato root infection with *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh., f. sp. *subterranea*, the vector of *Potato mop-top virus*. *J. Plant Dis. Prot.* 111(2), 145-150. Doi: 10.1007/BF03356140
- Nunes da Silva, M., A. Cardoso, D. Ferreira, M. Brito, M. Pintado y M. Vasconcelos. 2014. Chitosan as a bio-control agent against the pinewood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *For. Pathol.* 44(5), 420-423. Doi: 10.1111/efp.12136
- Poomthongdee, N., K. Duangmal y W. Pathom-aree. 2015. Acidophilic actinomycetes from rhizosphere soil: diversity and properties beneficial to plants. *J. Antibiot.* 68(2), 106-114. Doi: 10.1038/ja.2014.117
- Puerta, S., L. Hoyos y E. González. 2008. Factors affecting the zoospore release of *Spongospora subterranea* (Wallroth) Lagerheim f. sp. *subterranea* Tomlinson. *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín* 61(2), 4503-4510.
- Qu, X. y B. Christ. 2006. Single cystosorus isolate production and restriction fragment length polymorphism characterization of the obligate biotroph *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. *Phytopathology* 96(10), 1157-1163. Doi: 10.1094/PHYTO-96-1157

- Qu, X., L. Wanner y B. Christ. 2011. Multiplex real-time PCR (TaqMan) assay for the simultaneous detection and discrimination of potato powdery and common scab diseases and pathogens. *J. Appl. Microbiol.* 110(3), 769-777. Doi: 10.1111/j.1365-2672.2010.04930.x
- Restrepo, F., S. Jaramillo y M. Cotes. 2009. Effect of two microorganisms, mycorrhize and pine wood shavings on the control of powdery scab (*Spongospora subterranea*) in potato. *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín* 62(2), 5047-5054.
- Rivero, D. 2008. Identificación y control in vitro con quitosana y *Trichoderma* spp. de hongos que causan el manchado del grano en arroz (*Oryza sativa* L.). *Rev. Protec. Veg.* 23, 67-67.
- Ruiz, C., L. Izquierdo, C. Moreno, M. Gómez y L. Villamizar. 2013. Development, stability and biocontrol activity of a formulation based on *Pseudomonas fluorescens* Ps06. *Int. Organ. Biol. Integrated Control-WPRS Bull.* 86, 25-30.
- Sastoque, E., A. Cotes, R. Rodríguez y A. Pedroza. 2010. Effect of nutrients and fermentation conditions on the production of biosurfactants using rhizobacteria isolated from fique plants. *Univ. Sci.* 15(3), 251-264. Doi: 10.11144/javeriana.SC15-3.eona
- Shah, F., R. Falloon, R. Butler y R. Lister. 2011. Low amounts of *Spongospora subterranea* sporosorus inoculum cause severe powdery scab, root galling and reduced water use in potato (*Solanum tuberosum*). *Aust. Plant Pathol.* 41(2), 219-228. Doi: 10.1007/s13313-011-0110-6
- Siddiqui, I., S. Shaukat, I. Sheikh y A. Khan. 2006. Role of cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in the suppression of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* in tomato. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22(6), 641-650. Doi: 10.1007/s11274-005-9084-2
- Smith, A., C. Beltrán, M. Kusunoki, A. Cotes, K. Motohashi, T. Kondo y M. Deguchi, 2012. Diversity of soil-dwelling *Trichoderma* in Colombia and their potential as biocontrol agents against the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *J. Gen. Plant Pathol.* 79(1), 74-85. Doi: 10.1007/s10327-012-0419-1
- Soler, J., E. Gilchrist y J. Pérez. 2012a. Evaluación de microorganismos con potencial de promoción de crecimiento vegetal y biocontrol de *Spongospora subterranea*. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 14(1), 157-170. Doi: 10.15446/rev.colomb.biote
- Soler, J., L.F. Uribe-L. y J. Pérez-N. 2012b. Differential distribution of candidate biocontrol bacteria against *Spongospora subterranea* in potato plants (*Solanum tuberosum* cv. Diacol Capiro). *Rev. Fac. Nac. Agr. Medellín* 65(1), 6337-6348.
- Sun, S., J. Wang, L. Zhu, D. Liao, M. Gu, L. Ren, Y. Kapulnik y G. Xu. 2012. An active factor from tomato root exudates plays an important role in efficient establishment of mycorrhizal symbiosis. *PLoS ONE* 7(8), e43385. Doi: 10.1371/journal.pone.0043385
- Szczecz, M. y M. Shoda. 2004. Biocontrol of *Rhizoctonia damping-off* of tomato by *Bacillus subtilis* combined with *Burkholderia cepacia*. *J. Phytopathol.* 152(10), 549-556. Doi: 10.1111/j.1439-0434.2004.00894.x
- Van De Graaf, P., S. Wale y A. Lees. 2007. Factors affecting the incidence and severity of *Spongospora subterranea* infection and galling in potato roots. *Plant Pathol.* 56(6), 1005-1013. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01686.x
- Vasyukova, N., S. Zinov'eva, L. Il'inskaya, E. Perekhod, G. Chalenko, N. Gerasimova, A.I. Varlamov y O. Ozeretskoykaya. 2001. Modulation of plant resistance to diseases by water-soluble chitosan. *Appl. Biochem. Microbiol.* 37(1), 103-109. Doi: 10.1023/A:1002865029994
- Zeng, D. e Y. Shi. 2009. Preparation and application of a novel environmentally friendly organic seed coating for rice. *J. Sci. Food Agric.* 89(13), 2181-2185. Doi: 10.1002/jsfa.3700
- Zhang, N., D. Wang, Y. Liu, S. Li, Q. Shen y R. Zhang. 2014. Effects of different plant root exudates and their organic acid components on chemotaxis, biofilm formation and colonization by beneficial rhizosphere-associated bacterial strains. *Plant Soil* 374(2), 689-700. Doi: 10.1007/s11104-013-1915-6