

## MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN EL CONTROL DE ENFERMEDADES EN JENGIBRE

Marena Chavarría<sup>1/</sup>\*, Lidieth Uribe\*, Andrea Bolaños\*

**Palabras clave:** antagonismo, *Trichoderma*, *Bacillus*, *Streptomyces*, microbiología de suelos, biocontroladores.

**Keywords:** antagonism, *Trichoderma*, *Bacillus*, *Streptomyces*, soil microbiology, biocontrol.

Recibido: 30/09/05

Aceptado: 25/04/06

### RESUMEN

En Peñas Blanca, San Ramón de Alajuela, se evaluó la acción supresora de las cepas de *Trichoderma viride* 2C-PR, *Bacillus subtilis* 002R y *Streptomyces griseus* 001, en el combate de *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Pseudomonas* sp y *Erwinia carotovora*, en plantas de jengibre, en comparación con fungicidas y bactericidas usados por el agricultor. Las aplicaciones se realizaron cada 15 días durante un periodo de 9 meses y cada semana cuando se presentó algún foco de infección. La duración del trabajo fue de 11 meses (febrero-diciembre). Se evaluó la sobrevivencia de los patógenos y los biocontroladores, para lo cual se realizaron análisis microbiológicos a los 4 y 9 meses de edad de cultivo; se evaluó además producción. En términos generales, se observó una tendencia a la disminución del inóculo de los patógenos en el tratamiento biológico, en comparación con el tratamiento químico en ambos muestreos, a excepción de *F. solani* en el primer muestreo. Al final del ensayo se pudo determinar la presencia de la cepa de *Trichoderma* con poblaciones de  $4,5 \times 10^8$  conidios  $g^{-1}$ , *Bacillus* con  $6,1 \times 10^{10}$  UFC  $ml^{-1}$  y *Streptomyces* fue la cepa que menos persistió en el campo, con una población  $2 \times 10^1$   $ml^{-1}$ .

### ABSTRACT

**Application of beneficial microorganisms on the control of ginger diseases.** The suppressing action of *Trichoderma viride* 2C-PR, *Bacillus subtilis* 002R, and *Streptomyces griseus* 001 against *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Pseudomonas* sp., and *Erwinia carotovora* affecting ginger was tested, in comparison with the fungicides and bactericides used by farmers. At Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela, the application of the biological and chemical products were carried out every 15 days for 9 months, and weekly when there was any focus of infection. The experiment was conducted during 11 months (February-December), survival of pathogens and biocontrol agents were evaluated by microbiological analyses when the crop was 4 and 9 months old; production was also evaluated. In general, pathogens lowest number was observed at the biological treatment in comparison with the chemical one in both sampling dates, with the exception of *F. solani* during the first sampling. At the end of the experiment, the presence on the ground of *Trichoderma* was  $4.5 \times 10^8$  conidia  $g^{-1}$ , *Bacillus*  $6.1 \times 10^{10}$  UFC  $ml^{-1}$ , and *Streptomyces*  $2 \times 10^1$   $g^{-1}$ . The species with the lowest population was *Streptomyces*. The biological treatment

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: marenach@cariari.ucr.ac.cr

\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

El tratamiento con los biocontroladores presentó una producción significativamente mayor (82000 kg ha<sup>-1</sup>) que el tratamiento químico (48000 kg ha<sup>-1</sup>). Estos resultados demuestran que los biocontroladores son una alternativa de control contra los patógenos *F. solani*, *R. solani*, *Pseudomonas* sp., *E. carotovora*.

## INTRODUCCIÓN

El jengibre (*Zingiber officinale*) es una planta de gran valor comercial cuyo tamaño oscila entre 50 y 100 cm de alto. La porción comercial es el rizoma subterráneo con sus proyecciones en forma de dedos, el cual es conocido en el comercio como raíz de jengibre. Este cultivo requiere un clima tropical o subtropical con temperaturas de 25-30°C y un régimen de precipitación superior a 2000 mm anuales, distribuidos durante todo el año, ya que no soporta épocas secas. Para el cultivo del jengibre se necesita suelos aluviales, sueltos, con alto contenido de materia orgánica (MO), de fácil labranza y con un buen drenaje. La fertilidad del suelo no es una limitante para el cultivo, ya que suelos poco fértiles pueden ser utilizados con un programa de fertilización adecuado (MAG 1991).

En Costa Rica, la zona norte es la principal productora de jengibre, sembrándose en menor escala en el cantón de La Cruz de Guanacaste, el Caribe y la zona Sur, con rendimientos promedio de 8-10 t ha<sup>-1</sup> (Alvarado 2002).

En los últimos años, los productores de jengibre han reducido el área de siembra, ya que este se ha visto afectado por un complejo de enfermedades similar al que ataca el tiquisque (*Xanthosoma* ssp) llamado "Mal seco", el cual es una mezcla de bacterias y hongos, entre los cuales se encuentran *Pseudomonas* sp, *Erwinia solani*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* y *Pythium* sp; el área de siembra del tiquisque se ha visto reducida hasta en un 75% y en muchos distritos las siembras se han eliminado (MAG 1994). En el caso del jengibre, se ve afectado por diferentes patógenos; entre ellos, la marchitez bacteriana

showed a significantly higher production (82000 kg ha<sup>-1</sup>) compared to the chemical one (48000 kg ha<sup>-1</sup>). These results demonstrate that biocontrol agents are an alternative against *F. solani*, *R. solani*, *Pseudomonas* sp., and *E. carotovora* affecting ginger crop.

causada por *Ralstonia solanacearum*, que es una enfermedad común de solanáceas en los trópicos y subtropicos. Esta bacteria es responsable de grandes perdidas económicas en berenjena, tomate, chile, maní y jengibre (Nayar y Mathew 1982). Nishijima *et al.* (2004), encontraron *Enterobacter cloacae* y *R. solanacearum* afectando rizomas de jengibre en Hawai. Por otro lado, Wang y Chang (2003) señalan a la pudrición suave del jengibre, causada por *Pythium myriotylum*, como una de las enfermedades mas devastadoras de este cultivo. Midmore *et al.* (2005), citan como las enfermedades más importantes del jengibre en Australia, la marchitez bacteriana, la pudrición del rizoma causada por *Fusarium*, la pudrición suave causada por *Erwinia* y la incidencia de *Pythium*.

En Costa Rica, en este momento, tanto los terrenos como la semilla de jengibre se encuentran contaminados con patógenos, siendo la semilla de muy mala calidad (V. Ramírez, Asociación de desarrollo agrícola de Chachagua. Comunicación personal. 2005).

La creciente necesidad de reducir el uso de agroquímicos para el control fitosanitario de los cultivos, hace necesario desarrollar tecnologías que permitan el combate de plagas y enfermedades de forma fácil, económica y efectiva. Entre las alternativas al uso de plaguicidas existen técnicas de control, enmarcadas en los objetivos de la agricultura sostenible, como es el uso de hongos y bacterias antagonistas.

El objetivo del presente ensayo fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre el control de enfermedades y la producción de jengibre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la finca de un productor en Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela, con una precipitación anual aproximada de 3100 mm, una temperatura promedio de 24°C, y clasificándose como una zona de vida tropical húmeda (Holdridge 1978).

Tradicionalmente la finca ha sido sembrada con ñampí, yuca, papa china o jengibre. Presenta un historial de incidencia de patógenos, entre los que se encuentra el complejo conocido como “Mal seco”. Antes de la preparación del terreno, se tomó una muestra compuesta de 25 submuestras a una profundidad de 20 cm. Las muestras se trasladaron al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica para hacer un análisis microbiológico, utilizando la técnica de dilución en plato (CIAT 1987) y un análisis químico (Henríquez *et al.* 1998) (Cuadro 1).

### Preparación del terreno

El terreno se aró y alomilló a una altura aproximada de 60 cm, con el fin de mejorar el drenaje y disminuir el salpique de agua a la planta. Quince días antes de la siembra se aplicó al voleo 1 t ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio y magnesio para ambos tratamientos.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo (20 cm) donde se llevó a cabo el trabajo. Peñas Blancas, Alajuela.

Descripción	Unidad	Valor
pH		4,59
Calcio	cmol (+) l <sup>-1</sup>	5,12
Magnesio	cmol (+) l <sup>-1</sup>	0,8
Potasio	cmol (+) l <sup>-1</sup>	0,54
Fósforo	mg l <sup>-1</sup>	12,6
Cobre	mg l <sup>-1</sup>	14,2
Hierro	mg l <sup>-1</sup>	140
Manganeso	mg l <sup>-1</sup>	8,5
Zinc	mg l <sup>-1</sup>	3,9

### Semilla

Se trabajó con la semilla utilizada por el agricultor, variedad Gran Caimán consistente en rizomas que tuvieran de 3-4 yemas. Debido al mal tiempo imperante en la época de siembra, se utilizaron rizomas que fueron cosechados el mismo día de la siembra, generalmente la semilla para la siguiente siembra es cosechada y almacenada por lo menos 1 mes, con el fin de que inicie la brotación, lo que facilita su desarrollo en el campo. Los rizomas utilizados presentaban un alto porcentaje de humedad y un 25% de daño por enfermedades, lo que se determinó por medio de un análisis microbiológico.

### Siembra

La distancia de siembra fue 1,25 m entre hileras y 0,50 m entre plantas. El área del ensayo comprendió 1500 m<sup>2</sup>.

### Tratamientos

Se utilizaron 2 tratamientos, el químico utilizado por el agricultor y un tratamiento biológico.

La semilla utilizada en el tratamiento químico se desinfectó utilizando una solución de 5 g l<sup>-1</sup> de Captan y 2 g l<sup>-1</sup> de Estreptomina. La semilla se colocó en la suspensión por 10 min y se dejó secar a temperatura ambiente.

Durante todo el ciclo del cultivo se realizaron aplicaciones, cada 15 días, según el tratamiento correspondiente. En el caso del tratamiento químico se hizo aplicaciones preventivas de fungicidas y bactericidas, las cuales fueron suspendidas 2 meses antes de la cosecha. Los productos utilizados fueron: Captan; Estreptomina; y Sulfato de cobre. Sin embargo, a partir de los 3 meses se realizaron aplicaciones cada semana, durante 30 días debido a la presencia de algunos focos de infección causados por bacterias.

La semilla en el tratamiento biológico no fue tratada con químicos, sino que se le

realizó una inmersión en 100 l de agua, en donde se adiciono 1 galón de *Trichoderma viride* 2C-PR más 1 galón de *Bacillus subtilis* 002R, dejando la semilla allí durante 15 min, para luego dejarla secar a la sombra por 1 h, transcurrido ese tiempo se procedió a la siembra. A nivel de campo se hacían aplicaciones cada 15 días de *T. viride* 2C-PR, *B. subtilis* 002R y *Streptomyces griseus* 001, como se mencionó anteriormente, hasta que el cultivo tuvo 7 meses. Estos productos, al igual que los químicos, también fueron suspendidos 2 meses antes de la cosecha. Las cepas de los microorganismos utilizadas en este trabajo son nativas de nuestros suelos y pertenecen a la colección del Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

Las aplicaciones se llevaron a cabo siempre de 7-8 a.m. Todos los productos biológicos fueron aplicados con adherente natural a base de almidón de yuca, con la finalidad que los microorganismos adicionados se puedan mantener el tiempo máximo posible en el follaje y en el suelo, además de evitar la desecación de los mismos. A los 4 y 9 meses se realizó un recuento microbiológico en el suelo, con el fin de determinar la sobrevivencia de los antagonistas aplicados.

En el Laboratorio, las bacterias se multiplicaron en caldo nutritivo, el cual fue inoculado y puesto en agitación a una temperatura de 28°C por 2 días hasta lograr obtener un producto final con una concentración de  $1,2 \times 10^{12}$  UFC ml<sup>-1</sup>. El inóculo de *Trichoderma* consistió en una suspensión de conidios, obtenida a partir de arroz colonizado por dicho hongo, con una concentración de  $2,3 \times 10^{10}$  conidios g<sup>-1</sup>.

En el transcurso del experimento se presentó una enfermedad que afectó tanto el tratamiento químico como el biológico, en el tratamiento biológico el control de la enfermedad se realizó con una aplicación semanal de *B. subtilis* cepa 002 R ( $\pm 2,0 \times 10^{12}$  UFC ml<sup>-1</sup>), por un periodo de 30 días. En el tratamiento químico se realizaron aplicaciones con Captan

y Sulfato de cobre alternándolos semanalmente, por un periodo de 30 días.

Otra de las enfermedades que se presentó en la ejecución del trabajo fue la causada por *Fusarium solani*, para lo cual se aplicó *T. viride* 2C-PR y *B. subtilis* cepa 002 R en el tratamiento biológico; en el tratamiento químico se realizaron aplicaciones con Captan en una dosis de 240 g 100 l<sup>-1</sup> de agua, aplicaciones que se hicieron cada semana y por 30 días, para ambos tratamientos.

A nivel de laboratorio se realizaron las pruebas preliminares de antagonismo, colocando los diferentes patógenos con los microorganismos considerados como benéficos a crecer juntos en platos petri que contenían medio PDA (Klement 1990) eligiendo por lo tanto aquellos que tenían mayor efecto de inhibición contra diferentes patógenos.

### Fertilización de los tratamientos

En el tratamiento biológico se aplicó la mitad de la dosis recomendada (Bertsch 2003), la cual fue 100 kg ha<sup>-1</sup> de 10-30-10 y 75 kg ha<sup>-1</sup> de Nutrán 60 días después de la brotación, a los 135 días 50 kg ha<sup>-1</sup> de Nutrán y 75 kg ha<sup>-1</sup> de 18-5-15-6-2 a los 200 días. Por hueco se adicionó también 300 g de abono orgánico, luego se colocó la semilla y sobre ella se realizó un drenado del inóculo a base de los microorganismos benéficos. En el tratamiento químico se utilizó la dosis completa.

### Combate de malezas

El combate de malezas se hizo por medio de chapeas, en ambos tratamientos, se realizaron también 3 aporcadas durante todo el ciclo.

### Evaluaciones

- Producción
- Determinación de la sobrevivencia de los patógenos *F. solani*, *R. solani*, *Erwinia carotovora* y *Pseudomonas* sp, al igual que los antagonistas, *T. viride* 2C-PR, *B.*

*subtilis* 002R y *S. griseus* 001, a los 4 y 9 meses posteriores a la siembra.

Los datos de producción se analizaron con una prueba "T" student debido a que el ensayo estuvo ubicado en parcelas comparativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el inicio del ensayo se presentaron problemas con los patógenos *F. solani*, *R. solani*, *Pseudomonas* sp. y *E. carotovora*, debido a la calidad de la semilla y a las altas poblaciones de estos patógenos presentes en el suelo durante el ciclo del cultivo (Cuadro 2). El problema de la semilla utilizada para la siembra no es exclusivo de nuestro país, Stirling (2004) en estudios realizados en Australia encontró *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi* en los rizomas utilizados para la siembra. El patógeno fue también aislado a partir de material tratado con fungicida y de material nuevo utilizado como semilla. Además, el autor aisló la bacteria causante de la pudrición suave *Erwinia chrysanthemi* a partir de semilla con pudrición suave, pero generalmente asociada a *Fusarium*. Por otro lado, Wang y Chang (2003) indican, en el caso de la pudrición suave del jengibre, que por ser su agente causal *P. myriotylum*, un patógeno de varios cultivos, un campo en el que no se ha sembrado jengibre previamente no necesariamente se encuentra libre del mismo.

Otra dificultad que se presentó con la semilla, fue la duración de 60 días para emerger, eso debido a las condiciones en que fue necesario sembrar los

rizomas (alto porcentaje de humedad y recién cosechados), que se reflejó en un atraso en la cosecha del cultivo. Previo a la siembra, la semilla debe de pasar por las siguientes etapas: cosecha, almacenamiento en un lugar seco y fresco por un período de al menos 30 días, selección con el fin de elegir semilla que posea de 3 a 4 brotes y de eliminar la semilla que a simple vista se vea enferma, y curado para bajar las poblaciones de cualquier patógeno presente. Muchas bacterias pueden permanecer en las semillas y sobrevivir en ellas hasta la próxima siembra, siendo en muchos casos la principal fuente de inóculo en el caso de bacterias foliares; además de la presencia de bacterias que sobreviven en el material vegetativo (Arauz 1998).

Muchas de las plantas al brotar se vieron afectadas por las altas temperaturas y la alta humedad, condiciones adecuadas para un aumento en el inóculo tanto en la semilla como en el suelo. Arauz (1998), menciona que uno de los efectos más destructivos para el cultivo son las altas temperaturas, las cuales provocan un calentamiento de la superficie del suelo, causando daños en la epidermis de las plantas a nivel del suelo, las que sufren estrangulación y muerte. En algunos casos las plantas no mueren pero quedan sumamente débiles o presentan algún daño que favorece la penetración de los patógenos.

El porcentaje de brotación fue mayor en aquellos rizomas en donde se aplicó la mezcla de microorganismos con características supresoras, que en el tratamiento químico, en donde el porcentaje de brotación del biológico fue de un 90% contra un 70% del químico, lo cual se determinó

Cuadro 2. Recuento e identificación de hongos y bacterias en la semilla y suelo.

Muestra	# de hongos	# de bacterias
Semilla	$6 \times 10^3$ <i>Fusarium solani</i> .	$1,2 \times 10^9$ <i>Erwinia carotovora</i> $1,4 \times 10^{10}$ <i>Pseudomonas</i> sp
Suelo	$3,2 \times 10^8$ <i>Fusarium solani</i> , $1,7 \times 10^5$ <i>Rhizoctonia</i> sp, $5 \times 10^3$ <i>Penicillium</i> sp,	$1,6 \times 10^7$ <i>Pseudomonas</i> sp $2,3 \times 10^{10}$ <i>Erwinia carotovora</i>

realizando un conteo de plantas brotadas en un área de 100 m<sup>2</sup> por tratamiento. Esa diferencia se atribuye a la aplicación periódica de microorganismos antagonistas, los que favorecieron el establecimiento de una alta población de microorganismos benéficos alrededor del rizoma, y por lo tanto la competencia por espacio contra los patógenos presentes en el suelo. Otro factor que pudo favorecer el establecimiento de los antagonistas, fue la aplicación de abono orgánico debajo de la semilla, el abono no sólo sirvió de acarreador de bacterias y hongos benéficos sino que pudo proporcionar un ambiente adecuado para los microorganismos inoculados. Los abonos orgánicos maduros son colonizados con gran facilidad por la microflora antagonista (Arauz 1998).

Varias plantas se vieron afectadas, en ambos tratamientos, por un marchitamiento en el follaje

que llevo a la muerte de casi todas las plantas afectadas, en especial en el tratamiento convencional, a pesar de aplicaciones semanales de agroquímicos. En el tratamiento biológico el daño fue menor como se puede observar en la figura 1. Este resultado se atribuye a la aplicación semanal de *B. subtilis* cepa 002R, la cual controló el foco de infección y presentó gran adaptabilidad a las condiciones de la zona. Si bien la enfermedad se vio favorecida por la alta precipitación y la alta humedad imperante en el sitio del ensayo, estas condiciones también favorecieron la multiplicación de los antagonistas. Estos al parecer ejercieron un mejor control de la enfermedad que los productos químicos utilizados, los que probablemente se vieron afectados por las lluvias que provocaron su lavado.

El uso de agroquímicos logro prevenir el ataque de las plantas no afectadas, pero en las



Fig. 1. Parcelas comparativas según tratamiento.

plantas que presentaban el daño los químicos no dieron ninguna respuesta.

De igual manera Alvarado (2002), observó a la semana 16 de cultivo, un amarillamiento en las plantas de jengibre, lo que causó un comportamiento atípico en la producción, que alcanzó el rango mínimo aceptado; en este trabajo no se pudo identificar el agente causal de la enfermedad.

Al realizar el análisis microbiológico se identificaron, por medio del micrométodo de utilización de fuentes de carbono BIOLOG, las bacterias *E. carotovora* y *Pseudomonas* sp; se pudo determinar además, la presencia del hongo *Colletotrichum* sp, identificación que fue realizada por la clínica de diagnóstico del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica. Debido a que la aparición de la enfermedad coincidió con la primera aporca se considera que se pudo ocasionar algún daño físico que permitiera la entrada de los patógenos.

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron algunos focos de infección con el hongo *F. solani*, en el tratamiento biológico, el patógeno fue controlado utilizando en forma alternada los antagonistas *T. viride* 2C-PR y *B. subtilis* 002R. Para ello el patógeno se aisló, identificó y cultivó en el medio PDA, y se realizaron pruebas de antagonismo en las que se observó que, en menos de 7 días, el hongo había ejercido una supresión total sobre el patógeno, ocurriendo de la misma forma a nivel de campo. Existen varios trabajos de investigación en donde se demuestra el efecto supresor de *Trichoderma* sobre *Fusarium*. Al respecto, Rivas (2002) realizó aplicaciones de *Trichoderma* para el control de *Fusarium* en lechuga, obteniendo un 85% de emergencia en el tratamiento biológico con respecto a un 50% en el tratamiento donde se aplicaron químicos. Además, se observó un mayor crecimiento con el tratamiento que incluía el antagonista. *P. fluorescens* y *T. harzianum*, aisladas a partir de la rizosfera de pimienta negra, jengibre y cardamomo, fueron evaluadas con éxito en la

promoción del crecimiento y protección de estos cultivos a nivel de invernadero. En el caso particular del jengibre, los autores indican que se observó protección contra *Pythium aphanidermatum*, causante de la pudrición suave; además se observó una respuesta sinérgica con la aplicación combinada de los microorganismos antagonistas (Anandaraj y Sarma 2003).

Un efecto benéfico de la aplicación de biocontroladores se pudo observar en plantaciones de vainilla (*Vanilla planifolia*), ubicadas en la zona de Puerto Jiménez, las cuales presentaron grandes pérdidas debido al ataque de *F. solani*, la aplicación tanto de *Trichoderma* como de *B. subtilis*, llevó a una disminución del inóculo del patógeno (Marín 2003). El efecto fue tan favorable, que en Quepos algunos productores de vainilla tomaron la decisión de realizar aplicaciones semanales de microorganismos benéficos e incluirlos dentro de su paquete tecnológico, con lo que la incidencia de los patógenos al igual que el uso de agroquímicos para el control de los mismos ha disminuido.

En la semana 16, independientemente del tratamiento utilizado, se observó una disminución en las poblaciones de los patógenos, con respecto a las poblaciones obtenidas al inicio del ensayo, a excepción de *Fusarium* el cual desde el muestreo inicial (semana 0) poseía las poblaciones mayores por lo que su resultado era de esperar (Figura 2).

Dentro de las condiciones que se dieron para que *F. solani* presentara un inóculo alto en el tratamiento biológico, están los factores ambientales como la adaptación de ese patógeno a las condiciones de la zona, además del alto nivel de inóculo presente en el suelo, mayor que el observado para los otros patógenos. La cantidad de inóculo de los antagonistas presentes en el suelo puede disminuir con el tiempo, lo que es normal cuando se trabaja con biocontroladores (Chaves y Wang 2004).

Al finalizar el ciclo del cultivo, se determinaron nuevamente las poblaciones de los patógenos, en la figura 2 se puede observar que en

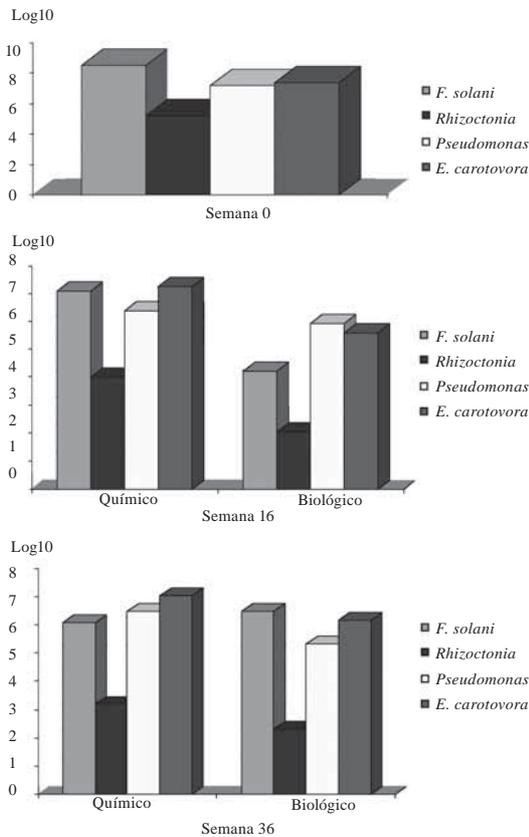


Fig. 2. Poblaciones de patógenos según el tratamiento, en las semanas 0, 16 y 36. Chachagua, Alajuela. 2005.

la semana 36 la cantidad de patógenos tuvo una tendencia a aumentar en ambos tratamientos, lo que es normal debido a que ambos tratamientos fueron suspendidos 2 meses antes de realizar el muestreo y las condiciones climáticas fueron favorables para el desarrollo de enfermedades. Los biocontroladores aumentaron de la semana 16 a la 36, a excepción de *S. griseus* en donde las poblaciones se vieron muy disminuidas desde el primer recuento; siendo el antagonista que menos se adaptó a las condiciones del sitio (Figura 3). Con respecto a los patógenos fue notorio que el más fácil de combatir fue *Rhizoctonia*, que se vio muy afectada por *Trichoderma* y por el *Bacillus* aplicado. Arauz (1998) hace mención que el combate de enfermedades de la raíz, por la introducción de antagonistas específicos,

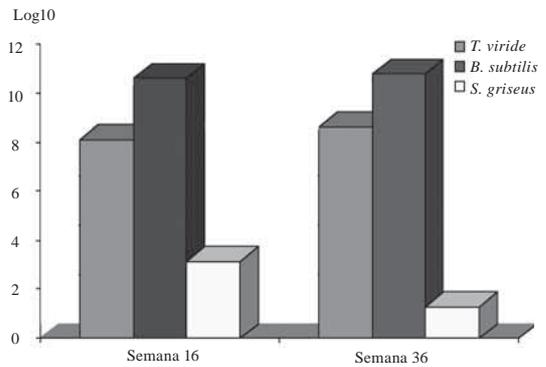


Fig. 3. Recuento de poblaciones de microorganismos antagonistas adicionados presentes en el suelo. Peñas Blancas, Alajuela. 2005

ha sido bastante exitoso lo que ha llevado al desarrollo comercial de numerosos productos a base de bacterias y hongos antagonistas. Los biocontroladores utilizados en este trabajo son conocidos por sus amplias cualidades como supresores, como se hace mención en el caso de *S. griseus* el cual combate *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium* entre otros, en el caso de *B. subtilis* tiene un amplio control sobre *R. solani* de igual forma *Trichoderma* (García 1997, Fravel 1997). Esas 2 cepas se adaptaron y sobrevivieron a lo largo de todo el trabajo, ello debido en parte, a la alta concentración de los biocontroladores utilizada en este estudio. Chaves y Wang (2004), mencionan que tanto la concentración del inóculo como las condiciones ambientales pueden afectar el desempeño de los biocontroladores utilizados.

Otra de las ventajas que se notó con el uso de los productos biológicos fue el gran desarrollo radical observado en los rizomas cosechados (Figura 4) y que según el agricultor no se presenta en esta etapa del cultivo (V. Ramírez Asociación de desarrollo agrícola de Chachagua. Comunicación personal. 2005.). Ese desarrollo radical puede atribuirse a la aplicación de *B. subtilis*, bacteria que solubiliza el P, promueve el crecimiento radical y actúa como biocontrolador de enfermedades, lo cual está relacionado a la producción del antibiótico Iturin (López y Carballo 2001).



Fig. 4. Plantas de jengibre con gran cantidad de raíces en la etapa de cosecha.

Como se observa en la figura 5, el tratamiento biológico fue significativamente mayor, para la variable producción, los rizomas siempre fueron de mayor tamaño y presentaron una mejor sanidad en el tratamiento biológico (Figura 6). La producción para el tratamiento químico fue de  $48000 \text{ kg ha}^{-1}$  y para el biológico de  $82000 \text{ kg ha}^{-1}$ , ambos tratamientos sobrepasan cualquier producción reportada para esa zona. En el trabajo realizado por Alvarado (2002), se reporta un rendimiento de  $16000 \text{ kg ha}^{-1}$  en la misma zona con la misma densidad de siembra de  $16000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . Aguilar (2001) indica que una plantación bien cuidada

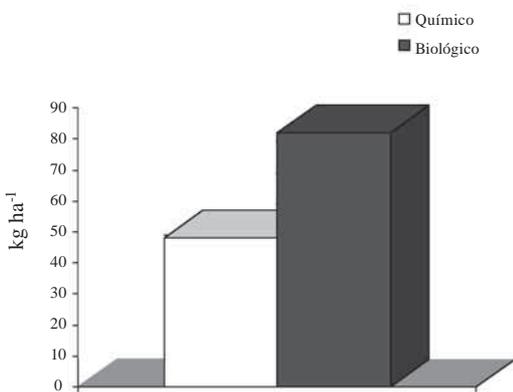


Fig. 5. Producción de jengibre. Peñas Blancas, Alajuela, 2005

puede producir alrededor de  $30000 \text{ kg ha}^{-1}$ ; sin embargo, aún en el tratamiento químico la producción fue superior a lo reportado en otros trabajos, lo cual puede estar relacionado con el número de brotes que tenía la semilla utilizada, la que fue seleccionada con 3-4 brotes bien desarrollados, contrario a la semilla que utilizó el agricultor, la que posee por lo general 2 brotes (V. Ramírez. Asociación de desarrollo agrícola de Chachagua. Comunicación personal. 2005).

Para concluir, cabe mencionar que la utilización de hongos y bacterias antagonistas para la prevención y control de enfermedades del cultivo es una práctica amigable con el ambiente, que en este trabajo actuó de manera efectiva, ayudando a la economía del agricultor. Se pudo comprobar, por medio de análisis microbiológicos, que las cepas utilizadas para el control de las enfermedades presentaron gran adaptabilidad a las condiciones imperantes en la zona, ya que se encontraron presentes aún después de cosechado el cultivo, lo cual beneficia tanto al suelo como al agricultor, esto debido a la cantidad de inóculo que queda presente para otras siembras posteriores, reduciéndose la cantidad de inculante que se debe de aplicar; esto se debe de verificar con un análisis microbiológico antes de iniciar cualquier siembra.

Se pudo determinar que uno de los factores críticos son las condiciones climáticas, además de la concentración de los productos. Antes de utilizar cualquier producto a base de microorganismos es necesario saber la viabilidad y la concentración de ellos, debido a que muchos pueden estar en malas condiciones lo que afectará la evaluación del producto en el momento de ser utilizado. Un punto importante con respecto a las cepas de antagonistas utilizadas es el origen de las mismas, lo ideal es la utilización de cepas nativas, debido a que se adaptarán mejor a nuestras condiciones tropicales.

La respuesta positiva que se puede obtener con el uso de microorganismos se puede ver hasta aproximadamente 3 meses después de estar realizando aplicaciones, esto debido a factores de adaptación.



Fig. 6. Diferencia de producción entre tratamientos.

En el trabajo realizado y bajo las condiciones en que se llevó a cabo, los microorganismos benéficos presentaron una tendencia a generar mejores resultados.

### LITERATURA CITADA

- AGUILAR E. 2001. Guía del cultivo de jengibre. MAG. Dirección de Investigación. San José, Costa Rica. 61 p.
- ALVARADO L. 2002. Absorción de nutrientes en jengibre (*Zingiber officinale*) bajo un sistema de producción orgánico, en la finca Luna Nueva, San Isidro de Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela. Tesis de bachillerato, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, Costa Rica. 70 p.
- ANANDARAJ M., SARMA Y.R. 2003. The potential of PGPRS in disease management of spice crops, pp. 27-39. In: 6<sup>th</sup> International PGPR Workshop, Session I. Agronomy and Pathology of Tropical Plantation Crops. 5-10 October, 2003. Calicut, India.
- ARAUZ L. 1998. Fitopatología un enfoque agroecológico. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 467 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrientes por el cultivo. San José, Costa Rica. ACCS. 307 p.
- CIAT. 1987. Simbiosis leguminosa-Rhizobio. Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 184 p.
- CHAVES N., WANG A. 2004. Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. Agronomía Costarricense 28: 73-85.
- GARCÍA J. 1997. Introducción a los plaguicidas. San José, EUNED. 450 p.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1998. La fertilidad de suelos manual de laboratorio. ACCS. San José, Costa Rica. 64 p.
- HOLDRIDGE L.R. 1978. Ecología basada en las zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- KLEMENT Z., RUDOLPH K. 1990. Methods in phytobacteriology. Plant Protection Institute of the Hungarian Academy of Sciences Budapest, Hungary. 567 p.
- LÓPEZ J., CARBALLO M. 2001. Definiciones, usos y manejo eficiente de los productos no sintéticos utilizados en la agricultura moderna. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 64 p.
- MARÍN R. 2003. Microorganismos benéficos. Crisol 10.
- MIDMORE D.J., PARKER J., CLARK J. 2005. Australian Government Rural Industries Research and Development Corporation. Crop protection. An issue for the Asian vegetables and herbs and spices

- industries. A report for the rural industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No 05/093. RIRDC Project No UCQ-19J. 68 p.
- MAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigaciones y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica. 53 p.
- MAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA). 1994. Análisis de la problemática tecnológica, plagas y enfermedades. Santa Rosa, Pocosol. Alajuela. consulta 2005. [www.mag.go.cr](http://www.mag.go.cr).
- NAYAR K., MATHEW J. 1982. Survival of the Brinjal wilt pathogen *Pseudomonas solanacearum* var. *asiaticum* in naturally and artificially infected soils. *Phytopath. Z* 105:155-160.
- NISHIJIMA K.A., ALVAREZ A.M., HEPPERLY P.R., SHINTAKU M.H., KEITH L.M., SATO D.M., BUSHE B.C., ARMSTRONG J.W., ZEE F.T. 2004. Association of *Enterobacter cloacae* with rhizome rot of edible ginger in Hawaii. *Plant Disease* 88:1318-1327.
- RIVAS W. 2002. Evaluación de *Trichoderma* para el control del complejo Damping-off *Fusarium* sp, *Pythium* sp, en Lechuga. Facultad de Recursos Naturales. Dpto. de Sanidad Vegetal. Sección de Fitopatología. Ecuador. 16 p.
- STIRLING A.M. 2004. The causes of poor establishment of ginger (*Zingiber officinale*) in Queensland, Australia. *Australasian Plant Pathology* 33:203-210.
- WANG P.H., CHANG C.W. 2003. Detection of the low-germination-rate resting oospores of *Pythium myriotylum* from soil by PCR. *Letters in Applied Microbiology* 36:157-161.