



Resultados y Lecciones en

Biocontrol de Enfermedades Fungosas con *Trichoderma*

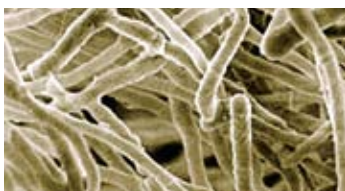
Proyecto de Innovación en
**Regiones de O'Higgins
y del Maule**



Fundación para la Innovación Agraria
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Resultados y Lecciones en Biocontrol de Enfermedades Fungosas con *Trichoderma* spp.



Proyecto de Innovación en
**Regiones de O'Higgins
y del Maule**

Valorización a febrero de 2008



Agradecimientos

En la realización de este trabajo agradecemos sinceramente la colaboración de los productores, técnicos y profesionales vinculados al proyecto, en especial a Agustín Infante L., ingeniero agrónomo, director del Centro de Educación y Tecnología (CET).

Resultados y Lecciones en Biocontrol de Enfermedades Fungosas con *Trichoderma spp.*

Proyecto de Innovación en las Regiones de O´Higgins y del Maule

Serie **Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario**
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Registro de Propiedad Intelectual N° 199.396

ISBN N° 978-956-328-077-7

ELABORACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Rodrigo Cruzat G. y Daphne Ionannidis N. – AQUAVITA Consultores

REVISIÓN DEL DOCUMENTO Y APORTES TÉCNICOS

Fernando Rodríguez y M. Francisca Fresno R. – Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

EDICIÓN DE TEXTOS

Gisela González Enei

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

IMPRESIÓN

Ograma Ltda.

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Contenidos

Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas	5
1. Antecedentes	5
2. Base conceptual y tecnológica de la herramienta.....	6
2.1 Definiciones.....	6
2.2 El género <i>Trichoderma</i>	6
3. El valor de la herramienta.....	8
3.1 La innovación tecnológica.....	9
3.2 Conveniencia económica para el productor	9
4. Claves de viabilidad.....	11
5. Asuntos por resolver.....	12
6. Situación actual.....	13

Sección 2. Los proyectos precursores	15
1. Entorno.....	15
2. Los proyectos.....	16
2.1 Aspectos metodológicos	16
2.2 Resultados	18
3. Desarrollos posteriores	19

Sección 3. El valor del proyecto	21
---	----

ANEXOS

1. Enfermedades fúngicas controladas por <i>Trichoderma</i> en distintos cultivos....	25
2. Superficie (ha) de cultivos orgánicos y en transición, 2000-2006.....	26
3. Agricultura orgánica y el potencial comercial de <i>Trichoderma</i>	27
4. Literatura consultada.....	28
5. Documentación disponible y contactos	28



SECCIÓN 1

Resultados y lecciones aprendidas

El presente libro tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas sobre control de enfermedades fungosas con *Trichoderma* spp. en el país, a partir de dos proyectos financiados por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA.

Se espera que esta información, que se ha sistematizado en la forma de una “**innovación aprendida**”,¹ aporte a los interesados una nueva herramienta que les permita mejorar la productividad de sus cultivos.

► 1. Antecedentes

Los análisis y resultados que se presentan en este documento han sido desarrollados a partir de las experiencias y lecciones aprendidas en la ejecución de dos proyectos financiados por FIA (“proyectos precursores”).² El primero, “Evaluación de formulaciones de microorganismos controladores de enfermedades y plagas en cultivos hortofrutícolas de importancia regional”, fue ejecutado por la Universidad de Talca entre agosto de 1998 y agosto de 2001. Su objetivo fue evaluar formulaciones de *Trichoderma* para el control de enfermedades fungosas en espárrago, tomate, pimentón y manzano. La segunda iniciativa, “Producción y utilización de *Trichoderma* spp. en el control de enfermedades fungosas para la producción orgánica de fruta de exportación para la zona central de Chile”, ejecutado entre diciembre de 2000 y octubre de 2004, se concentró en la evaluación y producción masiva de formulados de *Trichoderma*, para el control de enfermedades fungosas en producción orgánica de uva de mesa y manzana de exportación. Esta última iniciativa fue ejecutada por el Centro de Educación y Tecnología (CET), en asociación con Agrícola Mira-Ríos, Huertos Orgánicos de Chile, Frutícola Viconto S.A., Viñedos Orgánicos Emiliana S.A., Universidad de Concepción y la Viña Martínez de Salinas, en Cauquenes, entre diciembre de 2000 y octubre de 2004. Las empresas participantes conforman el grupo de mayor importancia en producción de fruta orgánica de exportación.

¹ “**Innovación aprendida**”: análisis de los resultados de proyectos orientados a generar un nuevo servicio o herramienta tecnológica. Este análisis incorpora la información validada del proyecto precursor, las lecciones aprendidas durante su desarrollo, los aspectos que quedan por resolver y una evaluación de los beneficios económicos de su utilización en el sector.

² “**Proyecto precursor**”: proyecto de innovación a escala piloto financiado e impulsado por FIA, cuyos resultados fueron evaluados a través de la metodología de valorización de resultados desarrollada por la Fundación, análisis que se da a conocer en el presente documento. Los antecedentes del proyecto precursor se detallan en la Sección 2 de este documento.

La herramienta desarrollada, un hongo biocontrolador, se basa en el aislamiento de cepas de *Trichoderma* spp., su formulación, aplicación y almacenaje, para el control de enfermedades en huertos hortícolas y frutícolas. El hongo controla enfermedades fungosas causadas por: *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Phytophthora capsici* y *Botrytis cinerea*.

Aunque el uso de esta herramienta está asociado con los sistemas de producción orgánica, su aplicación es extensible a los sistemas de producción convencionales, donde permite el reemplazo parcial o total de productos químicos en el control de enfermedades en el campo. De esta forma, esta herramienta responde a las crecientes exigencias por alternativas más amigables con el medio ambiente y la salud de los consumidores.

► 2. Base conceptual y tecnológica de la herramienta

2.1 Definiciones

La agricultura orgánica se caracteriza por el uso de técnicas que evitan el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos. Sin embargo, el alcance de este sistema de producción es más amplio, ya que su propósito es llegar a una producción agropecuaria limpia y sostenible. Es así como en este contexto las plagas y enfermedades deben ser controladas por medio de técnicas que equilibren e incrementen la nutrición del suelo y produzcan un alto grado de actividad biológica. Ello involucra, entre otros, procedimientos culturales que incluyan abonos verdes, aplicación de abonaduras equilibradas, control biológico, control mecánico y preparación anticipada del suelo para romper el ciclo de la plaga.

El control biológico puede definirse como la reducción de la densidad del inóculo o de las actividades de un patógeno que produce una enfermedad, por uno o más organismos, en forma natural o a través de la manipulación del medio ambiente, hospedero o antagonista, o por la introducción de una población de uno o más antagonistas.

Aunque se conocen las interrelaciones de organismos biocontroladores con diferentes hospedantes y patógenos, su aplicación como biofungicidas es reciente y aún no se ha implementado completamente, debido a que se requiere la selección de un aislamiento “intrínsecamente antagonista”, así como de su producción y formulación en cantidades y costos que garanticen su efectividad y sea conveniente su utilización.

Por su parte, el agente biocontrolador se define como el microorganismo (hongo o bacteria) con capacidad de limitar o evitar de manera más o menos selectiva el crecimiento de un hongo patógeno, sin interferir en el crecimiento de la planta.

2.2 El género *Trichoderma*

El género *Trichoderma* fue identificado en 1871 y ha sido ampliamente estudiado; es un hongo anaerobio facultativo microscópico, que se encuentra de manera natural en un número importante de suelos agrícolas y otros tipos de medios. Integran el género más de 30 especies ampliamente distribuidas en el mundo, en diferentes zonas y hábitats, especialmente donde existe materia orgánica o desechos vegetales en descomposición, así como en residuos de cultivos, principalmente en aquellos que son atacados por otros hongos. Su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales coloniza rápidamente.



Trichoderma muestra diversas ventajas como agente de control biológico, debido a su rápido crecimiento y desarrollo; también produce una gran cantidad de enzimas capaces de degradar a otros organismos, cuya secreción se induce con la presencia de hongos fitopatógenos. Puede desarrollarse en una amplia gama de sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. Su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas y hábitats donde otros hongos son causantes de diversas enfermedades, le permiten ser un eficiente agente de control; de igual forma puede sobrevivir en medios con contenidos significativos de pesticidas y otros químicos. Además, su gran variabilidad se constituye en un reservorio de posibilidades de control biológico bajo diferentes sistemas de producción y cultivos.

Trichoderma extrae nutrientes de los hongos que degrada y de otros materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo que se ve favorecido con la adición de materia orgánica y compostaje. También requiere de humedad para germinar; su velocidad de crecimiento es bastante alta, lo que lo faculta para establecerse en el suelo y controlar enfermedades. Adicionalmente, este hongo presenta aislamientos con poderes antibióticos, los cuales actúan contra varios microorganismos fitopatógenos. Se comporta como saprófito en la rizósfera, por lo que es capaz de destruir residuos de plantas infectadas por patógenos. Se considera que su acción es antagonista, y es capaz de sacar el mejor provecho dada su alta adaptación al medio y su competencia por el sustrato y espacio.

El agente biocontrolador envuelve al hongo a atacar y penetra sus células, con lo cual le causa un daño extensivo que involucra la alteración de la pared celular, incluyendo su degradación, la retracción de la membrana plasmática de la pared y la desorganización del citoplasma. *Trichoderma* también actúa sobre la replicación celular al inhibir la germinación de esporas y la elongación del tubo germinativo.

► 3. El valor de la herramienta

La herramienta desarrollada fundamentalmente cumple con una función de apoyo al manejo productivo de las explotaciones agrícolas orgánicas, ya que permite controlar algunas enfermedades fungosas como *Botrytis*, *Phytophthora* y *Venturia*, responsables de importantes pérdidas en el campo. Asimismo, protege las raíces de enfermedades causadas por *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium*, con lo cual permite el desarrollo de sistemas radiculares más fuertes y sanos; como consecuencia, aumenta su capacidad de captura de nutrientes y humedad.

La aplicación de formulados de *Trichoderma* se inserta en un plan de manejo preventivo y no paliativo de enfermedades, como es el caso de la agricultura convencional; por esta razón su uso es más generalizado en la agricultura orgánica.

Destacan las siguientes ventajas de *Trichoderma*:

- Es un agente natural, no agresivo con plantas o suelos.
- Aumenta la capacidad de crecimiento de la planta y le confiere mayor resistencia a condiciones de estrés (mayor desarrollo radicular).
- Carece de toxicidad sobre las partes comestibles de los cultivos, asimismo aminora el daño al medio ambiente por la ausencia de químicos persistentes en el suelo.
- Se aplica fácilmente mediante formulación líquida o sólida, pulverizándolo sobre el terreno o sobre la planta; no requiere de equipamiento especial para su aplicación.
- Compatible con otros fungicidas, como el azufre.
- Bajo costo, comparado con productos alternativos (extractos vegetales).
- Compatible con inoculantes de leguminosas; es posible aplicarlo a semillas que han sufrido un tratamiento fungicida químico.
- Disminuye y, en algunos casos, elimina la necesidad de tratar con fungicidas químicos, con lo cual se reducen los costos y el uso de fertilizantes, pues las plantas tienen más raíces y las utilizan mejor.
- Por ser un habitante natural del suelo, su registro comercial suele ser más fácil que el de un producto químico.
- Es considerado un producto no tóxico ni alergénico, no presenta toxicidad en mamíferos y es inocuo para abejas y abejorros.
- El control biológico por microorganismos presenta ventajas como: especificidad, permanencia en el tiempo e inocuidad para el ser humano y el medio ambiente, ya que se realiza con organismos presentes naturalmente en los ecosistemas del país.
- A diferencia del control biológico con insectos depredadores o parásitos, las formulaciones con microorganismos controladores son de más fácil aplicación.



3.1 La innovación tecnológica

El aporte de los proyectos precursores a la agricultura orgánica nacional (y en menor medida a la agricultura convencional), consiste en un biocontrolador que sustituye la producción artesanal de fórmulas orgánicas mucho menos efectivas y los productos comerciales que, al no ser producidos en Chile, involucran problemas de oportunidad de aplicación y una acción biológica más reducida. El uso de cepas nativas para la producción del formulado en Chile se debe a que éstas son más específicas a las condiciones locales y, por lo tanto, más eficaces en el control de las enfermedades.

3.2 Conveniencia económica para el productor

Como una forma de ilustrar la incidencia del uso de formulados de *Trichoderma* sobre los resultados económicos de un cultivo, a continuación se presenta una comparación de los márgenes brutos para el caso de una hectárea de tomate orgánico bajo cubierta, sin y con utilización del biocontrolador (Cuadro 1).

Se consideran tres planes de manejo (PM):

- **PM 0:** corresponde a un manejo sin biocontroladores y se utilizan sólo extractos vegetales para el control de enfermedades fungosas.
Bajo este plan, la producción de tomates alcanza los 15.000 Kg.
- **PM 1:** se remplazaron fungicidas de suelo por *Trichoderma* y bactericidas por *Bacillus thuringiensis*.
La inclusión de estos biocontroladores en un plan preventivo permitió aumentar la producción en un 15,6%, con respecto al PM 0.
- **PM 2:** se reemplazaron fungicidas de suelo por *Trichoderma*, bactericidas por *Bacillus thuringiensis* y nematocidas por *Pasteuria penetrans*.
La producción aumentó en un 27%, con respecto al PM 0.

Se supone un precio de venta para el tomate orgánico en supermercado de \$ 150/kg.

CUADRO 1. Márgenes brutos (\$) del cultivo de 1 ha de tomate orgánico bajo cubierta, para los tres planes de manejo señalados

Variable	PM 0	PM 1	PM 2
Volumen (kg)	15.000	17.333	19.067
Incremento respecto el PM 0 (%)	-	15,6	27,1
Ventas	2.250.000	2.600.000	2.860.000
Costos de manejo comunes a los tres PM	526.905	526.905	526.905
Preparación almácigos	147.300	147.300	147.300
Preparación suelo	44.800	44.800	44.800
Fertilización	218.855	218.855	218.855
Confección melgas y acequiadura	19.750	19.750	19.750
Transplante	44.800	44.800	44.800
Control de malezas	1.400	1.400	1.400
Caldo bordelés	15.000	15.000	15.000
Riego	35.000	35.000	35.000
Costos de manejo diferenciales	225.000	289.000	114.000
<i>Trichoderma</i>	-	32.000	32.000
<i>Bacillus thuringensis</i>	-	32.000	32.000
<i>Pasteuria penetrans</i>	0	0	50.000
Nematicida	225.000	225.000	0
Cosecha	254.428	294.000	323.412
TOTAL COSTOS DIRECTOS	1.006.333	1.109.905	964.317
MARGEN BRUTO	1.243.667	1.490.095	1.895.683
Incremento respecto del PM0 (%)	-	20	52

Se observa la importante disminución de las pérdidas de producto y el aumento de los márgenes brutos que generarían los planes de manejo asociados con la aplicación de biocontroladores. En el caso del PM 1, los mayores costos de su aplicación se verían más que compensados por los mayores rendimientos obtenidos. El PM 2 resultaría no sólo en un aumento considerable del volumen de producción, sino también en una reducción neta de los costos; ello da cuenta del notable incremento (del orden del 50%) en el margen bruto, con respecto al plan de manejo sin biocontroladores (PM 0).

Es importante destacar que, más allá del impacto positivo que la aplicación de estos productos tiene directamente sobre los márgenes brutos del agricultor, también presentan diversas ventajas que se traducen en beneficios adicionales para sus usuarios:

- no existen riesgos de desarrollar resistencia de las plagas;
- no tienen restricciones de los mercados;
- no presentan carencia;
- permanecen en el tiempo y son inocuos para el ambiente y ser humano;
- las formulaciones con microorganismos controladores son de aplicación más fácil que el control biológico con insectos depredadores o parásitos;
- la acción es localizada en el cultivo que se aplica y suelo, como es el caso de *Trichoderma*, que desplaza a hongos patogénicos habitantes del suelo;
- por tratarse de controladores nativos, se asegura de no ingresar nuevas razas o cepas que puedan afectar el ecosistema nacional y se aprovecha la especificidad para el control de plagas y enfermedades.



► 4. Claves de viabilidad

La herramienta se encuentra con un desarrollo tal que permite su aplicación inmediata en la industria hortofrutícola. Se han creado empresas que, junto con ofrecer productos basados en biocontroladores, brindan servicios de capacitación a los productores interesados. Sin embargo, el éxito en la aplicación de esta herramienta va acompañado de una serie de aspectos relacionados con la propia herramienta y los agricultores.

La herramienta

- **Servicio que ofrezca tanto la herramienta como la capacitación técnica asociada.** Un servicio especializado debe ofrecer las cepas locales en diferentes formulaciones, basado en estudios que respalden la eficiencia y eficacia del control de enfermedades fungosas en cada cultivo en particular.
- **Validación de la herramienta en el cultivo objetivo.** Para que *Trichoderma* pueda ser aplicado efectivamente a un cultivo determinado, es indispensable que haya sido validado para las condiciones bajo las cuales será utilizado. Existen estudios para distintos cultivos hortícolas (lechuga, tomate y pimentón, entre otros) y frutícolas (patronales, manzanos y viñas viníferas, entre otros).

Los usuarios

- **Capacidad de gestión.** La utilización efectiva de la herramienta, para explotar al máximo su potencial de beneficios, requiere que el agricultor tenga la capacidad de gestión adecuada que le permita llevar registros y anticiparse a posibles enfermedades fungosas, ya que su utilización debe realizarse inserta en un plan de manejo fitosanitario preventivo.
- **Características de la explotación.** Para la implementación de la herramienta no existen limitaciones relativas a la superficie, tipo de cultivo (con ensayos previos) o tipo de agricultura (orgánica o convencional). Sin embargo, los mayores beneficios se observarán en plantaciones que cuenten con una estrategia de manejo de enfermedades y que actúen de manera preventiva.
- **Oportunidad de la implementación.** El mejor control de enfermedades fungosas se llevará a cabo si se cuenta con un programa ordenado de aplicaciones, ya que *Trichoderma* debe ser utilizado de manera preventiva.



► 5. Asuntos por resolver

En este tipo de productos el desarrollo y la investigación debe ser continua; destacan los siguientes aspectos técnicos y comerciales a investigar.

Aspectos técnicos

- La evaluación de la acción de *Trichoderma* en enfermedades bacterianas como *Pseudomonas*.
- La sinergia entre *Trichoderma* y *Bacillus* contra virus, ya que se ha comprobado que ambos biocontroladores activan el sistema de defensa de las plantas.
- Nuevas aplicaciones de *Trichoderma* en general (ensayos sobre nuevos cultivos y nuevas enfermedades).

Aspectos comerciales

- Revertir la creencia entre los agricultores que estos productos tienen un alto costo y baja efectividad.
- Mejorar la disponibilidad en el mercado, ya que actualmente existen sólo cinco empresas que comercializan esta herramienta, todas localizadas en la zona central de Chile. Ello podría lograrse interesando a los grandes distribuidores de productos fitosanitarios, quienes disponen de redes nacionales de distribución.

- Asegurar la asesoría técnica necesaria junto con la comercialización o venta de esta herramienta, por parte de las empresas proveedoras.
- Establecer una mayor comunicación entre las empresas y los investigadores para la implementación de un plan de negocio exitoso.

► 6. Situación actual

Trichoderma actualmente se encuentra disponible en el mercado a través de diversas empresas. El CET abastece del biocontrolador a agricultores que suman más de 1.500 ha de cultivos orgánicos, principalmente frutales (viñas, manzanos, kiwis, arándanos y perales, principalmente). Vende alrededor de 7.000 kg de pasta y 10.000 litros de suspensión. Entre los proveedores también se encuentra Bio Insumos Nativa, empresa establecida a partir de un proyecto ejecutado por la Universidad de Talca, financiado por FIA. La empresa opera bajo un convenio con dicha Universidad, en el que la empresa es responsable de la comercialización de las cepas y la Universidad realiza el control de calidad de los productos. Las dos entidades desarrollan conjuntamente nuevas líneas de investigación en biocontroladores.

La herramienta es de difícil apropiabilidad, ya que los microorganismos no son patentables y la formulación es de dominio público. Los productos, sin embargo, deben registrarse en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Bio Insumos Nativa trabaja con nombres asociados a géneros o especies de microorganismos, lo cual es difícil de patentar. Aunque la empresa tiene registros tales como Trichonativa, Nacillus, Mongen, no ha patentado el producto en sí.

El potencial de uso futuro de este producto en la agricultura orgánica es considerable, como se observa en el Anexo 3.

SECCIÓN 2

Los proyectos precursores

Los resultados en este libro surgen de la ejecución de los proyectos “Evaluación de formulaciones de microorganismos controladores de enfermedades y plagas en cultivos hortofrutícolas de importancia regional”, ejecutado por la Universidad de Talca entre agosto de 1998 y agosto de 2001 y “Producción y utilización de *Trichoderma* spp. en el control de enfermedades fungosas en sistemas de producción de fruta orgánica de exportación en la zona central de Chile”, ejecutado por el Centro de Educación y Tecnología (CET), en asociación con Agrícola Mira-Ríos, Huertos Orgánicos de Chile, Frutícola Viconto S.A., Viñedos Orgánicos Emiliana S.A., Universidad de Concepción y la Viña Martínez de Salinas, en Cauquenes, entre diciembre de 2000 y octubre de 2004. Las empresas participantes conforman el grupo de mayor importancia en producción de fruta orgánica de exportación.

► 1. Entorno

El desarrollo y uso de herramientas relacionadas con biocontroladores nació en un escenario donde las exigencias del mercado por el desarrollo de una agricultura orgánica e integrada son cada vez mayores. La necesidad de encontrar soluciones con cepas nacionales se debe a la poca eficiencia en el control con las cepas extranjeras que antes estaban disponibles.

En este sentido, la aparición de este instrumento coincide con un momento particular de la agricultura chilena luego de años de experiencia con el uso de agroquímicos. En este contexto, la agricultura orgánica se hace más importante, dada la actual preocupación por el ambiente y la salud humana, fenómeno influido principalmente por los países europeos. Esto permite que los agricultores requieran encontrar alternativas a los químicos para el control de enfermedades y, de esta manera, abrir nuevos mercados y ajustar el negocio de algunas especies.



La creciente demanda por productos orgánicos también estimuló la investigación en esta área, por parte de los investigadores chilenos, quienes hasta antes de este interés trabajaban principalmente en productos químicos.

► 2. Los proyectos

La iniciativa se desarrolló en la Estación Experimental Panguilemo y en los laboratorios de fitopatología y entomología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Talca. Las unidades de validación se ubican en predios de agricultores de las comunas de San Fernando, (VI Región de O'Higgins), Panguilemo y Colín (VII Región del Maule).

El proyecto incluyó una fase experimental que se llevó a cabo en plantaciones de los fundos Miraríos (Parral), Los Pretiles (Chimbarongo), Los Robles (Placilla) y Cordillera (Casablanca)

Ambos proyectos contemplaron una fase de difusión y transferencia tecnológica donde se dio a conocer los resultados a productores orgánicos de todo el país.

2.1 Aspectos metodológicos

Los proyectos precursores fueron ejecutados en una secuencia que incluyó las siguientes etapas.

Aislamiento y selección de cepas locales

En el proyecto ejecutado por la Universidad de Talca se recolectaron distintos organismos biocontroladores en diferentes sectores de la Región del Maule, incluyendo cordillera, reservas forestales, secano costero y huertos comerciales locales. Se obtuvieron muestras de diversas especies de *Trichoderma*, como *T. harzianum* (cepa Queule), *T. longibrachiatum* (cepa Soto), *T. hamatum* (cepa Tubo), *T. virens* (cepa Sherwood), *T. parceanamosum* (cepa Trailes) y las cepas Coque y Longaví. Las muestras que no fueron identificadas se sometieron a pruebas de efectividad de control, tanto *in vitro* como *in vivo*, en condiciones controladas de invernadero, estación experimental y unidades de validación (UVAL) con agricultores locales. De esta forma, las cepas de *Trichoderma* mencionadas se evaluaron en cultivos tales como tomate, brócoli, pimentón, lechuga, espárragos y manzano, así como para el control de enfermedades causadas por los hongos fitopatógenos *Furarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Venturia inaequalis*.

En el caso del proyecto ejecutado por el CET, la búsqueda de *Trichoderma* se realizó en zonas de baja intervención y en sistemas sin utilización de agroquímicos. Las cepas recolectadas fueron evaluadas y seleccionadas de acuerdo a su resistencia a distintas temperaturas (10 °C, 15 y 25 por 6 a 9 días). Se realizaron pruebas de antagonismo y de inhibición con *Phytophthora cactorum*, *Botrytis cinerea* - *Phytophthora cactorum*, *Botrytis cinerea* y *Venturia inaequalis*.

Producción masiva de *Trichoderma*

La Universidad de Talca desarrolló un sistema semicontinuo de producción en laboratorio de las distintas cepas de *Trichoderma*, que logró abastecer las necesidades del proyecto, tanto para ensayos como para las unidades de validación. Básicamente consistió en un sistema de producción bifásico, con una primera fase de producción en medio líquido y una posterior en medio sólido, desde la cual se extraen las conidias para ser utilizadas. Este sistema utiliza como nutrientes una mezcla de granos.



Para producir en forma masiva un formulado a base de *Trichoderma*, en el CET se preparó un sustrato sólido y el inóculo, el cual posteriormente se sembró. Se determinó la pureza, concentración de esporas y su viabilidad. La fermentación sólida permite utilizar un medio de cultivo estático, insoluble en agua, que contiene una mayor concentración de conidias (producto final), de paredes más gruesas que ofrecen una mayor resistencia a altas temperaturas (sobre 30 °C).

Preparación de formulaciones

En el CET se prepararon tres formulaciones diferentes para determinar la de mayor eficiencia en el control de enfermedades, así como la de aplicación más fácil: suspensión líquida, pasta y sólida deshidratada. En los tres casos se determinó la viabilidad en el tiempo.

En los estudios de preservación de las cepas realizados en la Universidad de Talca, respecto del almacenaje se determinó que *Trichoderma* es capaz de mantenerse por 60 a 90 días en perlita, lo que permitiría un control eficiente de enfermedades de suelo en cultivos hidropónicos o bien en almácigo y vivero. Se probaron dos medios de conservación: líquido (agua estéril y sin esterilizar, en ambos casos sola y con ácido láctico) y sólido (talco, tierra de diatomeas y perlita).

Evaluaciones de campo

Se realizaron evaluaciones en terreno en distintos cultivos y para distintas enfermedades (Cuadro 2).

CUADRO 2. **Ensayos de campo en distintos cultivos y enfermedades**

Cultivo	Enfermedad	Localidad	Tipo de formulación
Manzano	<i>Venturia inaequalis</i>	Parral	Suspensión
Manzano	<i>Phytophthora cactorum</i>	Chimbarongo	Suspensión líquida y pasta
Viña chardonay	<i>Botrytis cinerea</i>	Casablanca	s/i
Vid red globe	<i>Botrytis cinerea</i>	Casablanca	s/i

2.2 Resultados

Todas las cepas de *Trichoderma* seleccionadas por la Universidad de Talca mostraron acción sobre los patógenos estudiados, aunque sus grados de control variaron según el patógeno. Esto demuestra especificidad en su acción, lo que hace más seguro el uso de este microorganismo.

Se demostró la eficiencia de las cepas en estudios *in vitro* y también en cultivos experimentales y comerciales, lo cual demuestra la viabilidad técnica del uso de este biocontrolador no sólo en agricultura orgánica, ya que dada su tolerancia a algunos fungicidas convencionales además permite su uso en programas de manejo integrado.

La cepa Queule mostró un excelente comportamiento en el control de *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Phytophthora* spp. y *Venturia inaequalis* en huertos comerciales de manzano y tomate. La cepa Sherwood demostró un eficiente control de *Botrytis cinerea* tanto en laboratorio como en cultivos experimentales de lechuga.

El almacenaje de *Trichoderma* con los medios que disponía el laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Talca, no es útil más allá de cuatro meses. Es mucho más factible económica y técnicamente un sistema de producción continuo, el cual demostró mejores resultados en el control de enfermedades, al entregar como producto final una mezcla de conidias y de micelio.

El CET recolectó las siguientes especies del género *Trichoderma* (entre paréntesis el N° de cepas):

- *T. harzianum* (19)
- *T. longibrachiatum* (8)
- *T. anomorfo*:(1)
- *T. viride* (9)
- *T. parceramosus* (1)
- *T. aueroviride* (1)
- *T. inhamatum* (1)
- *T. atroviride* (1)

Los productos desarrollados por el proyecto son:

- Suspensión líquida con 10^{10} esporas/ml para el control de *Botrytis cinerea* en viñedos y patronales, para ser aplicada cuando la flor presenta 4-5 mm, en aprete de racimo, pinta y precosecha.
- Pasta con 10^{12} esporas/gr para el control de *Phytophthora cactorum* en manzanos, para aplicaciones 2 veces al año, en primavera y otoño, en la base del árbol.
- Polvo seco con 10^{10} esporas/gr para el control de *Botrytis cinerea* en viñedos y patronales, para ser aplicado cuando la flor presenta 4-5mm, en aprete de racimo, pinta y precosecha.

► 3. Desarrollos posteriores

Las empresas que participaron en el proyecto contaban, aproximadamente, con 1.000 ha de producción orgánica y estimaron que desde el año 2005 para el control de *B. cinerea* y *P. cactorum* sólo utilizarían controladores desarrollados en el proyecto. Para lograr dicho objetivo se estructuró la empresa ITAS S.A., responsable de producir y comercializar estos insumos, para abastecer inicialmente a las empresas del proyecto y, en lo sucesivo, para entrar al mercado nacional ampliado de insumos orgánicos. La empresa también consideró el objetivo de continuar con la investigación y mantener estos controladores en el mercado nacional.

Con posterioridad al término del proyecto se desarrolló una serie de nuevos proyectos de carácter público (financiados por FIA, Fondef-Conicyt, Innova Biobío e Innova-CORFO) y otros privados, que han incorporado nuevos alcances de la técnica, así como nuevas zonas y cultivos. Algunos son:

- “Desarrollo de líneas transgénicas de vid con resistencia a enfermedades fungosas”. Fondef (2001-2005) ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA) y Fundación Chile, y Agrícola Brown Ltda. y Biogenetic S.A. como contrapartes. Se optimizaron metodologías de transformación genética para introducir en vides genes relacionados con la resistencia al ataque de hongos fitopatógenos. Se han obtenido genes que codifican enzimas degradativas de la pared celular de hongos, tales como quitinasas y glucanasas del hongo micoparasítico *T. harzianum*, tanto mediante licenciamiento como por su búsqueda directa en cepas nativas de *Trichoderma*. También se obtuvieron genes que codifican para péptidos con actividad fungicida.

Como producto final de esta primera etapa se han obtenido plantas transformadas, evaluadas durante su estado de plántula en cuanto a la presencia de los genes introducidos y de la expresión de las correspondientes actividades.

- “Determinación de la viabilidad de conidias de *Trichoderma harzianum* bajo condiciones de anhidrobiosis”. Financiado por Fondecyt ejecutado por la Pontificia Universidad Católica de Chile (1996-1999).
- “Inducción de defensa contra patógenos en plantas superiores: Participación de reguladores de crecimiento y microorganismos antagonistas”. Financiado por Fondecyt (1997-2000), ejecutado por la Universidad de Ciencias de la Educación.
- “Bases moleculares del control biológico de fitopatógenos”. Financiado por Fondecyt, ejecutado por la Universidad Nacional Andrés Bello. El proyecto utilizó distintas cepas de *Trichoderma* para determinar la eficiencia en el control de *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Pyrenochaeta*.
- “Manejo integrado de enfermedades radicales del tomate mediante el uso de biocontroladores y solarización”. Financiado por Fondecyt y ejecutado por la Universidad de Chile asociada con la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y la Universidad Nacional Andrés Bello (1999-2002).
- “Programa de desarrollo de productos bioactivos”. Financiado por Universidad de Talca (DIAT).
- “Herbicidas, fungicidas y bactericidas de hongos fitopatógeno”. Financiado por la Universidad de Talca (Instituto de Cooperación Científica y Tecnológica Internacional, Chile-Portugal-ICCTI). (1997-1999).

- “Metabolitos fungales como herbicidas, fungicidas y bactericidas”. Financiado por la Universidad de Talca (DIAT).
- “Aislamiento y caracterización de metabolitos secundarios microbianos con actividad herbicida, fungicida y bactericida de posible interés en la agricultura”. Financiado por la Universidad de Talca (Chile - Cuba – CITMA Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). (1998-2000).
- “Compuestos bioactivos de plantas y microorganismos chilenos”. Financiado por la Universidad de Talca (Programa de Cooperación Científica con Iberoamérica-España). (2001-2003).
- “Evaluación de cepas nativas de la bacteria *Bacillus subtilis* en el biocontrol de enfermedades bacterianas de cultivos hortofrutícolas de importancia regional”. Financiado por FIA y ejecutado por la Universidad de Talca (2002).

Actualmente se cuenta con empresas capaces de prestar servicios de venta de productos en distintos tipos de formulaciones (líquida, sólida, pasta), además de asesorías y capacitaciones (Cuadro 3).

CUADRO 3. Empresas que ofrecen formulaciones de *Trichoderma* spp. para el control de enfermedades fungosas en Chile

Nombre	Fono/correo electrónico	Dirección/observación
Bio Insumos Nativa Ltda.	(56 73) 324 306 (56 9) 9239 2189	www.bionativa.cl Venta de insumos orgánicos, fungicidas, insecticidas
CET	(56 2) 234 1141 (56 2) 233 7239	www.corporacioncet.cl Capacitación, consultores investigación, proveedores de insumos
Eco Insumos y Alimentos S.A.	(56 32) 2991699	Insumos orgánicos
Mundo Orgánico	(56 72) 584520 info@mundorganico.net	www.mundorganico.net Venta insumos orgánicos, insecticidas, fungicidas, fertilizantes
Química R&S Ltda.	(56 2) 735 5904 (56 2) 737 5801 (56 9) 9745 9688	Insumos orgánicos

SECCIÓN 3

El valor del proyecto

El género *Trichoderma* es un ejemplo de un grupo de hongos beneficiosos para la agricultura, ya que se ha probado su viabilidad técnica y económica (comercial) como agentes controladores de patologías fungosas en vegetales; además, cumple con las normas de producción orgánica. Las principales características de los biofungicidas son:

- Inocuos o provocan un mínimo efecto en el medio ambiente, por lo que cada vez un mayor número de agricultores utilizan estos productos y no exclusivamente aquellos que se producen para el mercado orgánico.
- No se requiere una infraestructura demasiado costosa, ni una inversión elevada, para realizar la búsqueda u obtención de nuevas cepas de controladores naturales que estén más adaptadas a las condiciones locales de cada zona o país.

Sin embargo, es necesario desarrollar centros de comercialización en diversas zonas del país para abastecer el mercado nacional. Para ello es necesario investigar y desarrollar tecnologías de almacenamiento que permitan conservar el producto en condiciones de campo o con inversiones



de bajo capital, de manera que el producto esté disponible en condiciones de emergencia, tales como una pequeña lluvia seguida de altas temperaturas, las cuales favorecen el crecimiento y desarrollo de hongos.

Los resultados de los proyectos precursores cumplieron las expectativas planteadas, los recursos disponibles fueron suficientes y su impacto inmediato en las empresas relacionadas fue evidente. Prueba de esto fue la creación de Bio Insumos Nativa, empresa integrada por personal formado en la Universidad de Talca.

Uno de los factores claves, y el principal para la aplicación de esta nueva herramienta, fue el equipo humano que desarrolló el proyecto, conformado por investigadores y alumnos tesis. Además, fueron fundamentales otros aspectos como: la infraestructura disponible, el personal administrativo de la Universidad de Talca y del CET, el conocimiento y experiencia en control biológico por parte de los ejecutores de los proyectos, el apoyo empresarial y el interés de los agricultores por el éxito de ambos proyectos.

Los proyectos permitieron alcanzar los objetivos propuestos y, por lo tanto, disponer de una herramienta tecnológica validada, con costos razonables y a disposición de cualquier agricultor que la solicite. No obstante, la dinámica del uso de esta herramienta permitirá encontrar nuevas aplicaciones o mejoras tecnológicas, a fin de estar en permanente perfeccionamiento.

Las dificultades que se presentaron durante el desarrollo de los proyectos se relacionan con que en esa época estas temáticas se encontraban en la frontera tecnológica, lo que obligó a resolver problemáticas nuevas, sin mayores precedentes. Por las mismas razones, otra dificultad que se enfrentó fue en el ámbito de la comercialización de los productos.

Como se señaló anteriormente, esta herramienta puede ser utilizada en distintos tipos de cultivos y superficies, siempre y cuando se realicen ensayos previos para lograr la mayor eficacia y eficiencia en el control de enfermedades. Puede ser utilizada por pequeños, medianos y grandes agricultores; sin embargo, se requiere capacitar al personal que aplicará los biocontroladores, a fin de optimizar los resultados de su uso.

Cabe destacar que esta herramienta no es de uso exclusivo de los productores orgánicos, aunque se requiere un plan de manejo establecido del cultivo, ya que los efectos son de carácter preventivo y no paliativo. Por ello, los mejores resultados se obtendrán en predios en que exista un cierto grado de gestión, capaz de programar un plan de manejo fitosanitario preventivo.

De acuerdo a la experiencia con *Trichoderma*, actualmente no existen productos tan eficientes para controlar enfermedades fungosas en huertos orgánicos. Se realizaron ensayos con extractos vegetales, pero resultaron ser de mayor costo y menos eficaces.

Finalmente, estos dos proyectos precursores sentaron las bases para estudios posteriores y uso de *Trichoderma* en el país, y se consideran pioneros en la selección de cepas locales y definición de sus distintas formulaciones.

Los proyectos precursores han contribuido a la agricultura orgánica del país, ya que sus desarrollos permiten controlar algunas enfermedades fungosas de importancia en cultivos hortícolas y frutícolas de interés económico para distintas regiones del territorio nacional.

Anexos

Anexo 1. Enfermedades fúngicas controladas por *Trichoderma* en distintos cultivos

Anexo 2. Superficie (ha) de cultivos orgánicos y en transición, 2000-2006

Anexo 3. Agricultura orgánica y potencial comercial de *Trichoderma*

Anexo 4. Literatura consultada

Anexo 5 Documentación disponible y contactos

ANEXO 1. Enfermedades fúngicas controladas por *Trichoderma* en distintos cultivos

Especie controlada	Enfermedad	Cultivo
<i>Armillaria</i> spp.	Pudrición de raíces	Frutales
<i>Botrytis cinerea</i>	Botrytis o moho gris	Amplio rango: papa, tomate, frijol, fresa, mora, flores, tomate de árbol. Causa pudriciones en postcosecha.
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnosis	Amplio rango: arveja, papa, tomate, frijol, fresa, mora, flores, tomate de árbol. Causa pudriciones en postcosecha.
<i>Cylindrocladium scoparium</i>	Volcamiento	Pino
<i>Fusarium moniliforme</i>	Pudrición	Maíz
<i>Fusarium oxysporum</i>	Marchitamiento vascular	Papa, tomate, frijol, tomate de árbol, banana, arveja, maíz, clavel, otros.
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Carbón de las raíces	Maíz, frijol, melón, ajonjolí
Patógenos oportunistas presentes en el suelo o agua de riego	Pudrición de raíces y yemas	Caña de azúcar
<i>Phytophthora infestans</i>	Gota	Papa, pepino de agua
<i>Phytophthora</i> spp.	Pudrición	Tabaco, flores, frutales
<i>Pythium</i> spp.	Pudrición algodonosa, volcamiento	Amplio rango de cultivos
<i>Rhizoctonia solani</i>	Pudrición algodonosa, volcamiento	Arroz, zanahoria, tomate, lechuga, repollo, café, ajo, papa, arveja, cebolla, pimentón
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Pudrición algodonosa, volcamiento	Habichuela, tomate, lechuga, repollo, café, papa, ajo, arveja, cebolla, pimentón
<i>Rosellinia bunodes</i>	Llaga estrellada	s/i
<i>Rosellinia necatrix</i>	Pudrición blanca de raíces	Aguate, manzano

ANEXO 2. Superficie (ha) de cultivos orgánicos y en transición, 2000-2006

Especie	CULTIVO (ha)		Total
	Orgánico	Transición	
Alfalfa	43,5	7,0	50,5
Arándano	142,5	54,0	196,5
Arroz	7,1	-	7,1
Avena	106,6	12,0	118,6
Cebada	14,0	-	14,0
Cebolla	6,9	2,7	9,6
Centeno	2,5	-	2,5
Cerezo	88,7	24,5	113,2
Cranberries	4,7	-	4,7
Espárrago	176,1	19,3	195,4
Frambueso	161,5	18,4	179,9
Frutilla	21,5	0,3	21,8
Hierbas naturales	166,3	-	166,3
Kiwi	120,3	2,0	122,3
Limón	17,9	16,4	34,3
Linaza	39,7	-	39,7
Maíz	8,8	-	8,8
Mandarino	14,9	-	14,9
Manzano	529,2	225,5	754,7
Manzanilla	103,3	-	103,3
Melón	16,8	2,3	19,1
Moras	22,0	0,5	22,5
Naranja	10,0	-	10,0
Nogal	14,5	2,0	16,5
Olivo	593,2	136,4	729,6
Palto	648,1	52,2	700,2
Quínoa	31,5	-	31,5
Radiccio	24,9	-	24,9
Frambuesas	11,0	18,6	29,6
Rosa mosqueta	164,6	-	164,6
Semillas	6,5	-	6,5
Soya	2,0	-	2,0
Trébol	39,7	-	39,7
Trigo	4,7	-	4,7
Vid para pisco	2,9	-	2,9
Vinagrillo	6,5	-	6,5
Vid	1.378,6	1.095,7	2.474,3
Zapallo	12,5	-	12,5
Zarzaparrilla	-	2,8	2,8

Fuente: Eguillor (2007).

ANEXO 3. **Agricultura orgánica y el potencial comercial de *Trichoderma***

El potencial de los productos orgánicos es importante si se considera el aumento de la superficie nacional de cultivos orgánicos, que el año 2005 alcanzó un total de 48.043 ha, de las cuales 38.578 corresponden a recolección silvestre; 7.689 a cultivos; 1.085 a praderas artificiales y 690 a bosques. Estas cifras representan un incremento de 86% en la superficie total certificada, respecto la temporada 2002-2003.

A continuación se señala la evolución de la agricultura orgánica en Chile por rubro productivo, entre las temporadas 1997-1998 y 2005-2006.

Tipo	Superficie (ha) (orgánica y en transición)				Variación entre 2002/2003 y 2005/2006 (%)
	1997/1998	1999/2000	2002/2003	2005/2006	
Cultivos	1.813	1.920	5.806	7.689	32
Praderas	245	370	2.016	1.085	-46
Bosques	s/i	s/i	5	690	13,7
Recolección silvestre	1.568	1.550	17.968	38.578	115
Total	2.678	3.300	25.790	48.043	86

Fuente: Eguillor (2007).

Cabe destacar que en una década la superficie nacional destinada a agricultura orgánica aumentó desde 2.678 ha a más de 48.000 ha, es decir, se incrementó 18 veces.

Existe una gran diversidad de tipos de cultivos orgánicos que se están produciendo en Chile, así como de las superficies involucradas (Anexo 2). Destacan las viñas, con una superficie total de 2.474,3 ha, los manzanos (754,7), los olivos (729,6) y los paltos (700,2). Entre los berries destacan los arándanos(196,5) y los frambuesos (179,9).

Aunque en Chile y otros países no existen glosas especiales para los productos orgánicos (que den cuenta de cifras oficiales respecto los volúmenes de productos exportados y de sus valores de producción), se han realizado algunas investigaciones que muestran una aproximación de lo acontecido con la exportación de productos orgánicos en Chile. Según ProChile, entre 2004 y 2006 el valor de las ventas de productos orgánicos exportados para el período 1999-2004 habría aumentado de US\$ 2,9 millones a 12,8, con un crecimiento de 56%.

En síntesis, el uso de esta herramienta productiva está directamente relacionado con una actividad con grandes proyecciones de crecimiento; el hecho de reconocerse como una línea de productos nuevos, sanos, amigables con el medio ambiente, tiene un alto potencial futuro.

ANEXO 4. Literatura consultada

Eguillor, P. 2007. Agricultura orgánica. [En línea] <<http://www.odepa.gob.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=12EBDF263837BD74F700FBC971054B6E?idcla=2&idcat=99&idclase=2&idn=1978&volver=1>> [Consulta: febrero, 2008].

Durante la valorización de los proyectos precursores (febrero de 2008) se visitaron los siguientes sitios Web:

<<http://soil-fertility.com/trichoderma/espagnol/index.shtml>>
<http://www.agrupacionorganica.cl/quienes_somos/directorio/insumos.htm>
<<http://www.biocontroladores.cl/Prod/Trichoderma.htm>>
<<http://www.bionativa.cl/productos/fungicidas/trichoderma.htm>>
<http://www.controlbiologico.com/monog.trichobioll_introduccionl.htm>
<<http://www.geocities.com/ecologialuz/trichoderma12.htm>>
<http://www.iabiotec.com/trichod_ficha.htm>
<http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm>
<<http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v27n2/art07.pdf>>
<<http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/organicos/conceptos/principios%20agricultura%20organica.htm>>
<http://www.utralca.cl/pub_noticia.php3?pagina=1122>
<http://mazingher.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/1.html>

ANEXO 5. Documentación disponible y contactos

La publicación “Resultados y lecciones en Biocontrol de Enfermedades Fungosas con *Trichoderma* spp.”, así como información adicional sobre los proyectos precursores y los contactos con los productores y profesionales participantes en éstos, se encuentran disponibles en el sitio de FIA en Internet www.fia.gob.cl

La documentación de los proyectos precursores a texto completo (propuesta, informes técnicos y actividades de difusión, entre otras), puede consultarse en los centros de documentación de FIA, en las siguientes direcciones:

Santiago

Loreley 1582, La Reina, Santiago.
Fono (2) 431 30 96

Talca

6 Norte 770, Talca.
Fono-fax (71) 218 408

Temuco

Miraflores 899, oficina 501, Temuco.
Fono-fax (45) 743 348