

# Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia

Mamani-Rojas, P. <sup>1</sup>; J. Limachi-Villalba<sup>2</sup>; N. Ortuño-Castro<sup>3</sup>

## Resumen

En tres campañas consecutivas (2007 a 2010), en la comunidad de Candelaria del municipio de Colomi, departamento de Cochabamba, se evaluó el efecto de microorganismos benéficos en la productividad y el control de enfermedades de suelo que afectan la calidad de las papas nativa como *Helminthosporium solani* (mancha plateada). El primer año se evaluó a los microorganismos *Trichoderma* spp, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis* aplicados en diferentes dosis. El segundo año se seleccionó al mejor de los tres para optimizar su dosis e identificar su mejor formulación. El tercer año fue para confirmar los resultados del segundo año y paralelamente se evaluó su forma de aplicación. Se determinó que *Trichoderma* tiene un efecto significativo sobre el rendimiento de papa nativa, ssp andigena debido a su efecto sobre el número de tallos y la cobertura foliar y no así *B. amyloliquefaciens* y *B. subtilis*. Estos tres microorganismos lograron reducir el efecto de *H. solani*, pero *Trichoderma* lo hizo en mayor magnitud. El segundo y tercer año, *Trichoderma* spp. confirmó su efecto favorable sobre el rendimiento y en la reducción de la enfermedad. En relación a la forma de aplicación de *Trichoderma*, se determinó que su aplicación a surco abierto y sobre la gallinaza, tuvo un mayor efecto en el rendimiento que su aplicación previa a la gallinaza antes de la siembra o su aplicación solo a la semilla.

1. Investigador ecofisiólogo, suelos y producción agrícola de la Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. [p.mamani@proinpa.org](mailto:p.mamani@proinpa.org)
2. Estudiante de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
3. Investigador en microbiología agrícola y bioinsumos de la Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. [n.ortuno@proinpa.org](mailto:n.ortuno@proinpa.org)

Palabras claves adicionales:

Manejo ecológico, control biológico, *Trichoderma* spp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Helminthosporium solani*, mancha plateada.

Aceptado para publicación: Junio 19, 2012

## Use of native Microorganisms as Growth Promoters and Biocontrol Agents for Diseases in Native Potato Crops

### Summary

In three consecutive seasons (2007 to 2010), in the community of Candelaria of the municipality of Colomi, department of Cochabamba, it was evaluated the effect of benefic microorganisms on improving productivity and control of potato/soil diseases such as *Helminthosporium solani* (silver scurf), that affect the quality of native potatoes. The first year were evaluated *Trichoderma* spp., *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. subtilis*, applied in different dosages. During the second year of experiments the best treatment was selected, out of three, to optimize the dose and to identify the best formulation. The third year results of the second year were confirmed and was evaluated how to apply them. It was found that *Trichoderma* spp. has a significant effect on the yield of native potato because of its effect on the number of stems and foliar coverage and *not B. amyloliquefaciens* and *B. subtilis*. These three organisms were able to reduce the effect of *Helminthosporium solani*; *Trichoderma* spp. did not do it in a greater magnitude. The second and third year, *Trichoderma* spp. confirmed its beneficial effect on production and its effect on disease reduction of *Helminthosporium solani*. In relation on how to apply *Trichoderma* spp., was determined that its application to furrow and over to chicken manure had a greater effect on production than their application to just the chicken manure or its application only to the seed.

*Additional key words:*

*Ecological management, biological control, Trichoderma, Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus subtilis, Helminthosporium solani, silver scurf.*



## Introducción

El cultivo de la papa nativa en Bolivia es considerado de prioridad nacional por su incidencia en la economía de los pequeños agricultores, su diversidad genética, su importancia en la seguridad alimentaria y su potencial agroindustrial. En el pasado, si bien la conservación de las papas nativas en los microcentros de agrobiodiversidad buscaba principalmente la seguridad alimentaria, con el pasar del tiempo las lógicas conservacionistas fueron cambiando y actualmente se observa una fuerte presión del mercado que hace prevalecer la producción de variedades de mayor rendimiento. Colateralmente, estos microcentros experimentan cambios en la evolución de plagas y enfermedades, la degradación de los suelos, aspectos que reducen cada vez más la cantidad y la calidad de las cosechas (Zeballos *et al.*, 2009).

Instituciones, agencias de cooperación, organizaciones de productores y empresas han venido implementando una serie de acciones relacionadas con la promoción de su consumo en fresco, su transformación y la visualización de su gran potencial en nuevos mercados. La demanda creciente de estos nuevos mercados se ve dificultado por la mala calidad, la baja capacidad de abastecimiento de los productores y su alta estacionalidad. El tratar de incrementar la oferta de papa de manera sostenible y consistente con las exigencias del mercado, conlleva el desarrollar innovaciones y cambios en las estrategias de producción y en el uso de tecnologías productivas, siendo que este cultivo está limitado por diferentes factores de tipo biótico y abiótico (PROINPA, 2009).

Considerando las experiencias en otras regiones del país, donde se busca incrementar la productividad de papa a costo de una alta inversión en agroquímicos que a la larga repercute en la economía del productor y en el medio ambiente, es que la producción de la papa nativa en los microcentros de diversidad debería tener un enfoque ecológico. Por otra parte, es muy conocida la existencia de hongos y bacterias benéficas que presentan un efecto antagónico sobre microorganismos que ocasionan enfermedades en las plantas. Entre las especies benéficas más ampliamente estudiadas se encuentran las del género *Trichoderma*, debido a su eficaz control, capacidad reproductiva, plasticidad ecológica, efecto estimulante sobre los cultivos y recientemente se detectó su acción como inductor de resistencia sistémica en la planta a diferentes patógenos (Cervantes, 2010 y Harman, 2004). *Trichoderma rifa* como un controlador biológico y antagonista natural de fitopatógenos muestra una amplia gama de hospedantes y dentro de ellos están los hongos fitopatógenos de importancia, tales como: *Fusarium oxysporum*, *Fusarium roseum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia* spp., *Pythium* spp. *Phytophthora* spp., *Alternaria* spp., entre otros (Danay et al., 2009).

En Bolivia, en los últimos tiempos se ha incrementado la incidencia de *Helminthosporium solani* (Mancha plateada), enfermedad que afecta la calidad de la papa con fines de acceso a mercados más exigentes. Si bien el cultivo de papa puede mantener su productividad en presencia de esta enfermedad, su calidad baja considerablemente porque la piel de los tubérculos muestra manchas con un brillo plateado que se tornan opacos con el transcurrir del tiempo, especialmente en las variedades de piel oscura. Anteriormente no se valoraba esta enfermedad porque los mercados masivos apreciaban la cantidad antes que la calidad del producto. Actualmente esta valoración ha cambiado y los nuevos mercados exigen una mejor presentación. Por estos antecedentes se requiere evaluar el efecto de microorganismos benéficos en la mejora de la productividad y el control de enfermedades de suelo que afectan la calidad de la papa nativa.

## Materiales y Métodos

El estudio se realizó en tres campañas consecutivas (2007 a 2010), en la comunidad de Candelaria del municipio de Colomi, departamento de Cochabamba. Se utilizó la variedad nativa de piel oscura Pinta Boca (*Solanum tuberosum*, ssp *andigena*) por ser la más difundida en la zona. El primer año se compararon tres microorganismos (*Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* y *Trichoderma sp.*) aplicados en diferentes dosis para conocer su efecto como promotores de crecimiento y/o biocontroladores. De estos, para el segundo año se seleccionó al mejor para optimizar su dosis e identificar su mejor formulación (sólido o líquido). El tercer año se repitió el ensayo del segundo año y paralelamente en otro ensayo se evaluó la forma de aplicación del microorganismo seleccionado. En todos los ensayos se utilizó el diseño Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. En el Cuadro 1 se describen los tratamientos utilizados en los ensayos de cada campaña agrícola.

**Cuadro 1.** Tratamientos utilizados por ensayo y por campaña agrícola

2007 – 2008	2008 - 2009	2009 - 2010
Ensayo 1	Ensayo 1	Ensayo 1
T1 = Testigo Tradicional	T1 = Testigo Tradicional	T1 = Testigo Tradicional
T2 = 600 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> y arroz*	T2 = 200 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop** en polvo	T2 = 200 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en polvo
T3 = 1500 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>B. amyloliquefaciens</i> y arroz*	T3 = 600 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en polvo	T3 = 600 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en polvo
T4 = 2400 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>B. amyloliquefaciens</i> y arroz*	T4 = 1000 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en polvo	T4 = 1000 gr·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en polvo
T5 = 600 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>B. subtilis</i> y arroz*	T5 = 500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en líquido	T5 = 500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en líquido
T6 = 1500 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>B. subtilis</i> y arroz*	T6 = 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en líquido	T6 = 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en líquido

T7 = 2400 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>B. subtilis</i> y arroz*	T7 = 2500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en liquido	T7 = 2500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop en liquido
T8 = 600 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>Trichoderma</i> y arroz*		<b>Ensayo 2</b>
T9 = 1500 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>Trichoderma</i> y arroz*		T1 = Sin aplicación de Tricotop
T10 = 2400 gr·ha <sup>-1</sup> del producto formulado en base a <i>Trichoderma</i> y arroz*		T2 = Fumigación de semilla con 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop (= 0,03 cm <sup>3</sup> · semilla)
		T3 = Aplicación al surco de 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop
		T4 = Fumigación de semilla + aplicación al surco de 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop
		T5 = Fumigación de semilla + aplicación al surco + aplicación al aporque de 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop
		T6 = Aplicación a la gallinaza de 1500 cm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> de Tricotop (= 0,22 cm <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> de gallinaza)

\* Producto en prueba, antes de su formulación a nivel comercial

\*\* Producto comercial elaborado en base a *Trichoderma* sp.

El testigo tradicional se refiere a la forma de manejo tradicional del agricultor, es decir sin aplicación de fungicidas de suelo y sin uso de fertilizantes químicos, pero con uso de estiércol de gallina al momento de la siembra en surco abierto y aplicación de insecticidas y fungicidas sintéticos al follaje.

El primer año los microorganismos *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* y *Trichoderma* sp. se encontraban en proceso de formulación por la empresa BIOTOP en base al uso de arroz como material inerte. Para el segundo y tercer año ya se contaba con el producto comercial Tricotop elaborado en base a *Trichoderma* sp. en dos formulaciones (sólido y líquido).

Con el uso de mochilas de aspersión, los productos se aplicaron al momento de la siembra, en surco abierto y sobre la gallinaza. Las variables de evaluación fueron: Cobertura foliar (primer año), altura de planta, número de tallos (segundo y tercer año), incidencia y severidad de la enfermedad *Helminthosporium solani* (Mancha Plateada) y rendimiento.

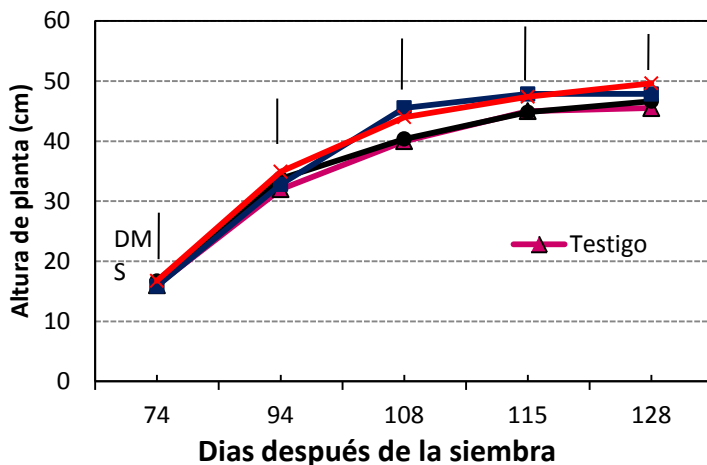
La evaluación de la severidad y la incidencia de la enfermedad se realizó de forma visual, al momento de la cosecha y en cien tubérculos elegidos al azar. La severidad se obtuvo mediante la escala: Baja = menor a 10% de daño; Media = 11 a 25% de daño y Alta = mayor a 26% de daño. La incidencia se determinó en base a la siguiente relación: Incidencia (%) =  $N^{\circ}$  de tubérculos enfermos /  $N^{\circ}$  de tubérculos sanos x 100.

## Resultados y Discusión

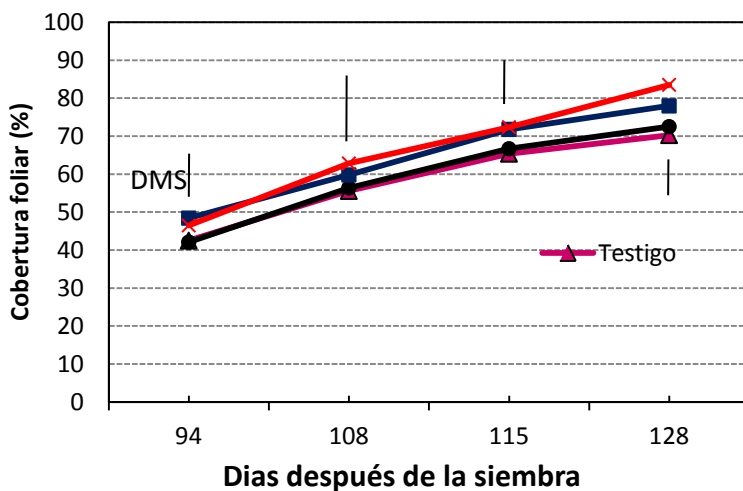
### Primer año

En la altura de planta, el primer año de estudio, no se detectaron diferencias significativas entre las bacterias *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* y el hongo *Trichoderma* (Figura 1). Para la cobertura foliar (Figura 2), *Trichoderma* fue superior estadísticamente ( $p=0.05$ ) en relación al testigo, siendo notorio a partir de los 120 días después de la siembra, que es cuando la planta se encuentra en plena tuberización.

También se determinó que existen diferencias ( $p=0.05$ ) entre los efectos de las bacterias *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* y el hongo *Trichoderma*, en el rendimiento de papa (Figura 3). *Trichoderma* y *B. sibtillis* presentaron un incremento significativo



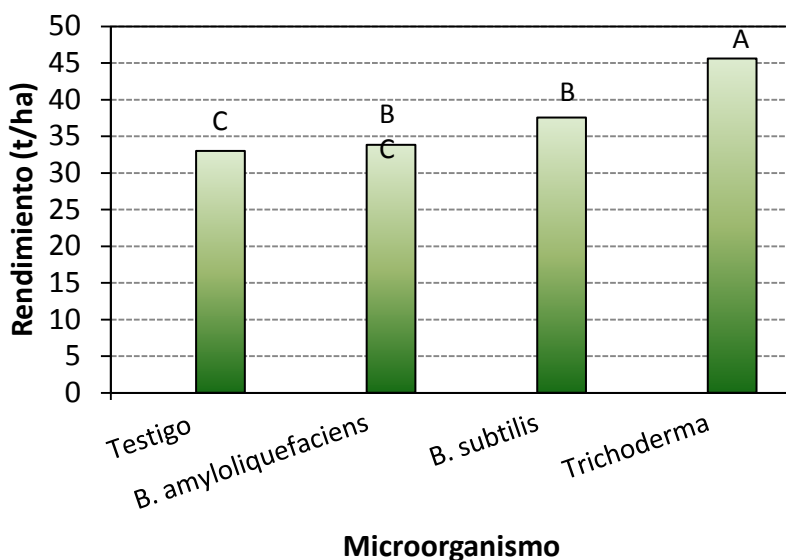
**Figura 1.** Efecto de microorganismos en la altura de planta de la papa nativa (2008 – 2009). DMS = Diferencia mínima significativa



**Figura 2.** Efecto de microorganismos en la cobertura foliar de la papa nativa (2008 – 2009). DMS = Diferencia mínima significativa



del rendimiento en 12 y 4,5 t·ha<sup>-1</sup> mas respecto al testigo, y no así *B. amyloliquefaciens*. Por otra parte, la Figura 4, muestra que existen diferencias ( $p=0.05$ ) entre los microorganismos dentro de cada dosis de aplicación, destacando en todos los casos el hongo *Trichoderma*.



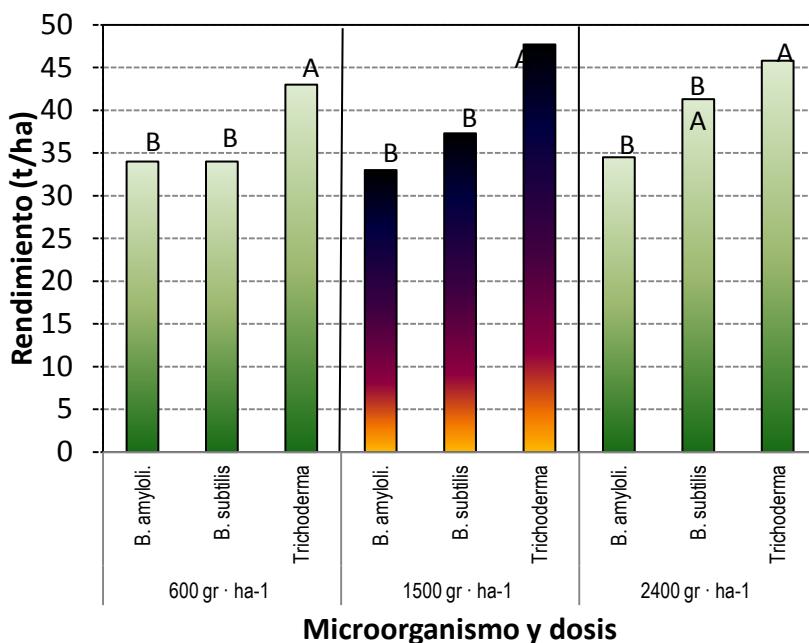
**Figura 3.** Efecto de tres microorganismos en el rendimiento de la papa nativa (2007 – 2008)

De acuerdo a la Figura 5, si bien se observa efecto de las tres bacterias sobre *H. solani*, estadísticamente solo *Trichoderma* en sus dosis de 1500 y 2400 gr·ha<sup>-1</sup>, permitió reducir la incidencia y severidad de esta enfermedad respecto al testigo. En el primer caso la reducción de la incidencia fue del 30% y de la severidad 14%; en el segundo caso la reducción de la incidencia fue del 26% y de la severidad el 13% respecto al testigo.

### Segundo año

Los resultados de altura de planta y número de tallos que se presenta en las Figuras 6 y 7 respectivamente, muestran que *Trichoderma* por segundo año consecutivo no tuvo efecto sobre la altura pero si sobre el número de tallos. La aplicación de

*Trichoderma* por encima de la dosis  $1000 \text{ gr}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $1500 \text{ cm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  en su formulación sólida y líquida respectivamente, permiten incrementar el número de tallos de la papa nativa en un promedio de 0,4 tallos por planta respecto al testigo.



**Figura 4.** Efecto de la dosis de aplicación de tres microorganismos en el rendimiento de la papa nativa (2007 – 2008)

Los resultados del segundo año de estudio (Figura 8), muestran que la aplicación de *Trichoderma* por encima de las dosis  $600 \text{ gr}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $500 \text{ cm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  en su formulación sólida y líquida respectivamente, permiten mejorar el rendimiento del cultivo de papa nativa en un promedio de  $3,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , lo que representa el 19 % más respecto al testigo sin aplicación.

Aparentemente las dosis bajas de *Trichoderma* en sus formulaciones sólida y líquida, tuvieron similar efecto a las dosis altas, aspecto que también se observó en el primer año (Figura 2), donde no se pudo determinar que existan diferencias estadísticas por efecto de las dosis de aplicación de *Trichoderma*.

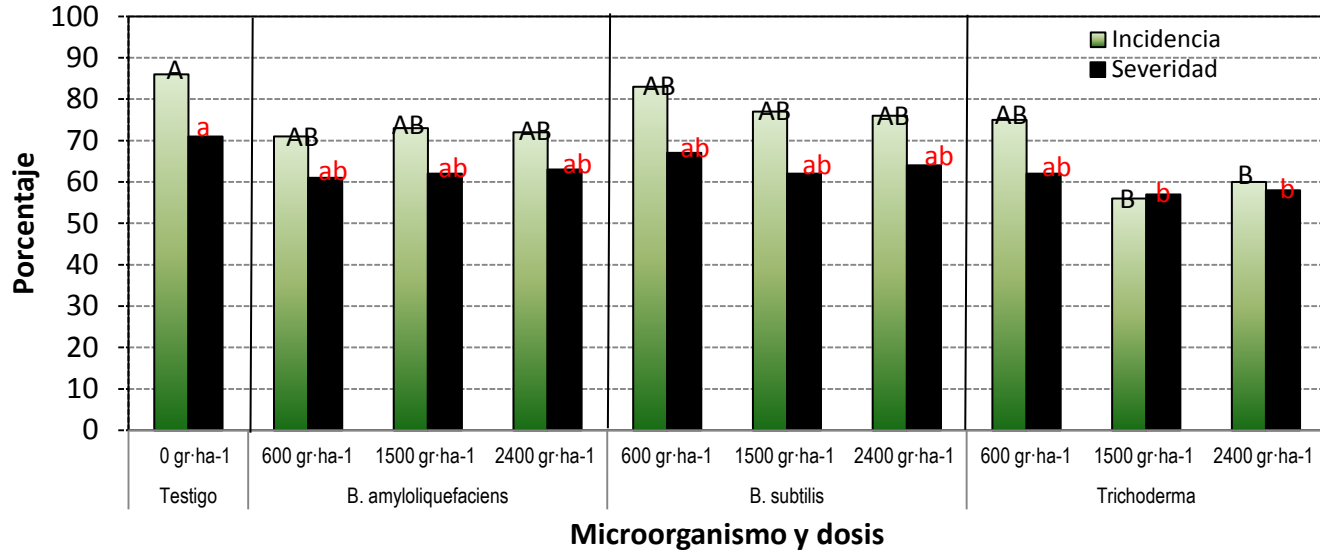
En el segundo año de evaluación se determinó nuevamente que *Trichoderma* tiene efecto biocontrolador sobre *H. solani* (Figura 9). Las dosis por encima de  $1000 \text{ gr}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $500 \text{ cm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  de sus formulaciones sólida y líquida respectivamente, permiten en promedio una reducción de los tubérculos altamente infectados por esta enfermedad (alta severidad), en un 22% respecto al testigo. Las dosis inferiores a  $600 \text{ gr}\cdot\text{ha}^{-1}$  de la formulación sólida de *Trichoderma* no tuvieron efecto significativo sobre el control de *H. solani*.

### **Tercer año**

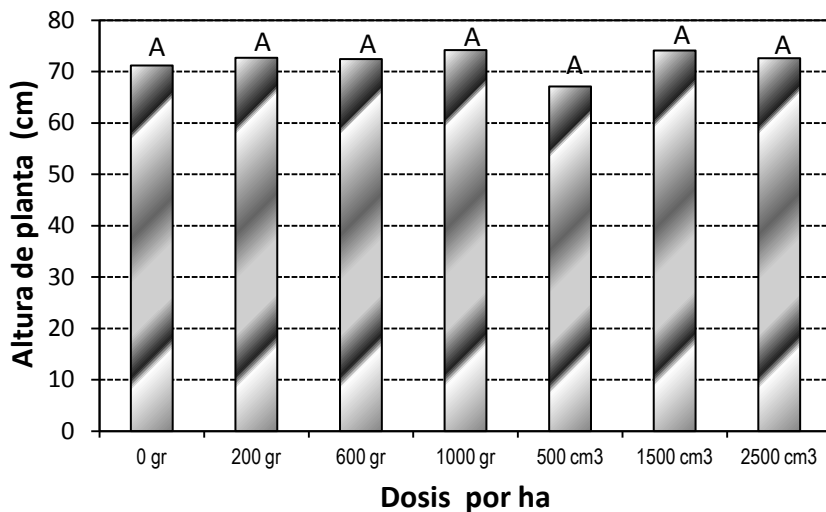
Los resultados de altura de planta y número de tallos en el tercer año de estudio, se presentan en las Figuras 10 y 11 respectivamente, confirman que *Trichoderma* por tercer año consecutivo no tuvo efecto sobre la primera variable pero si sobre el número de tallos. La aplicación de *Trichoderma* por encima de la dosis  $1500 \text{ cm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  en su formulación líquida permite incrementar el número de tallos de la papa nativa en un promedio de 0,7 tallos por planta, respecto al testigo.

En el año tres (Figura 12) se observó que la aplicación de *Trichoderma*, por encima de las dosis  $1000 \text{ gr}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $1500 \text{ cm}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  en su formulación sólida y líquida, respectivamente, permiten mejorar el rendimiento de la papa nativa en un promedio de  $2,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , lo que representa el 17 % más respecto al testigo sin aplicación o como lo hace el agricultor.

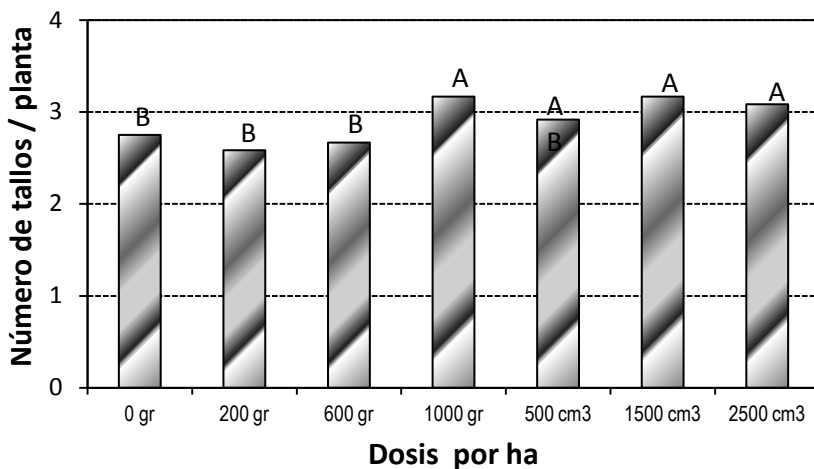
A diferencia de los dos años anteriores, se observó que las dosis bajas de *Trichoderma* en sus formulaciones sólida y líquida, no tuvieron similar efecto a las dosis altas. Este comportamiento se puede deber a la diferencia entre los suelos de los ensayos en cuanto a contenido de materia orgánica y pH.



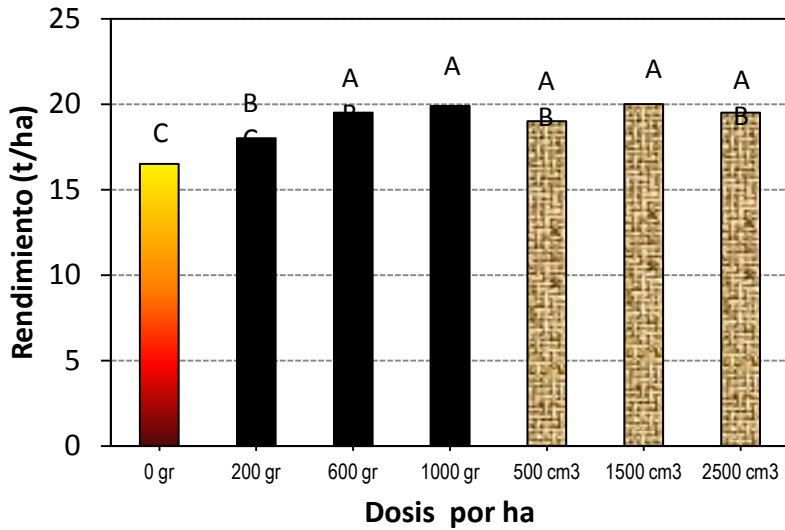
**Figura 5.** Efecto de microorganismos y dosis en la incidencia y severidad de *Helminthosporium solani*



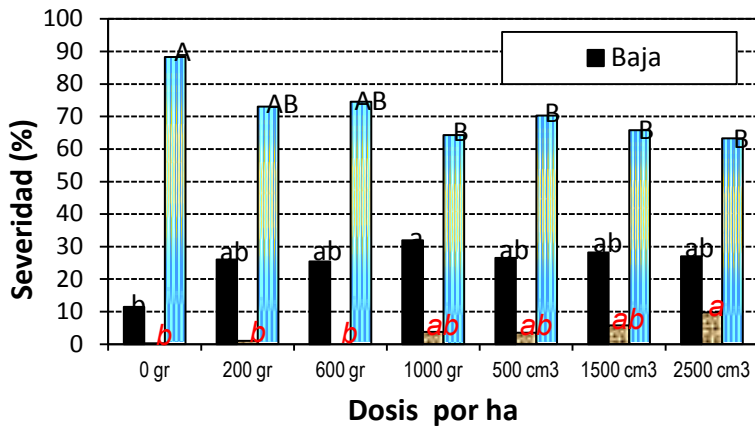
**Figura 6.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en la altura de planta de la papa nativa. 2008 – 2009



**Figura 7.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en el número de tallos de la papa nativa. 2008 – 2009

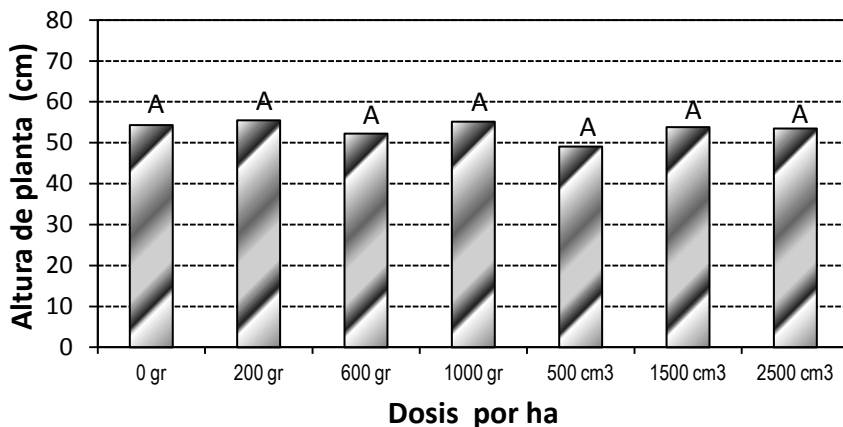


**Figura 8.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en el rendimiento de la papa nativa. 2008 – 2009

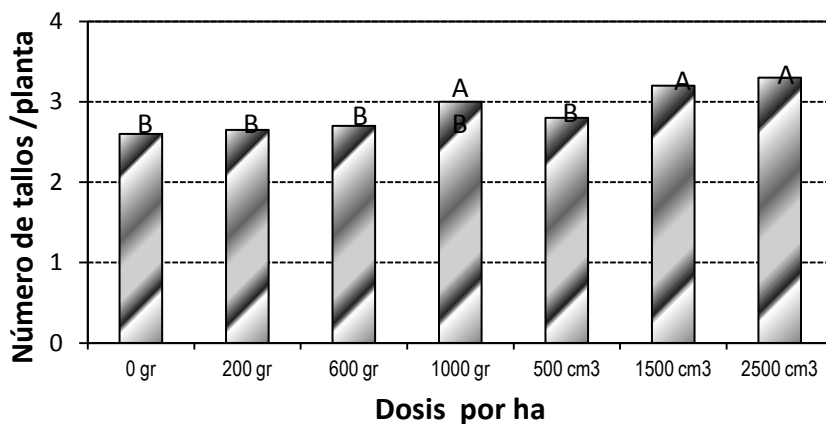


**Figura 9.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en la severidad de la enfermedad *Helminthosporium solani*. 2008 – 2009

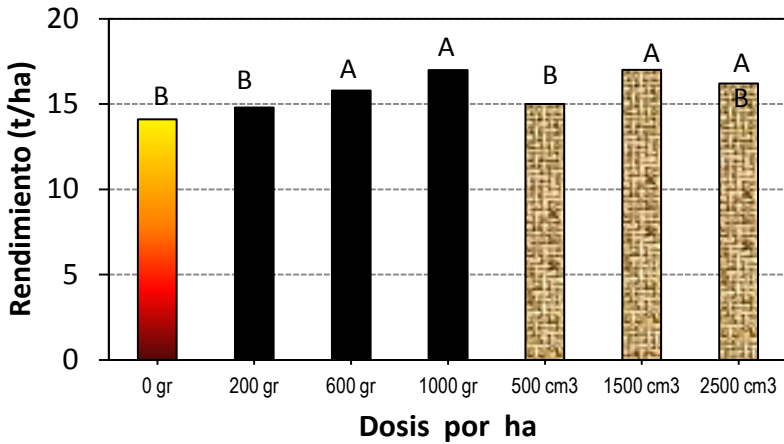
A diferencia de las campañas anteriores, el tercer año, el efecto de *Trichoderma* sobre el control de la enfermedad *H. solani* fue menos significativa, pero en promedio los tratamientos con este microorganismo permitieron un incremento de papas sanas o con baja infestación de *H. solani*, de un 10 % respecto al testigo sin aplicación (Figura 13).



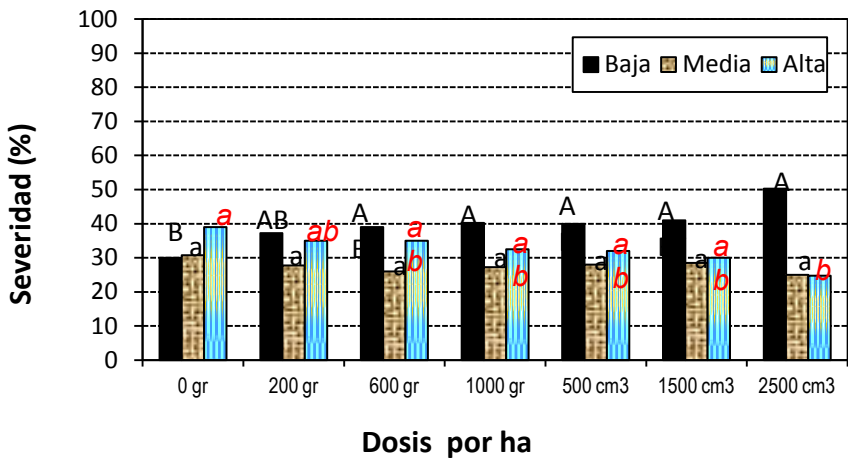
**Figura 10.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en la altura de planta de la papa nativa. 2009 – 2010



**Figura 11.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en el número de tallos de la papa nativa. 2009 – 2010



**Figura 12.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en el rendimiento de la papa nativa. 2009 – 2010



**Figura 13.** Efecto de *Trichoderma* (formulación sólida y líquida), en la severidad de la enfermedad *H. solani*. 2009 – 2010

En general no se aprecia que existan diferencias estadísticas entre las dosis, salvo con los 2500 cm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de la formulación



líquida que permite un incremento de las papas con baja infestación de *H. solani* en cerca del 10% respecto al testigo.

Los resultados de tres años de evaluación permiten afirmar que *Trichoderma* tuvo un efecto biocontrolador parcial sobre *H. solani* como patógeno de la papa nativa. Este efecto parcial que redujo la severidad de la enfermedad entre 10 a 22%, si bien no es expectable en la mejora de la apariencia de la papa nativa con fines comerciales, muestra a esta alternativa biológica como una opción para la construcción de una estrategia MIP de esta enfermedad. Sobre los mecanismos de biocontrol de *Trichoderma*, Verna *et al.*, 2007 destacan su acción directa frente al hongo fitopatógeno por competencia (espacio y nutrientes), por micoparasitismo, por antibiosis y por inducción de resistencia en las plantas. Otros autores sugieren que estos mecanismos se ven favorecidos por la habilidad de *Trichoderma* para colonizar la rizósfera de las plantas (Vinale *et al.*, 2008).

Según Vinale *et al.*, (2008), para lograr una competencia efectiva de *Trichoderma*, es necesario que colonice el sustrato antes o al mismo tiempo que el patógeno. La competencia a nivel del sistema radicular se produce por las secreciones de importantes cantidades de nutrientes de las raíces. *Trichoderma* desarrolla lo que se denomina “nicho ecológico”, es decir ocupa el sitio físico, se alimenta y reproduce en el mismo lugar, por lo que es muy difícil que otro hongo pueda colonizar la misma porción de suelo.

El micoparasitismo es el principal mecanismo de *Trichoderma*, que consiste en el desarrollo alrededor del patógeno y cerca de la superficie del hospedero (rizósfera), de estructuras similares a ganchos o apresorios que le permiten penetrar al interior del patógeno y por acción de enzimas líticas (quitinasa y  $\beta$ -1,3-glucanasa) degradar su pared celular (Berg, 2009).

La antibiosis de *Trichoderma* (actividad antibiótica) se refiere a la secreción de sustancias antibióticas o metabolitos que inhiben la actividad parasítica de los patógenos. Estos metabolitos son volátiles y no volátiles, del tipo antibióticos como viridín, trichodermin, glioviridin, gliotoxin y harzaniolide.

De todas estas micotoxinas la más representativa es Trichodermin que actuaría inhibiendo la actividad ribosomal de los patógenos, por lo tanto su reproducción (Markovich y Kononova, 2003).

La inducción de resistencia se refiere a que *Trichoderma* induce a la activación de los mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos en la planta plantas (Harman, 2003). Al respecto, Yedidia *et al*, 2003 demostraron que raíces de cucurbitáceas inoculadas con *T. harzianum*, presentan una respuesta defensiva tanto en las raíces como en las hojas. Demostraron que las hifas del hongo biocontrolador penetran la epidermis y corteza superior de la raíz de la planta y esta responde con una marcada actividad de la enzima peroxidasa frecuentemente asociada con la producción de fungitoxinas, un incremento en la actividad quitinasa y la deposición de celulosa en la superficie interna de la pared celular. Se ha comparado esta relación a la que existe entre vegetales y micorrizas.

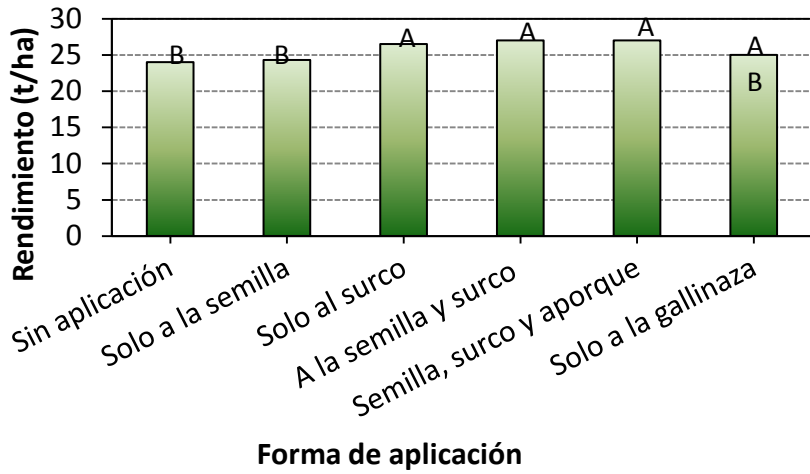
Se han identificado tres tipos de compuesto producidos por cepas de *Trichoderma* que son responsables de inducir resistencia en las plantas, entre ellas se encuentran: proteínas con función enzimática, homólogos de proteínas, oligosacaridos y otros compuestos de bajo peso molecular, que son liberados desde el hongo o pared celular de la planta por la actividad de enzimas de *Trichoderma* ((Harman *et al.*, 1998). Resultados similares fueron observados cuando se uso *Trichoderma harzianum* para reducir la severidad de enfermedades, existiendo reportes en maíz (Blanchard y Bjorkman, 1996), tabaco, zapallo (Kleifeld y Chet, 1992) y cebolla (Medrano y Ortuño, 2009).

En relación al efecto de *Trichoderma* sobre el rendimiento de papa nativa, este fue favorable ya que permitió su incrementó respecto al testigo en porcentajes que variaron de 38% el primer año, 18,6% el segundo año y 20,5% el tercero año. Las variables de cultivo que también se incrementaron por efecto de este hongo fueron la cobertura foliar (primer año) y el número de tallos (segundo y tercer año). Probablemente el incremento del número de tallos generó una mayor cobertura foliar y este a

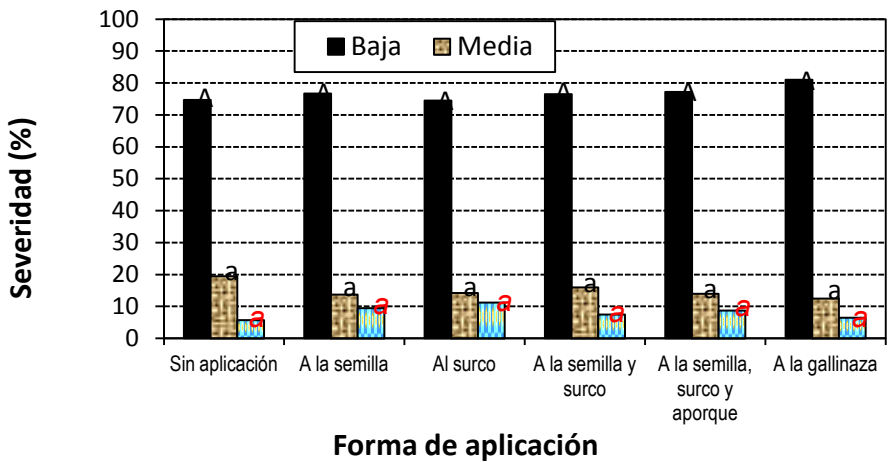
su vez incrementó la capacidad fotosintética del cultivo, especialmente cuando este se encontraba en plena tuberización. El incremento del número de tallos que posteriormente repercutió en el aumento del rendimiento, puede estar asociado a mecanismos biorreguladores que pudo haber usado *Trichoderma*, tal como la emisión de vitaminas y enzimas que hacen que la raíz se alimente mejor promoviendo un mejor desarrollo en la planta (Donoso *et al.*, 2008), la búsqueda natural de *Trichoderma* de nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos (manganeso, hierro y zinc) del suelo (Cervantes, 2010), la mejora de la estructura del suelo debido a la proliferación del micelio del hongo y la liberación de ácidos orgánicos que secuestran cationes y acidifican el microambiente alrededor de las raíces (Altomare *et al.*, 1999).

En relación a la forma de aplicación de *Trichoderma*, la Figura 14 permite ver que su aplicación al surco (al momento de la siembra) es más importante que su aplicación solo a la semilla ya que este último no tiene efecto en el rendimiento. La aplicación combinada de *Trichoderma* a la semilla y surco y su aplicación combinada a la semilla, surco y aporte no se diferencia estadísticamente de solo su aplicación al surco, lo que muestra nuevamente que esta forma de aplicación (al surco) es más importante. La aplicación de *Trichoderma* a la gallinaza antes de la siembra, también puede constituirse en una opción.

En el ensayo de formas de aplicación, el efecto de *Trichoderma* sobre *H. solani* no fue tan evidente como en anteriores ensayos debido probablemente a que el suelo no estaba muy infestado de esta enfermedad. Esto se explica porque las parcelas sin aplicación de *Trichoderma* (testigo) permitieron un alto porcentaje de tubérculos con baja infestación de *H. solani* (Figura 15).



**Figura 14.** Efecto de la forma de aplicación del *Trichoderma*, en el rendimiento de la papa nativa. 2009 – 2010



**Figura 15.** Efecto de la forma de aplicación de *Trichoderma*, en la severidad de la enfermedad *H. solani*. 2009 – 2010

## Conclusiones

El primer año de estudio no se observó un efecto claro de las bacterias *B. amyloliquefaciens* y *B. subtilis* sobre el control de *Helminthosporium solani* como patógeno de la papa nativa y tampoco sobre el rendimiento de este cultivo.

Los resultados de tres años de evaluación permiten afirmar que *Trichoderma* tuvo un efecto biocontrolador parcial sobre *H. solani*. Este efecto parcial que redujo la severidad de la enfermedad entre 10 a 22%, si bien no es expectable en la mejora de la apariencia de la papa nativa con fines comerciales, muestra a esta alternativa biológica como una opción para la construcción de una estrategia MIP para esta enfermedad.

El efecto favorable de *Trichoderma* sobre el rendimiento de papa nativa está relacionado al incremento del número de tallos y de la cobertura foliar los cuales pueden estar asociados a factores mencionados por otros autores como: la emisión de vitaminas y enzimas por *Trichoderma* que hacen que la raíz se alimente mejor, la búsqueda natural de *Trichoderma* de nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos del suelo, la mejorara de la estructura del suelo debido a la proliferación del micelio del hongo y la liberación de ácidos orgánicos que secuestran cationes y acidifican el microambiente alrededor de las raíces.

La aplicación de *Trichoderma* al momento de la siembra de papa en surco abierto y sobre la gallinaza tiene un mayor efecto en el rendimiento que su aplicación sólo a la gallinaza o solo a la semilla.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo incondicional en campo de la Ing. Agr. Marisabel Parra y la Tec. Agr. Eloina Chávez. También agradecen a la PLACIIT (Plataforma de Concertación Interinstitucional e Innovación Tecnológica de Colomi) y al CDC PIC (Consejo Departamental de Competitividad y el Programa

de Innovación Continua de COSUDE) por el apoyo social y económico respectivamente, para la ejecución del presente trabajo de investigación y a FONTAGRO-Bioinsumos por haber proporcionado los microorganismos y su manejo.

### Literatura Citada

Altomare, C.; W. Norvell,; T. Bjorkman,; G. Harman. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai strain 1295-22. *Applied Environmental Microbiology* 65: 2926-2933.

Berg, G. 2009. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agricultura. *Appl. Microbiol Biotechnol.* 84:11-18.

Blanchard, L.; T. Bjorkman. 1996. The role of auxin in enhanced root growth of *Trichoderma-colonized* sweet corn. *HortScience* 31: 688 - 700

Cervantes, M. Á. 2010. Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos.  
[http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos\\_beneficiosos\\_cultivos.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm). Accedido el 29 de septiembre 2010.

Danay, I.; B. Martínez,; N. Y. Gonzále,; Y. Reyes, 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Rev. Protección Veg.* v.24 n.1. La Habana.

Donoso E.; G. Lobos; G. N. Rojas. 2008. Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque* 29(1): 52-57.

Harman, G.; C. Kubicek. 1998. *Trichoderma* and *Gliocladium*. Vol. 2. Enzymes, biological control and commercial applications. London, England. Taylor and Francis. 393 p.

Harman, G. 2003. *Trichoderma harzianum*, *T. viridis*, *T. koningii*, *T. hamatum* (Deuteromycetes: Moniliales).  
<http://www.ibun.unal.edu.co/r2r7e.html> Accedido el 29 de septiembre del 2010

Harman, G. 2004. Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derive from research on *Trichoderma harzianum* T22. *Plant Dis* ;84:377-393.

Kleifeld, O.; I. Chet. 1992. *Trichoderma harzianum* - interactions with plants and effect on growth response. *Plant and Soil* 144: 267-272.

Markovich, N. A.; G. L. Kononova. 2003. Lytic Enzymes of *Trichoderma* and Their Role in Plant Defense from Fungal Diseases: A Review. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 39-4: 341–351.

Medrano A. M.; N. Ortuño. 2007. Control de Damping Off mediante la aplicación de bioinsumos en almácigos de cebolla en Valle Alto de Cochabamba. *Revista ACTA NOVA. Revista de Ciencia y Tecnología. Universidad Católica de Bolivia*. 3-4: 60-79.

Ortuño, N.; O. Navia; A. Medrano, K. Rojas; L. Torrico. 2010. Desarrollo de bioinsumos: Un aporte a la soberanía alimentaria de Bolivia. Cochabamba-Bolivia, *Revista de Agricultura*: 62 (47): 30-38.

PROINPA. 2009. Informe Anual. Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia p irr.

Rojas, K.; N. Ortuño. 2007. Introducción y evaluación de micorrizas arbusculares como biofertilizante en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba-Bolivia . *Revista ACTA NOVA*. 4(12):31-37.

Yedidia, I.; M. Shores,; Z. Kerem,; N. Benhamou,; Y. Kapulnik,; I. Chet. 2003. Concomitant induction of systemic resistance to *Pseudomonas syringae* pv. lachrymans in cucumber by *Trichoderma asperellum* (T-203) and accumulation of Phytoalexins. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 7343-7353.

Verna, M.; S. Brar,; R. Tyagui,; R. Surampaly,; J.R.Valero. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma*. Panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*. 37:1-10.

Vinale, F.; K. Sibasithamparan,; E. Guisalverti. 2008. *Trichoderma*-Plan-Patogen interaction. *Soil Biology y Biochemistry*. 40:1-10.

Zeballos, H.; F. Balderrama,; B. Condori,; J. Blajos. 2009. Economía de la papa en Bolivia(1998 – 2007). Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 129 p.