

Resultados y Lecciones en Compost con Microorganismos para Control de Nemátodos en Vid de Mesa

Proyecto de Innovación en
Región de Coquimbo



Fundación para la Innovación Agraria
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Resultados y Lecciones en Compost con Microorganismos Benéficos para Control de Nemátodos en Vid de Mesa



**Proyecto de Innovación en
Región de Coquimbo**

Valorización a marzo de 2010



Agradecimientos

En la realización de este trabajo agradecemos la colaboración de los productores, técnicos y profesionales vinculados al proyecto, en especial a la ingeniera agrónoma Cecilia Céspedes, experta en agricultura orgánica y reciclaje, y a Andrés France, también ingeniero agrónomo, experto en nematología y control biológico, ambos investigadores de INIA-Quilmapu, así como a Carlos Sierra, licenciado en agronomía, experto en fertilidad de suelo y nutrición, investigador de INIA-Intihuasi.

**Resultados y Lecciones en
Compost con Microorganismos Benéficos
para Control de Nemátodos en Vid de Mesa**
Proyecto de Innovación en la Región de Coquimbo

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

Registro de Propiedad Intelectual N° 216.800
ISBN N° 978-956-328-126-2

ELABORACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Rodrigo Cruzat G. y Bernardita Mancilla V. - AQUAVITA Consultores Ltda.

REVISIÓN DEL DOCUMENTO Y APORTES TÉCNICOS

M. Francisca Fresno R. - Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

EDICIÓN DE TEXTOS

Gisela González Enei

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

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. Síntesis del negocio de la uva de mesa nacional	6
2.1 Superficie y variedades.....	6
2.2 Situación actual	7
3. Base conceptual y tecnológica de la herramienta	8
3.1 El sistema radicular de la uva de mesa.....	8
3.2 Nemátodos fitoparásitos	9
3.3 Alternativas del control de nemátodos	10
3.4 El compost y sus propiedades	11
3.5 Características de los microorganismos benéficos seleccionados.....	12
3.6 Consideraciones respecto de la herramienta	14
3.7 Conveniencia económica de la herramienta.....	14
4. Alcances y desafíos de la herramienta	17
5. Claves de viabilidad	18
6. Asuntos por resolver	18

Sección 2. El proyecto precursor	21
1. El entorno económico y social.....	21
2. El Proyecto.....	22
2.1 Metodologías y resultados de los ensayos	23
2.2 Los productores del proyecto hoy	30

Sección 3. El valor del proyecto	31
---	----

ANEXOS

1. Método Indore para fabricar una pila de compost.....	34
2. Literatura consultada	35
3. Documentación disponible y contactos	36



UNIVERSIDAD DE ÉVORA, PORTUGAL

Huevo de nemátodo *Melodogyne* sp., parasitado por hongo nematófago *Pochonia chlamydosporia*.

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 el mejoramiento de compost con microorganismos benéficos, a partir de un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA.

Se espera que esta información, que se ha sistematizado en este “documento de aprendizaje”,¹ aporte a los productores una alternativa orgánica de tratamiento para el control biológico de plagas de nemátodos² (aunque aún faltan temas por resolver) que, además, presenta beneficios secundarios como la estimulación del crecimiento radicular de las plantas estresadas.

Los elementos acá expuestos son clave para acondicionar la puesta en marcha y validar la aplicación de la herramienta “Uso de compost mejorado con microorganismos benéficos para el control de nemátodos en vid de mesa”.

► 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 un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (proyecto precursor),³ denominado “Incremento selectivo de microorganismos benéficos en compost para mitigar problemas de nemátodos fitoparásitos de la vid y aumentar la fijación no simbiótica de nitrógeno”.

El proyecto fue ejecutado en una primera etapa en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-QUILAMAPU (Región del Biobío), entre diciembre de 2004 y septiembre de 2006, y en una segunda etapa en INIA-INTIHUASI (regiones de Atacama y Coquimbo), entre septiembre de 2006 y septiembre de 2008. En la primera etapa colaboró la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción y en los tres últimos años la empresa exportadora Subsole y dos productores de compost: Comercial Rosario y Compost Chile.

¹ “Documento de Aprendizaje”: análisis de los resultados de iniciativas y proyectos con bajo potencial de aplicación inmediata por otros usuarios, pero con resultados valiosos y orientadores. Este documento consigna las oportunidades y los desafíos pendientes por abordar, y/o las limitantes que quedan por superar en las opciones analizadas.

² Phylum Nematoda, conocidos vulgarmente como gusanos redondos. Se han descrito más de 25.000 especies (un 25% del reino animal) y se estima que faltan muchas por describir.

³ “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.

El objetivo principal del proyecto fue mejorar la producción de la vid de mesa a través del incremento de la biomasa radicular, mediante compost enriquecido con microorganismos benéficos. Los objetivos específicos se detallan en la Sección 2. El proyecto precursor.

El proyecto constituye un aporte a la industria de la uva de mesa, ya que busca generar alternativas para el control de nemátodos fitoparásitos de manera menos contaminante y acorde al uso de recursos de la biodiversidad nativa.

Sin embargo, la experiencia que se rescata del proyecto precursor no representa una herramienta consolidada y efectivamente disponible para los usuarios, pues quedan pendientes asuntos importantes por resolver, los cuales se analizan en el punto 6 de la presente Sección. No obstante, el proyecto permite rescatar un conjunto de aprendizajes técnicos e identifica algunas líneas de trabajo que podrían desarrollarse a fin de fortalecer un paquete tecnológico de mayor impacto para el cultivo de la vid de mesa y, eventualmente, para otros cultivos afectados por la misma plaga o por la falta de materia orgánica.

El presente análisis se basa sólo en la Región de Coquimbo, ya que en ella los efectos negativos de la plaga de nemátodos sobre la producción han sido más evidentes, por lo que esta herramienta allí podría mostrar un impacto más relevante que en otras localidades.

► 2. Síntesis del negocio de la uva de mesa nacional

2.1 Superficie y variedades

El cultivo de la vid de mesa es el de mayor extensión en Chile en cuanto a frutales: 62.411 ha plantadas, según el último Censo Agropecuario y Forestal de 2007 (INE, 2007). Esta cifra representa el 19% del total de hectáreas nacionales plantadas con frutales mayores y menores.

La distribución de este cultivo es amplia en el territorio, aunque se concentra entre la Región de Atacama y la del Maule; también existen algunas hectáreas en zonas más extremas como en las regiones de Antofagasta y de La Araucanía. La mayor representación se encuentra en la Región de O'Higgins (16.923 ha), mientras que la Región de Coquimbo cuenta con 10.888, equivalentes al 17,5% nacional.

La variedad más desarrollada en Chile corresponde a Thompson seedless, tanto en volumen exportado como en número de hectáreas plantadas (Cuadro 1).

CUADRO 1. Participación en las exportaciones de las principales variedades de vid de mesa cultivadas en Chile, 2008

Variedad	Porcentaje * (%)
Thompson seedless	29
Red globe	19
Crimson seedless	17
Flame seedless	16
Sugraone	8
Otras	11
Total	100

* Los datos representan el 90% del volumen de fruta exportado.

Fuente: <www.fruittrade.cl>; <www.asoex.cl>.

2.2 Situación actual

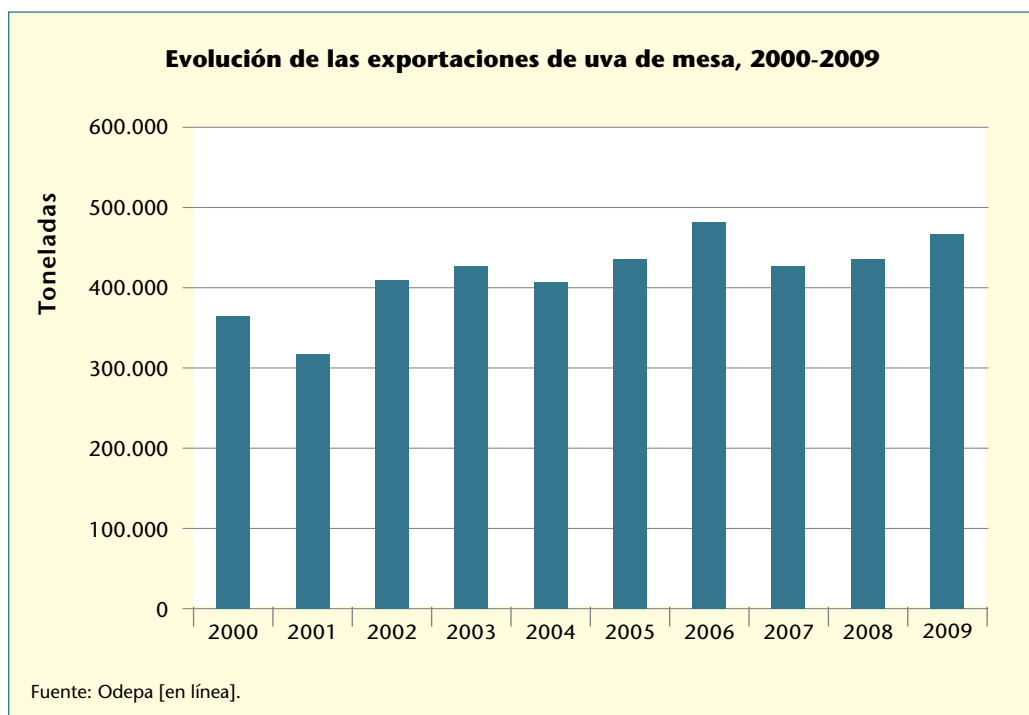
Chile muestra la mayor participación en el mercado de la uva de mesa de los países exportadores del hemisferio sur, con más de 900 mil toneladas totales exportadas. Le sigue Sudáfrica con cerca de 200 mil y, con cifras menores, Brasil, Perú y Argentina.

Los principales destinos de la fruta nacional son: Estados Unidos en primer lugar (53% de los envíos) y luego Asia con 22,7%, hasta el año 2006, ya que desde ese año Europa incrementó su consumo hasta un 25,3% (ODEPA [en línea]).

Los destinos de esta fruta son diversos y Chile ha sabido ubicar sus exportaciones, lo cual se vio reflejado el último año de crisis financiera mundial, cuando Estados Unidos contrajo levemente su requerimiento, pero Europa se mantuvo estable debido al contrapeso entre el occidente, que disminuyó su consumo, y el oriente, que lo aumentó. Lo mismo sucede con India, Rusia, Japón y China, que también han aumentado su demanda por uva de mesa, aunque este último produce 6,5 millones de toneladas durante su temporada (Freshplaza [en línea]).

Los envíos de uva de mesa nacional a Estados Unidos comienzan en la semana 49 desde las regiones de Atacama y de Coquimbo, y se extienden hasta la semana 21 desde el centro-sur del país. Cabe señalar que en las últimas siete semanas ocurre un traslape con la fruta de México. La caída abrupta de los precios se produce entre las semanas 3 y 5, desde 40 US\$/caja a 15; este precio se puede mantener en el rango de 12 y 20 hasta la semana 22. De esta manera, si la cosecha de contra estación de la zona norte no sufre atrasos climáticos, puede llegar a tener hasta siete semanas para ser transada con precios altos en ese mercado.

El siguiente gráfico muestra la evolución de las exportaciones nacionales de uva de mesa a Estados Unidos, durante el período 2000 – 2009.



► 3. Base conceptual y tecnológica de la herramienta

El proyecto evaluó dos aspectos: el control que ejercen los hongos sobre los nemátodos en vides y las condiciones del suelo con materia orgánica y bacterias fijadoras de nitrógeno, a fin de estimular el desarrollo de la biomasa radicular de la vid, de manera de restablecer los niveles productivos esperados del cultivo.

La importancia del control de los nemátodos y su interacción con el sistema radicular de la vid se tratan a continuación y se analiza la conveniencia del uso de esta herramienta.

3.1 El sistema radicular de la uva de mesa

El sistema radicular de las plantas es fundamental para su sujeción al suelo, la nutrición y la generación de hormonas, entre otros. De esta manera, si las raíces sufren daño físico o se encuentran en un medio que coarta su completa expresión, el estrés se transmite a la parte aérea de la planta, se reduce el aspecto general y se afecta la producción.

Aunque las raíces de la vid pueden alcanzar algunos metros de profundidad, se encuentran mayoritariamente en los primeros 60 cm del suelo, con gran proliferación en los primeros 30 cm. Su crecimiento está ligado a factores exógenos y endógenos como temperatura, humedad y reserva o competencia por carbohidratos con los frutos. Crecen principalmente hacia fines e inicios del invierno (agosto y marzo), aunque en la zona norte se ha observado que lo siguen haciendo durante el invierno, en bajas tasas, ya que el suelo de esa zona mantiene los 6°C mínimos requeridos para el desarrollo radicular.



La constante renovación de raíces es fundamental para una buena producción, ya que sólo las raicillas (raíces no suberizadas) están directamente relacionadas con la absorción de agua y nutrientes. Durante la primera semana son blancas, es cuando son más sensibles a condiciones adversas y presentan una mayor capacidad de absorción; el segundo día de emergencia la tasa de absorción de nitrógeno declina en 50% y ocho días después en 60%.

La observación del estado de las raíces permite determinar qué es lo que está influyendo en el decaimiento productivo de la planta y contrarrestar el problema de fondo para no aplicar productos químicos ineficientemente. Los factores que más afectan el normal desarrollo de las raíces son la baja temperatura, la falta de aireación o compactación (densidad aparente sobre 1,4 g/cc), el exceso de agroquímicos, pH muy extremos, excesiva o poca humedad y enfermedades o plagas.

3.2 Nemátodos fitoparásitos

Los nemátodos constituyen una de las plagas agrícolas más importantes para el cultivo de la vid (Cuadro 2). No presentan dispersión azarosa, sino que agrupada, y son fácilmente transportables a través de cursos de agua, de material vegetal, de herramientas u otros medios.

Según el género pueden provocar múltiples daños: algunos perforan las raíces con su aparato bucal, otros las anidan e incluso pueden portar virus. El efecto desvigorizante que se produce en la planta puede generar importantes repercusiones en el rendimiento, tales como más del 20% de pérdidas en producción.

CUADRO 2. Principales nemátodos plaga en vid

Nombre científico	Nombre común: nemátodo ...
<i>Meloidogyne ethiopica</i> y <i>M. hapla</i>	agallador
<i>Xiphinema index</i> y <i>X. americanum</i>	daga
<i>Pratylenchus thornei</i> y <i>P. neglectus</i>	necrosador de raíces
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	de cítricos
<i>Mesocriconema xenoplax</i>	anillado

Fuente: Magunacelaya (s/f).

En particular, en el norte del país se ha observado un daño más severo producto del ataque de nemátodos en vides, lo que se relaciona más con el cultivo y sus condiciones, que con el parásito mismo, no obstante que en esta zona se ha encontrado una gran cantidad de especímenes de estos géneros.

En la zona norte los parrones son relativamente antiguos, algunos tienen más de 25 años, y la mayoría, sino todos, están plantados sobre su propio pie, lo que implica ausencia de resistencia o tolerancia a nemátodos, a diferencia de lo que ocurre con los nuevos parronales injertados sobre portainjertos.

Además, con escasa o nula presencia de materia orgánica en el suelo la capacidad de las raíces para crecer y, por lo tanto, para recuperarse del daño de nemátodos es menor y depende completamente del manejo que se haga en el huerto. Por otro lado, la literatura señala que, si bien no se conoce el motivo exacto, es recurrente el hecho que los nemátodos fitoparásitos no proliferan bien en condiciones con abundante materia orgánica. Ello implica que si el productor no está consciente del daño de estos parásitos o bien no aplica un manejo adecuado, la posibilidad de ese parrón de aumentar sus niveles productivos es baja.

3.3 Alternativas del control de nemátodos

No existe una solución completamente eficaz para eliminar los nemátodos fitoparásitos del suelo, por lo que en general se busca prevenir su aparición, su ataque al cultivo y/o su daño económico. Para ello existen varias alternativas dependiendo de la etapa del cultivo o del grado de infestación.

Control preventivo

Estas medidas deben ser aplicadas antes del establecimiento del cultivo, salvo la última. La efectividad de éstas se asocia fuertemente con la presión de la plaga y la oportunidad del manejo, por lo que mientras más temprano se apliquen, los resultados serán mejores.

- **Rotación de cultivos:** entre la especie objetivo y otra que no sea hospedera del nemátodo; excepto en el caso de *Meloidogyne* spp. ya que puede alojarse hasta en especies nativas.
- **Portainjertos tolerantes o resistentes:** no existe el portainjerto que se comporte igual frente a todos los géneros de nemátodos; además, cuando muestran buena resistencia para uno, son poco tolerantes a otros. Los más utilizados en Chile son Ramsey, Harmony, Freedom, Saltcreek, Dodridge, 1613 y 1616.
- **Esterilización del suelo o de las raíces:** a través de la solarización o el uso de calor. En este último caso se debe conocer la resistencia de cada cultivo al calor, para establecer la temperatura y los minutos de exposición.
- **Fumigación con productos químicos:** hasta hace poco se ocupaba bromuro de metilo por ser de amplio espectro, pero debido a que debe ser eliminado completamente a partir del año 2015,⁴ se han buscado alternativas como el metamsodio y el 1,3-D. Cabe señalar que estas fumigaciones sólo reducen las poblaciones de nemátodos, no las eliminan.
- **Enmiendas orgánicas:** proporcionan diversidad de microorganismos que compiten o predan a los nemátodos. La enmienda también potencia el vigor de las raíces, incluso cuando se agregan tratamientos enraizantes cuya promoción del desarrollo radicular es conocida por tener un efecto indirecto en la protección contra los nemátodos.

Control activo

La mayoría de estos tratamientos deben ser aplicados en cada temporada o según cómo las poblaciones de nemátodos vayan reaccionando a ellos. El o los tratamiento/s elegido/s depende/n del grado de infestación.

- **Nematicidas químicos:** pueden ser carbamatos, como FURADAN® que se suministra vía riego y es tanto sistémico como de contacto, u organofosforados, como Nema-cur y Mocap que actúan por contacto y se aplican vía riego por goteo.
- **Nematicidas orgánicos:** son a base de hongos parásitos o de extractos vegetales tóxicos para los nemátodos. Algunos ejemplos son Biostat, a base de *Paecilomyces lilacinus* que muestra un 91% de control biológico al infectar sobre nemátodos, y QL AGRÍ 35, desarrollado con altas concentraciones de extracto de quillay y que actúa por contacto. Ambos productos pueden ser aplicados vía riego.

⁴ Chile está suscrito al Protocolo de Montreal desde 1987; por ser país en vías de desarrollo debe eliminar gradualmente el uso de este plaguicida (hasta el año 2015).

- **Cultivos trampa:** aunque éstos pueden ser comerciales en sí, como raps, peonía o clavelón, se utilizan por su gran atrayente de nemátodos, por lo que es mejor cultivarlos una vez que se detectó una población de parásitos que pudiese ser perjudicial. Se siembran entre el cultivo comercial del que se busca alejar a los nemátodos, alrededor o en la entre hilera.
- **Enmiendas orgánicas frescas:** consiste en agregar material de desecho animal fresco, como estiércol de pavo, ya que su descomposición *in situ* libera amoníaco que tiene efectos nematicidas.⁵

En síntesis, la herramienta “Uso de compost mejorado con microorganismos benéficos para el control de nemátodos en vid de mesa” se posiciona con un doble propósito para mejorar la oferta de soluciones dirigidas al control integrado de la plaga: es preventiva, debido a la materia orgánica y sus ácidos, que desincentivan el aumento de la población de nemátodos fitoparásitos y su llegada; y es activa, debido a los hongos nematicidas seleccionados y agregados al compost, que actúan a distintos niveles disminuyendo el número de individuos no deseados.

3.4 El compost y sus propiedades

La herramienta considera la aplicación de una enmienda orgánica específica y mejorada con microorganismos benéficos inoculados, con dos objetivos: impulsar el desarrollo radicular y actuar como matriz alimenticia y habitable para los inóculos mientras se produce la aplicación.



El compost corresponde al producto estabilizado que resulta de la descomposición aeróbica de diferentes materias primas orgánicas de tipo vegetal y animal, particularmente desechos, del cual finalmente no se puede reconocer su origen.

Su elaboración se realiza mediante pilas de volteo que pueden ser de distintos tipos, algunas más comunes que otras (por ejemplo, el método Indore, Anexo 1), no obstante todas contienen capas de material vegetal, guano y un poco de suelo, el que aportará los microorganismos para la descomposición. Se debe controlar la humedad (45-60%) rociando la pila con agua en verano y

El compost y otras enmiendas orgánicas

En general todas aportan materia orgánica y ayudan a mejorar las propiedades del suelo; sin embargo, difieren en su origen y forma de preparación, así como en el contenido de microbiota y nutrientes. Esto último depende de si sufrió un proceso de descomposición inicial o si es aplicada en fresco o verde.

Algunas enmiendas procesadas son:

- turba ácida y no ácida: producidas bajo medio saturado de agua;
- humus: material vegetal degradado por lombrices;
- lodos estabilizados: reducción de residuos orgánicos a través de un proceso anaeróbico.

⁵ Existen contraindicaciones para el uso de guano o estiércol fresco, especialmente en las buenas prácticas agrícolas, BPA, aspecto que se debe considerar mediante la evaluación pertinente.

abriéndola en invierno, cuando está al aire libre. También se requiere controlar la temperatura mediante volteos para aumentarla por zonas y así permitir la sucesión de especies saprófitas. Este proceso conlleva la muerte de organismos patógenos o potencialmente tóxicos para las plantas y además estabiliza olores, concentraciones de elementos nutricionales, pH, relación C/N y elimina semillas de malezas.

La Norma Chilena Oficial N° 2.880⁶ define los requisitos para clasificar los tipos de compost y los parámetros que deben tener según su clasificación (Cuadro 3), como la cantidad de ácidos orgánicos, la relación C/N y los contenidos de sales. Además regula que los compost estén completamente maduros al momento de su aplicación, lo que permite que sean recolonizados por la fauna del suelo.

CUADRO 3. **Requisitos del compost según la Norma Chilena 2880**

CLASE	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Materia orgánica (%)	Relación C/N	Nitrógeno total (%)
A	5 - 8,5	< 3	> 20	< 25	> 0,5
B	5 - 8,5	< 8	> 20	< 25	> 0,5

Fuente: Céspedes (2004).

La principal propiedad del compost es su gran aporte de materia orgánica y los consiguientes numerosos beneficios aprovechables por los cultivos:

- Favorece la formación y estabilización de agregados que protegen de procesos erosivos y reducen la densidad aparente.
- La materia orgánica aumenta el espacio poroso del suelo, mejorando la penetración de raíces, el movimiento del agua y la actividad de la mesofauna, como las lombrices, que contribuyen a la aireación del suelo.
- Presenta un efecto buffer en suelos ácidos y alcalinos.
- Estimula la actividad de los microorganismos por ser buena fuente de minerales y carbono: los organismos saprófitos ayudan a mineralizar los elementos complejos, y los depredadores atacan, colonizan o se alimentan de las plagas y patógenos para la agricultura.

Las concentraciones nutricionales del compost dependen del origen de las materias primas y deben ser analizadas químicamente caso a caso. Sin embargo, es común para todos los tipos de compost que no presenten cantidades de nutrientes suficientes que reemplacen completamente las aplicaciones de fertilizantes. Aun así, un cultivo poco demandante podría reducir en gran medida estos aportes externos, si se le mantiene constantemente con materia orgánica y microorganismos para que los nutrientes estén disponibles.

3.5 Características de los microorganismos benéficos seleccionados

Hongos nematocidas

Existen diversas especies de hongos con diferente capacidad de control de nemátodos, así como también otros que son entomopatógenos. Algunos son cazadores y atrapan los nemátodos para alimentarse, otros parasitan sus huevos (como el género *Beauveria*), sus estados juveniles o las

⁶ NCh2880. Of2004. Compost - Clasificación y requisitos. Publicada en el Diario Oficial en 2005.



Aplicación de compost en viñas, en Vicuña

hembras y otros liberan toxinas que los inhiben o matan. Por ejemplo, el género *Pochonia* tiene la habilidad de adherirse a la cutícula del nemátodo, para luego ingresar al cuerpo a través de un tubo germinativo.

Los hongos nematocidas pueden ser parte de la microflora del compost, y también pueden colonizar la rizósfera de las plantas, con lo cual protegen a las raíces del ataque de los nemátodos que las utilizan en su alimentación. Sin embargo, en la prospección de las muestras de suelo se determinó que, en general, no se encuentran en tipos de suelos específicos, lo cual es probable que se deba a su inespecificidad respecto los géneros de nemátodos dañinos, por lo que pueden encontrarse también en cualquier tipo de suelo con presencia de nemátodos saprófitos.

Bacterias fijadoras de nitrógeno (N)

Las bacterias diazotróficas (capaces de crecer sin fuentes externas de N fijado) se encargan en gran parte de la fijación biológica de este elemento desde el ambiente y pueden ser de asociación simbiótica o de vida libre. De estas últimas, las del género *Azotobacter* son las más adaptables a las condiciones climáticas y de suelo de Chile.

Esta bacteria utiliza el N atmosférico para la síntesis de proteínas celulares; al morir las proteínas son mineralizadas en el suelo, con lo cual el nutriente queda disponible para el cultivo. Además, proporciona otros beneficios como: mejorar la solubilidad de la materia orgánica en el suelo, liberar sustancias que controlan hongos fitopatógenos como *Fusarium* y producir hormonas vegetales; incluso algunos autores reportan la inhibición de la eclosión de huevos de *Meloidogyne*.

Por otra parte, *Azotobacter* es sensible al pH ácido y a altas concentraciones salinas; además, presenta una alta tasa de respiración y de consumo de materia orgánica, por lo que no prolifera en suelos pobres. Sin embargo, es el género más adaptable a las condiciones edafoclimáticas de Chile y es el más frecuente en la rizósfera de distintas especies vegetales. Por estas características se seleccionó en el proyecto precursor y se aplicó materia orgánica para proporcionarle un hábitat propicio para su reproducción y así contribuir a la fijación de nitrógeno del cultivo.

3.6 Consideraciones respecto de la herramienta

El proyecto precursor se basó en la posibilidad de incorporar una solución más a las alternativas ya existentes para el control de nemátodos, que sea orgánica y que contribuya a los parámetros de una producción sustentable. Para ello se seleccionaron hongos nematicidas silvestres o nativos y bacterias de vida libre fijadoras de nitrógeno. Al mismo tiempo se buscó crear un ambiente nutritivo y activador del crecimiento para las raíces de cultivos que se encontraban deprimidos, a base de una enmienda orgánica compostada.

Aunque el proyecto precursor visualizó el alcance que la herramienta podría tener en todo el territorio nacional, dada la extensión de la plaga en cuestión los ensayos se desarrollaron sólo en la Región de Coquimbo, ya que en ella los efectos negativos en la producción han sido más evidentes: un 30% de las hectáreas regionales aptas para el cultivo se encuentren sin producir o con producciones decrecientes, por lo que la herramienta allí podría mostrar un impacto más relevante que en otras localidades.

3.7 Conveniencia económica de la herramienta

La herramienta “Uso de compost mejorado con microorganismos benéficos para el control de nemátodos en vid de mesa” es una alternativa para su control y para el desarrollo de la biomasa radicular de vides, aplicable especialmente en el norte chico del país que es donde se producen los mayores daños asociados a estos parásitos.

Sin embargo, esta herramienta también se puede aplicar en otras regiones del país afectadas por los mismos problemas, ya que el 60% de la superficie plantada con viñedos muestra presencia de nemátodos y en más del 20% el ataque es grave. Se estima que también podría implementarse en otros cultivos, con las adaptaciones pertinentes.

Los nemátodos pueden llegar a cualquier predio a través del agua, de material vegetal o por la aplicación de malas labores de campo; incluso podrían estar presentes en hospederos alternativos en zonas de especies nativas. Por ello es necesario prevenir y controlar, especialmente mediante una tecnología amigable con el ambiente y la salud de los consumidores, como el control biológico, no sólo por el riesgo de contaminación que representan las fumigaciones y los nematicidas químicos, sino porque actualmente este tipo de herramientas constituyen parte de las exigencias de los mercados.

Considerando que la masificación de los portainjertos de vid ocurrió hace pocos años atrás y que el norte chico aumentó su superficie plantada en 38% durante la última década, es muy probable que cerca de la mitad de las plantaciones estén a pie franco. Esto disminuye las medidas preventivas que se establecieron en el cultivo contra los nemátodos, sin embargo, no sólo estos huertos son los que sufren una baja en su rendimiento. Por ello, la herramienta pretende mejorar la condición de las plantaciones ya establecidas, así como prevenir y controlar la infestación de cultivos nuevos.

Para ilustrar el valor de la herramienta se consideraron cuatro aspectos:

- Un cultivo de vid de mesa en plena producción en la Región de Coquimbo.
- Una hectárea para la comparación.
- Control de nemátodos durante cuatro temporadas, para observar el impacto del daño de la plaga y la recuperación del cultivo.
- Dos opciones de control: nematicida químico y nematicida orgánico a base de compost.

Bases de cálculo

Control con compost (Cuadro 4):

- Se aplica una enmienda por temporada.
- Se requieren 2 jornadas hombre/ha (JH) para la aplicación.
- Valor JH: \$ 9.600 (incluye impuestos).
- Se aplican 10 t/ha de compost con densidad 0,8.
- Costo del compost puesto en la Región de Coquimbo: \$ 20.000/m³.
- Valor dólar: \$ 500.

Ítem	JH	Costo unitario (\$)	Total \$/ha	Total US\$/ha
Aplicador	2	9.600	19.200	38
Compost			250.000	500
Total			269.200	538

Control químico convencional (Cuadro 5):

- Se aplica dos veces por temporada.
- Se aplica en el sistema de riego; para preparar la solución se necesita 1 hora hombre (HH).
- Valor HH: \$1.200.
- Se aplican 10 l/ha de carbofurano como FURADAN® 4F
- Costo producto: \$ 17.650/l.
- Valor dólar: \$ 500.

Ítem	Unidad	Costo unitario (\$)	Total \$/ha	Total US\$/ha
Aplicación	1	1.200	1.200	2
Producto FURADAN® 4F	10	17.650	176.500	353
Total/aplicación			177.700	355
Total/temporada*			355.400	711

* Dos aplicaciones.

Esta información muestra que la alternativa orgánica tiene un precio menor (\$ 269.200) que la química (\$ 355.400). Sin embargo, debe considerarse la eficacia del producto para conocer el costo final del tratamiento, desde que la plaga causa un daño económico hasta que el cultivo vuelve a la producción normal (cuatro temporadas). Según los coordinadores del proyecto precursor, la eficacia estimada en ambos casos es de:

- compost: 35%
- químico: 70%

Ensayo de simulación

Se simuló el ataque de nemátodos y su control en un huerto de vid de mesa en plena producción en la Región de Coquimbo, que puede producir 2.000 cajas/ha (caja de 8,2 kg). El año cero corresponde al año de ataque y se considera un valor de retorno a productor de US\$ 0,9/kg; el daño económico de la plaga se considera en un 20% de la producción (Cuadro 6).

CUADRO 6. Incidencia económica de la infestación de nemátodos hasta el año 5

ÍTEM	AÑO						
		0	1	2	3	4	5
Producción huerto sano (kg/ha)		16.400	16.400	16.400	16.400	16.400	16.400
Producción huerto plagado (kg/ha)	20%	16.400	13.120	10.496	8.397	6.717	5.374
Pérdida producción (kg/ha)		0	3.280	5.904	8.003	9.683	11.026
Pérdida valor producción (\$/ha)		0	1.476.000	2.656.800	3.601.440	4.357.152	4.961.722

Los cuadros 7 y 8 muestran los valores para ambas alternativas de control, considerando el costo de la aplicación, la eficacia del producto y la recuperación de la producción de acuerdo al tratamiento.

CUADRO 7. Costos del control orgánico (compost) de nemátodos por temporada y acumulado

ÍTEM	AÑO						
		0	1	2	3	4	5
Recuperación post aplicación (kg/ha)	35%	16.400	13.120	14.268	15.014	15.499	16.400
Costo tratamiento		0	269.200	269.200	269.200	269.200	0
Merma producción		0	1.476.000	959.400	623.610	405.347	0
Total costo (temporada)		0	1.745.200	1.228.600	892.810	674.547	0
Total costo (acumulado)		0	3.221.200	4.449.800	5.342.610	6.017.157	0

CUADRO 8. Costos del control químico de nemátodos por temporada y acumulado

ÍTEM	AÑO						
		0	1	2	3	4	5
Recuperación post aplicación (kg/ha)	70%	16.400	13.120	15.416	16.105	16.311	16.400
Costo tratamiento		0	355.400	355.400	355.400	355.400	0
Merma producción		0	1.476.000	442.800	132.840	39.852	0
Total costo (temporada)		0	1.831.400	798.200	488.240	395.252	0
Total costo (acumulado)		0	1.831.400	2.629.600	3.117.840	3.513.092	0

En las condiciones señaladas, el tratamiento químico es ampliamente más económico que el orgánico, no obstante, se debe considerar las externalidades que ambos producen, lo que se analiza a continuación.

Con relación al producto orgánico, existen beneficios anexos al efecto nematicida principal que pueden influir en aumentar su eficacia:

- El compost actúa tanto de manera activa como preventiva: aunque no tiene un efecto tan inmediato como los químicos, se mantiene casi hasta la siguiente temporada debido a la reactivación de los microorganismos.
- El objetivo de la reaplicación anual de compost es reponer el volumen de materia orgánica perdida producto de la mineralización, por lo tanto, aunque en el análisis se consideró la misma cantidad cada año, se estima que el aporte para las siguientes temporadas debería ser sólo de mantención, llegando incluso a la mitad, lo que reduciría los costos.
- El cultivo de la vid de mesa no presenta grandes requerimientos de nitrógeno, por lo que podrían suplirse con el aporte de compost, aunque con lenta liberación. Aun así, se lograría un pequeño ahorro que ayudaría a justificar la inversión en la aplicación de la enmienda orgánica.

- Existe otra posibilidad más económica de abastecimiento de compost derivada de su producción predial mediante los desechos vegetales de la producción y la adquisición de la base animal. Esta opción no es muy eficaz para la zona norte dada la escasa diversidad de materias primas y su alta salinidad, aunque es aplicable en las regiones del centro y sur. Cabe señalar que los ejecutores del proyecto precursor mencionan que es posible realizar estudios orientados a la producción de un vehículo orgánico envasado, que contenga los inóculos de hongos y bacterias a fin de mejorar las producciones locales de compost.

Con relación a los productos químicos (plaguicidas), en los huertos orgánicos su uso está prohibido por varias razones: principalmente porque existe el riesgo de contaminación de los productos, así como de lixiviar y contaminar las napas subterráneas; además, en su mayoría no son específicos, lo cual afecta directamente a la biodiversidad del lugar. Por lo tanto, para este tipo de producciones el uso de compost es casi imprescindible, por lo que probar sus efectos nematicidas o que puede ser mejorado para ello, es claramente una ganancia como herramienta.

► 4. Alcances y desafíos de la herramienta

Control de nemátodos

Aunque no se observaron diferencias significativas entre el compost inoculado (herramienta) y el compost solo, ambos constituyen un efectivo control de nemátodos ya que disminuyen considerablemente sus poblaciones.

Desarrollo radicular

Se observó un claro efecto benéfico en el desarrollo de las raíces producto de la aplicación de la enmienda orgánica frente al testigo, aunque no se obtuvieron los resultados esperados al inocular el compost con bacterias fijadoras de nitrógeno.

Aplicación en otras especies frutales

Su uso es aplicable en otras especies y no debe considerarse exclusivo de vides, ni de la zona del norte chico, especialmente en lo referente al control de nemátodos. Respecto del desarrollo radicular, es probable que el efecto sea similar aunque se recomienda estudiar caso a caso, dadas las diferencias del tipo de suelo y de los requerimientos del cultivo

Alternativa al control convencional

Esta herramienta es una alternativa al control convencional químico, ya que viene a integrar toda la gama de soluciones existentes. Sin embargo, es recomendable evaluar su aplicación en cada caso e implementar un control integrado, ya que en huertos con manejo convencional el control biológico natural está, muy probablemente, deprimido.

Herramienta de cultivo orgánico

Para este tipo de producción, con impedimentos en cuanto al uso de plaguicidas químicos, el uso de compost se presenta como una alternativa completa que no sólo sirve para la fertilización, sino también como solución para el control de nemátodos.

► 5. Claves de viabilidad

Los elementos a considerar para que la aplicación de esta herramienta sea exitosa se relacionan con aspectos propios y de los usuarios, como se señala a continuación.

Calidad y homogeneidad del compost

Antes de aplicar el compost es necesario realizar un análisis físico y químico, incluido el compost comercial, ya que un error en los parámetros puede deteriorar aún más la planta, principalmente si lleva exceso de salinidad y se utiliza en la zona norte. Esta situación podría evitarse si hubiese una institucionalidad certificadora de las producciones comerciales, que fiscalizara el procedimiento y certificara las partidas, asegurando que todos los años se ofrece un producto equivalente.

Vehículo orgánico para los microorganismos

La aplicación de hongos nativos nematocidas y de bacterias azotobacter debe, necesariamente, realizarse a través de una fuente de materia orgánica adecuada como el compost, principalmente por la alta tasa de respiración que poseen.

Oportunidad de la implementación

Aunque la herramienta funciona tanto de manera activa como preventiva, produce un mayor efecto al ser aplicada en suelos por plantar. De esta manera se comienza a trabajar con un suelo libre de nemátodos y se ahorra el maltrato a las plantas jóvenes

► 6. Asuntos por resolver

Es importante advertir que si bien el proyecto precursor resolvió numerosas inquietudes, así como los objetivos propuestos, también se plantean los siguientes desafíos pendientes para que la herramienta sea aplicable.

Disponibilidad del compost

La escasa oferta de materia orgánica en el norte chico hace que probablemente ésta siempre sea una zona importadora del material para fabricar compost, lo que encarece considerablemente su uso. Sin embargo, sería interesante hacer una prospección de las cantidades que pudiese ofrecer cada industria local si hubiese una asociación, como el caso de: algas marinas no exportables, residuos de la industria pesquera local, desechos de las 25.000 ha de cultivos anuales (como papa), y guano de cabra, que es la actividad ganadera más importante de la región.

Análisis biológico del compost

Se requiere analizar las poblaciones microbianas colonizadoras del compost terminado, ya que podrían estar ocupando los mismos nichos que los inóculos, lo cual influiría en su desempeño y daría origen a los resultados vistos.

También se debe evaluar la posible competencia entre las bacterias y los hongos seleccionados e inoculados, que explicaría el bajo rendimiento del tratamiento de compost completo en los ensayos.

Indicadores de efectividad

La herramienta necesita medir su tiempo de acción en el control y la eficacia frente a la plaga, así como su diferencia entre la aplicación de compost solo o compost inoculado. Para ello es necesario mantener ensayos por lo menos por tres temporadas, para medir la progresión de las poblaciones de nemátodos y también las de hongos. Lo ideal sería usar un tratamiento con control químico para comparar su acción progresiva.

Definición del espectro de acción

El control de los hongos seleccionados no pudo ser medido en todas las especies de nemátodos de importancia agrícola, como *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, ya que el recuento de sus poblaciones fueron demasiado dispares, por lo que no se pudo hacer un seguimiento. Dada su importancia comercial, se recomienda evaluarlos en maceta.

Tasa de acumulación de materia orgánica

Se requiere establecer cuánto es la pérdida de materia orgánica del compost aplicado producto de la mineralización en la zona norte, para conocer el volumen exacto que se debería aplicar cada temporada, a fin de mantener la cantidad de dicha materia. Este valor no es el mismo para todas las zonas del país, ya que en regiones más lluviosas también es necesario considerar pérdidas por lixiviación, por lo que esta variable debe estudiarse individualmente.

SECCIÓN 2

El proyecto precursor

► 1. El entorno económico y social

El 34% de la superficie plantada con frutales en la Región de Coquimbo corresponde a uva de mesa. Ésta se ubica en los valles de Limarí, Elqui y Choapa y el primero de ellos contiene el 72% de las hectáreas. De toda la superficie plantada, el 76% se encuentra en predios de 0,1 a 10 ha y, principalmente, entre 1 y 5 ha, por lo que no es fácil encontrar plantaciones extensas superiores a 50 ha.

El negocio de la uva de mesa representa un tercio de la actividad frutícola de la Región, donde se pueden encontrar importantes asociaciones agrícolas enfocadas en generar capacidad de negociación frente a las exportaciones, e inversión en tecnología, como riego tecnificado, importante para contrarrestar la escasez de agua y salinidad del suelo.

Por otra parte, esta zona también cuenta con una importante capacidad instalada para la producción. Al año 2008 se contabilizaban 180.000 m³ de cámaras de frío, 29.000 m³ de cámaras de prefrío y 244 empresas con capacidad de embalaje.



Sin embargo, los productores se enfrentan constantemente con diversas amenazas para el sector:

- una muy importante es la reducción en la producción, donde se observan caídas desde 1.700 a 1.000 cajas/ha;
- un tercio de las plantaciones son afectadas por desgaste de las plantas constantemente expuestas a condiciones poco favorables y a plagas, como los nemátodos, que agotan aún más las raíces;
- la escasez y movilidad de la mano de obra que, junto con su aumento de costo producto de la competencia que ejerce el rentable sector minero, provoca que este ítem sea el 60% de los costos totales de producción.

Lo anteriormente descrito corresponde al escenario existente al inicio del proyecto precursor; así, la justificación de éste es entregar una herramienta que permita mejorar el rendimiento del cultivo de la vid de mesa, solucionando los problemas radiculares que han ido en desmedro de la producción en el norte chico.

► 2. El Proyecto

Los análisis y resultados que se presentan en este documento se desprenden de las experiencias y lecciones del proyecto “Incremento selectivo de microorganismos benéficos en compost para mitigar problemas de nemátodos fitoparásitos de la vid y aumentar la fijación no simbiótica de nitrógeno”. Éste se realizó en conjunto entre el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de las regiones del Biobío (INIA-QUILAMAPU) y Atacama y Coquimbo (INIA-INTIHUASI), con la colaboración de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción y de empresas productoras de compost y una exportadora: Comercial Rosario, Compost Chile y Subsole.

El objetivo principal del proyecto fue mejorar la producción de la vid de mesa a través del incremento de la biomasa radicular, mediante compost enriquecido con microorganismos benéficos.

Los objetivos específicos fueron:

- Seleccionar, producir masivamente y evaluar: los aislamientos de hongos nativos para el control de nemátodos fitoparásitos y la eficiencia de cepas nativas de bacterias fijadoras de nitrógeno.
- Establecer una metodología para la inoculación de compost con organismos benéficos y conocer su dinámica poblacional en el compost inoculado.
- Determinar el aumento de biomasa radicular de la vid al aplicar compost mejorado.
- Determinar el grado de control de los nemátodos parásitos de la vid y la cantidad de nitrógeno fijado con la aplicación de compost mejorados.
- Evaluar los efectos benéficos de los compost mejorados en plantaciones comerciales de vid.

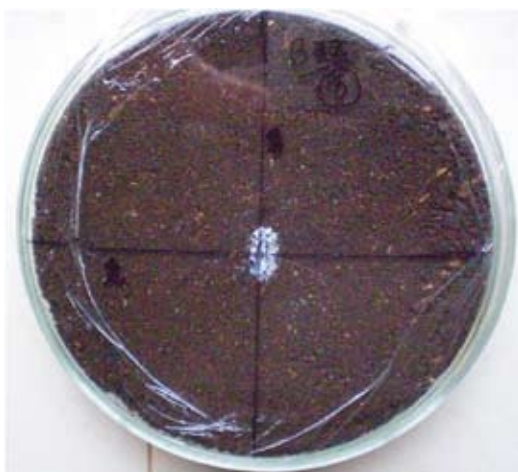
2.1 Metodologías y resultados de los ensayos

A continuación se resumen los principales resultados de las seis evaluaciones y ensayos desarrollados.

- **Obtención y selección de cepas nativas de hongos nematocidas**

La primera etapa del proyecto consistió en realizar un muestreo de suelo entre las regiones de Atacama y de Aysén, con el fin de recolectar poblaciones de hongos y bacterias nativas provenientes de suelos con diferentes características y grados de intervención antrópica.

De las 223 muestras colectadas, 40 contenían organismos fúngicos puros y con actividad patogénica sobre nemátodos. Ello se determinó sembrando 0,5 g de cada muestra de suelo en placas de Petri junto con 100 ejemplares de un nemátodo sebo para atraer a los hongos. Se utilizó *Steinernema feltiae* por su facilidad de producción *in vitro* de forma estéril.



Crecimiento de hongo nematopatógeno en compost

Los nemátodos infectados fueron trasladados a otras placas para extraer la cepa de hongo, reproducirla como colonia pura e inocular otros ejemplares sanos de nemátodos, cumpliendo así los postulados de Koch.⁷ Luego, a cada colonia se las dejó proliferar para observar sus características e identificarlas mediante claves dicotómicas; se reconocieron 13 géneros de hongos patógenos de nemátodos (Cuadro 9).

CUADRO 9. Hongos con actividad patogénica detectados en las prospecciones de suelo y frecuencia relativa de aparición

Géneros	Frecuencia (%)
<i>Arthrobotrys</i>	12,5
<i>Cadelabrella</i>	2,5
<i>Catenaria</i>	2,5
<i>Cylindrocarpon</i>	2,5
<i>Fusarium</i>	12,5
<i>Hirsutella</i>	12,5
<i>Metarhizium</i>	2,5
<i>Monoacrosporium</i>	20,0
<i>Nematoctonus</i>	10,0
<i>Paecilomyces</i>	7,5
<i>Pochonia</i>	5,0
<i>Trichoderma</i>	7,5
<i>Streptomyces</i>	2,5

⁷ Postulados de Koch: corresponden a los cinco criterios necesarios para establecer la relación causal entre un organismo específico y una enfermedad específica; es decir, demuestran la asociatividad de los síntomas con el signo, luego de aislar el agente patógeno desde un organismo enfermo, reproducir un cultivo puro, inocularlo en un organismo sano y que éste presente los mismos síntomas que el primero enfermo.

- **Obtención y selección de cepas nativas de bacterias fijadoras de nitrógeno (N)**

Las bacterias se obtuvieron de las mismas muestras de suelo recolectadas para los hongos, señaladas en el punto anterior. El método de aislamiento correspondió a diluciones seriadas de los suelos 1:10 y 1:100; luego se sembraron 0,5 ml de la disolución en placas con medio de cultivo libre de N, se incubaron a 28°C y se repicaron para obtener cultivos puros. Las muestras no se tamizaron, ya que ello implica secar el suelo, lo que podía afectar a las bacterias.

Para identificar los aislamientos bacteriales se caracterizó color, forma y grado de mucosidad de las colonias, así como tipo de agrupación. También se aplicó tinción de Gram y se midió la capacidad de la colonia de cambiar el pH del medio. De esta manera se obtuvieron 101 cepas distintas fijadoras de N, las que fueron caracterizadas bioquímicamente y de acuerdo a su capacidad de crecimiento en medio exento de N. Finalmente se seleccionaron sólo 10 grupos de bacterias, todas pertenecientes a *Azotobacter chroococcum*.

Estas cepas fueron incubadas en constante agitación por una semana, a fin de determinar aquellas que alcanzaron la población final mínima recomendada para una producción comercial. Éstas fueron: Az132, Az182, Az192, Az193, Az194 y Az210, que llegaron a 10^7 células/ml; luego fueron inoculadas en compost a la concentración de 5×10^5 UFC/gr, cada una en una maceta distinta, donde se colocó 50% de vermiculita y 50% de compost. En ellas se sembraron 20 semillas de trigo var. Pandora y después de 75 días se evaluó: altura de la planta, peso, materia seca y rendimiento, como parámetros de crecimiento y producción, para determinar experimentalmente la eficiencia en la fijación de N.

Los resultados de esta prueba arrojaron que no había diferencia estadística entre los tratamientos y el testigo en los parámetros de crecimiento. Sin embargo, Az193 y Az210 lograron una diferencia significativa en el peso total de granos/maceta, superior al testigo, debido a que el número de semillas por espiga fue mayor. Estos aislamientos fueron seleccionados en primera instancia para ensayo en terreno, aunque finalmente se masificó 2,5 l de la cepa Az132 en medio líquido Brown con una población de 10^7 UFC/ml, para ser inoculada en forma líquida al compost ya que demostró tener la mejor tasa de reproducción.

- **Determinación de la metodología para la inoculación de compost con organismos benéficos**

Para algunos de los ensayos posteriores se utilizó compost donado por la empresa Rosario y para otros, el compost elaborado por INIA-Quilamapu. Este último fue elaborado con la intención de medir *in situ* el cambio de la composición química y física que sufren los materiales de elaboración.

Durante el proceso de fabricación del compost se registró temperatura y humedad, se caracterizó química y físicamente, y también se midieron parámetros de madurez, con el propósito de catalogar el producto dentro de la norma chilena de producción de compost (Nch2880. Of2004), cuyo resultado fue la categoría B (Cuadro 10).

Con respecto a la evolución de la temperatura y la resistencia de los microorganismos, se determinó que el momento de la inoculación debía ser al final del proceso, cuando el compost estuviera terminando su proceso de estabilización y la temperatura fuera menor a 40°C.

CUADRO 10. Caracterización física y de calidad del compost utilizado y rangos aceptados por la norma chilena (NCh2880. Of2004. Compost - Clasificación y requisitos)

Variables	Compost utilizado	Valores Nch2880. Of2004	
		Clase A	Clase B
Humedad (%)	26,7	30 - 45	
Densidad (kg/m ³)	769	<700	
Porosidad (%)	38,1	45 - 60	
pH	7,3	5,0 - 8,5	
Materia orgánica (%)	31,6	>20	
Nitrógeno (%)	1,8	>0,5	
C.E. (dS/m)*	6,07	<3	<8

* Conductividad eléctrica

Para medir la dosis óptima de inoculación del compost con microorganismos benéficos se realizaron ensayos con compost en placas de Petri. Para los hongos nematocidas seleccionados (*Pochonia* sp., *Clonostachys rosea*, *Beauveria bassiana*, *Monacrosporium* sp. y *Nematocionus* sp.) la placa se dividió en dos: un lado con compost previamente esterilizado y el otro normal; luego se procedió a inocular cada uno de ellos por separado, a una concentración de 10⁵/cm³ según recomendación bibliográfica. Durante 35 días se midió el micelio 2 veces por semana para obtener la curva de crecimiento de cada lado de las placas.

Los resultados arrojaron que el lado estéril ofrece un rápido medio de crecimiento para los hongos, adelantando en casi 10 días en general los niveles alcanzados en el lado con compost normal. Esto sugiere que el compost trae una carga de antagonistas hacia los hongos, lo cual retrasa su crecimiento en una primera instancia, aunque es superado agregando una concentración un poco más elevada en la inoculación de hongos. La excepción es *Monacrosporium* sp., que durante los 35 días de inoculación en el lado normal no pudo alcanzar el crecimiento observado en la parte estéril, por lo que finalmente se utilizaron *Pochonia* sp., *Clonostachys rosea* y *Beauveria bassiana* para hacer una mezcla más eficaz que sería inoculada en los tratamientos con compost en vid.

La cepa Az132 de la bacteria fijadora de N se evaluó en compost en placas de Petri, donde se inoculó a concentraciones de 10⁴, 10⁵ y 10⁶ UFC/g compost durante 35 días; semanalmente se tomaron muestras de los medios para evaluar el desarrollo poblacional.

Se observó que las concentraciones mayores de bacterias tendían a disminuir paulatinamente, estabilizándose entre 1-5 x 10⁴ UFC/g compost, por lo que es probable que otras colonias de bacterias que habitan el compost estén influyendo en lograr este equilibrio. Debido a esto se determinó utilizar la concentración de 10⁴ UFC/g para inocular y no incurrir en un gasto innecesario.

- **Determinación del aumento de biomasa radicular de la vid y su mejoramiento en la absorción de nutrientes con la aplicación de compost inoculado**

En el Centro Experimental de INIA-Intihuasi, Vicuña, se estableció un ensayo en macetas de 15 l con variedad Thompson seedless durante el primer año, bajo malla Raschel de 50% de luminosidad; el segundo año el ensayo fue con Flame seedless, bajo doble malla. El ensayo tuvo cinco tratamientos para evaluar el compost:

- Testigo o suelo solo (T0)
- Suelo + compost (T1)
- Suelo + compost + hongos (T2)
- Suelo + compost + bacterias (T3)
- Suelo + compost + bacterias + hongos (T4)

Para evitar que el control de un tipo de nemátodo, por un hongo en particular, genere la disposición de un nicho abierto que sea ocupado por otro fitoparásito, se eligieron tres hongos con distinto método nematicida y sin especificidad, a fin de controlar varios nemátodos a la vez. En el Cuadro 11 se señalan las mezclas utilizadas en la inoculación del compost.

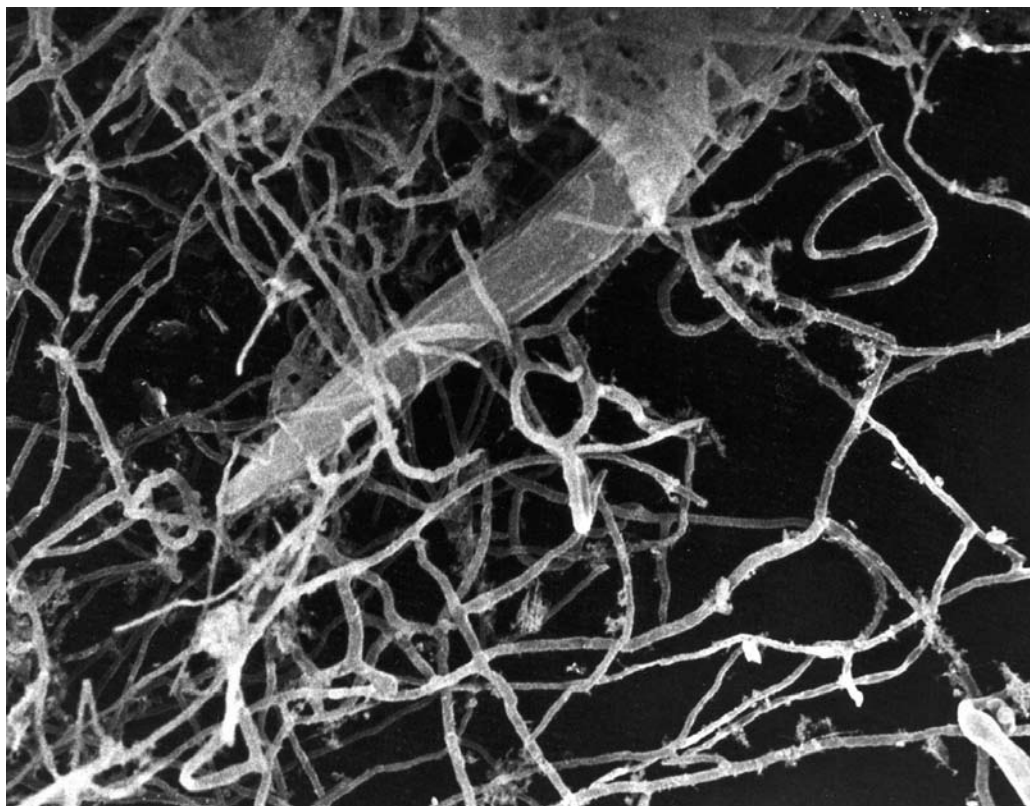
CUADRO 11. **Aislamiento y origen de las cepas de hongos y bacterias utilizadas en los ensayos en macetas**

Aislamiento	Especie	Dosis (UFC/m ³ de compost)	Tipo de inóculo	Germinación (%)
UDC	<i>Azotobacter</i> sp.	2,00 x 10 ¹⁴	Células	95
Qu-CI14b	<i>Clonostachys rosea</i>	3,33 x 10 ¹¹	Conidias	96
Qu-B17	<i>Beauveria bassiana</i>	3,33 x 10 ¹¹	Conidias	98
Qu-Po222	<i>Pochonia chlamidosporia</i>	3,33 x 10 ¹¹	Conidias y clamidosporas	97

Las macetas fueron separadas por tipo de suelo, los que fueron extraídos de predios con vides de mesa con nemátodos y problemas de rendimiento. Durante el año 1 el compost se inoculó en suelos de Copiapó, La Serena (Culebrón), Ovalle (Mostazal) y Casablanca, y para el año 2 sólo de Vallenar y Vicuña. Para ambos años la mezcla de las macetas fue de 5,5% de compost en 12 kg de suelo.

Para determinar el aumento de la biomasa radicular se evaluaron parámetros de la planta como altura, materia seca, peso fresco de raíces y absorción de N en las hojas.

Nemátodo atrapado por hongos predadores



Respecto la altura de planta, los resultados del ensayo del primer año demostraron la implicancia que tiene la aplicación de materia orgánica en contrarrestar el efecto salino de los suelos de la zona norte, ya que el tratamiento testigo presentó el menor largo de brote principal. En las macetas con suelo de Copiapó hubo una significancia estadística en cuanto a altura entre el testigo y el tratamiento T2 (suelo + compost + hongos). Sin embargo, ningún otro tratamiento demostró tener efecto en los demás suelos. En la segunda temporada, el suelo de Vallenar fue el que presentó los mayores rangos de crecimiento de las plantas, incluso comparado con el año anterior, y se alcanzaron 247,6 cm de altura en compost con bacterias (T3).

En cuanto a materia seca, el suelo de Copiapó presentó la menor formación en todos los tratamientos estudiados; esto se explica por el alto nivel de salinidad inicial del suelo. Curiosamente, el tratamiento que incluía bacterias y hongos (T4) demostró una tendencia a producir menos materia seca en todos los suelos. La razón podría ser una inhibición entre ambos microorganismos de su función específica. Con respecto a la segunda temporada, no se apreciaron efectos en materia seca.

En el suelo de Ovalle, el peso fresco de raíces se observó con una clara respuesta de mayor cantidad de raíces al aplicar los tratamientos; el mejor evaluado fue el T2 (compost + hongos) y el peor evaluado el tratamiento completo (T4), incluso con menor peso que el testigo. En la segunda temporada no se apreciaron efectos en el peso fresco de raíces.

Respecto la fijación de N por las bacterias *Azotobacter*, no se observó el efecto esperado en ningún suelo durante el año 1. Sin embargo, en el año 2 el T4 (compost + bacterias + hongos) presentó una concentración significativamente mayor en la hojas de vid del suelo de Vallenar.

- **Determinación del grado de control de los nemátodos parásitos de la vid y cantidad de N fijado con la aplicación de compost inoculado**

Durante dos temporadas se evaluaron los cinco tratamientos señalados en el punto anterior, esta vez en tres parrones establecidos en tres localidades:

- Vicuña (var. Flame seedless)
- Carén y Mostazal, ambas en Ovalle (var. Thompson seedless)

Por ser huertos en funcionamiento, la enmienda de compost se aplicó en hoyos de 20 l abiertos bajo el lateral de riego, a 20 cm del pie de la planta y a ambos costados de ella. La segunda temporada se realizó una reaplicación, dada la pérdida de material producto de la mineralización; el aporte total/temporada fue de 23 t/ha.

Para determinar el efecto de la aplicación de compost inoculado en los parronales, se tomaron muestras de suelo al inicio y al final de los ensayos para analizar fertilidad, poblaciones de nemátodos y de *Azotobacter*, así como la biomasa microbiana. Con este último parámetro se estimó el N presente en los microorganismos, expresado en N biomásico.⁸

Para la evaluación secuencial de los nemátodos se realizaron relaciones poblacionales (Pf/Pi) entre las cifras de población inicial (Pi) y final (Pf).

El N medido por los análisis de suelo en las tres localidades mostró que el aporte del compost de este elemento fue alto, aunque también se determinó una baja relación C/N, por lo que el N mineral es fácilmente lavable.

⁸ Nitrógeno biomásico: cantidad de este elemento presente en los microorganismos que lo fijan, medido en mg/kg biomasa del suelo.

Ensayo en Vicuña. Los nemátodos más frecuentes encontrados fueron saprófitos y *Mesocriconema* (parásito). Todos los tratamientos disminuyeron la población de éste último, excepto el testigo. El T2 (compost + hongos) redujo ambos tipos de nemátodos, debido a la poca selectividad de los hongos.

El T1 (compost) fue el tratamiento que más disminuyó al nemátodo fitoparásito (68%), aunque sin diferencia estadística respecto los demás compost inoculados; por ello se deduce que el compost solo también sería eficiente para su control.



Los valores del N biomásico del testigo en esta localidad resultaron muy bajos y aunque se duplicaron en el T2 (compost + hongos), continuaron bajos debido a la escasa materia orgánica inicial.

En el tratamiento completo (T4: compost + bacterias + hongos) los valores fueron siempre más bajos que en T3 (compost + bacterias), lo cual se interpreta como producto de la competencia entre estos microorganismos.

Ensayo en Carén. En esta localidad se encontró una alta población de *Tylenchulus*, que se redujo con el T2 (compost + hongos) en 6,7% frente al testigo. Los efectos sobre las otras poblaciones de nemátodos fueron similares a los de Vicuña (por ejemplo, *Mesocriconema*).

Con respecto al N biomásico, ocurrió lo contrario que en Vicuña; los valores ya eran altos al inicio, por lo que no aumentaron notoriamente al agregar más materia orgánica con los tratamientos de compost. Sí aumentó la población de *Azotobacter* de 1×10^4 a 4×10^4 UFC/g de suelo, lo contrario a lo ocurrido en el laboratorio y a pesar de que ningún suelo poseía esta bacteria antes de inocular. Esto se debió a la gran cantidad de materia orgánica presente, que otorgó suficiente carbono lábil como alimento para las bacterias.

Ensayo en Mostazal. En esta localidad se encontraron los mismos tipos de nemátodos que en Carén. Las especies fitopatógenas disminuyeron considerablemente con los tratamientos de compost, y *Tylenchulus* fue el más afectado. Sin embargo, y al igual que en las demás localidades, sólo

en la disminución de *Mesocriconema* se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de compost *versus* el testigo.

La biomasa microbiana aumentó levemente, ya que el aporte de materia orgánica mediante la enmienda fue significativo. Dentro de los tratamientos, T2 (compost + hongos) resultó ser un poco mejor para elevar el valor de N biomásico.

- **Evaluación de los efectos benéficos de la utilización de compost inoculado en plantaciones comerciales de vid de mesa**

En los mismos tres sitios de la evaluación anterior se determinaron parcelas de cuatro plantas y cuatro repeticiones cada una por tratamiento, con el fin de evaluar: largo de brotes, producción, calibre de fruta y peso de poda en fresco. También se midió el contenido de macro y microelementos en pecíolos de hojas a plena flor.

Ensayo en Vicuña. En ambas temporadas el mejor largo de brotes se observó en el T2 (compost + hongos), aunque sin significancia estadística. Lo mismo ocurrió con el análisis de producción, pero sólo durante la primera temporada, ya que en la segunda todos los tratamientos disminuyeron su producción, especialmente el T2.

Durante la primera temporada este último tratamiento también presentó la mayoría de la fruta con calibre 17-22mm, y en la segunda, nuevamente las cifras cambiaron y el calibre fue más disperso, sin que ningún tratamiento resaltara.

El peso de poda sólo en la segunda temporada mostró un aumento frente al testigo y con clara tendencia mayor en T2 y T4 (compost + hongos y compost + bacterias + hongos, respectivamente).

Al realizar el análisis peciolar del primer año, las concentraciones de N resultaron bajas (0,69 a 0,79%), cuando el valor mínimo adecuado es 0,8%. En la segunda temporada estos valores aumentaron significativamente debido a la cantidad de N aportada por el compost aplicado; en los tratamientos con compost inoculado, se alcanzó el 1,2% en promedio.



Ensayo de Carén. El alto contenido de materia orgánica en este predio se explica por la adición de guano de cabra en temporadas anteriores al ensayo. Debido a esto no se observó variación del largo de brotes, ni de producción entre temporadas; sólo este último parámetro tuvo una diferencia el primer año entre los tratamientos con compost y el testigo, pero no significativa.

También aumentó el contenido de N peciolar en todos los tratamientos con compost respecto del testigo que ya poseía niveles moderadamente altos, producto también del nivel inicial de materia orgánica.

Sólo el T2 (compost + hongos) produjo un efecto positivo en el calibre de la fruta durante la primera temporada, la mayoría con valores entre 17 y 19 mm. Sin embargo, durante el segundo año el calibre medio bajó y se dispersó hacia los extremos (16 a 22 mm).

En este predio no es homologable el peso de poda, ya que se trata de un parrón de baja densidad, lo que permite un brote más largo que no es comparable con los de las otras dos localidades.

Ensayo de Mostazal. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque sí contra el testigo respecto del largo de brotes y producción de fruta. Esto refuerza la idea que el efecto positivo corresponde a la aplicación de compost.

El calibre de la fruta se concentró entre 19 y 22 mm durante la primera temporada, mientras que en la segunda la distribución fue dispersa y en ninguno de los años se observaron diferencias entre los tratamientos, incluyendo el testigo.

El peso de poda mostró un significativo aumento durante la segunda temporada, especialmente en el T3 (compost + bacterias). Esto se explica por el constante suministro de N que este tratamiento pudo mantener, lo que permitió mejorar el crecimiento de la planta en post cosecha.

2.2 Los productores del proyecto hoy

La experiencia del proyecto precursor permitió transferir a los productores la tecnología orgánica que podrían utilizar para mejorar el desarrollo radicular y controlar nemátodos, como alternativa a las aplicaciones químicas.

Se estima que, producto de la ejecución del proyecto y de las actividades de difusión y transferencia, al menos un 30% de los participantes incluirán en sus prácticas productivas la incorporación de enmiendas orgánicas en la producción de la vid de mesa, es decir, alrededor de 100 productores que participaron directamente en las distintas actividades de transferencia realizadas. Sin embargo, muchos de ellos no están en condiciones de implementar el tratamiento con compost, ya que su cultivo se encuentra muy deteriorado y cuentan con bajo presupuesto; hay que considerar que la recuperación de la fertilidad del suelo es un trabajo a largo plazo, que tarda entre 6 a 8 años. En estos casos, se recomendó reforzar su programa con la reincorporación de los restos de poda, para compensar en parte el aporte de carbono al suelo y, si es posible, aplicar también guano de cabra o estiércol de pavo.⁹

Por otra parte, los investigadores de INIA-Intihuasi han seguido recabando información de cómo la aplicación de materia orgánica mejora los suelos y las productividades en el norte chico. Para esto han realizado un seguimiento con estudios de caso de productores que llevan más de siete años reincorporando con cero labranza sus sarmientos picados al suelo, quienes han obtenido grandes beneficios en post cosecha y rendimientos constantes de 4.500 cajas/ha todos los años.

⁹ El estiércol de pavo semi compostado presenta mucho menos bicarbonato y más nitrógeno que el guano de cabra y, por consiguiente, un mayor efecto nematocida.

SECCIÓN 3

El valor del proyecto

El control biológico con especies nativas constituye una importante innovación en Chile, dado que la variedad geográfica del país se traduce en un reservorio de biodiversidad no siempre estudiada y aprovechada. Además, la prospección y utilización de dichas especies asegura cierto grado de sanidad ecológica, ya que no se requiere introducir otras que pudiesen afectar el equilibrio ambiental.

Con relación a las especies, se recolectaron hongos y bacterias, y se aislaron los nemátodos fitoparásitos encontrados mediante el método del embudo de Bareman (que aísla los nemátodos nadadores) y también mediante centrifugación y flotación con gradiente de sacarosa, que detecta géneros tipo resorte como *Mesocriconema*, que presenta poca movilidad y que fue el más encontrado en las muestras de la zona norte. A partir de esta experiencia se recomienda utilizar este método para su detección, a fin de evitar la probable subestimación de este género.

Los resultados del proyecto reafirman la capacidad del compost para mejorar la condición deprimida de huertos de vides de la Región de Coquimbo. Además se presenta como una buena alternativa



para la reutilización de desechos orgánicos y como método nematicida para huertos convencionales, que si bien no están obligados a prescindir de los productos químicos, pueden optar por el uso de una solución menos agresiva con el medio ambiente y con control biológico. El compost también puede ser usado en huertos donde no se utilizó porta injertos o cuando hay escasez de materia orgánica en el suelo de la zona.

También se observó, respecto del control de nemátodos, que no hubo diferencias entre los efectos del compost solo y los del inoculado con hongos. Por consiguiente, es necesario evaluar el compost inoculado con relación a otras combinaciones de hongos a fin de determinar si existe o no una diferencia entre éstos y determinar si la herramienta es la aplicación de éste o de un compost mejorado.

Por otra parte, puede ser una herramienta complementaria el desarrollo futuro de una formulación distinta para la aplicación de hongos nematicidas, que confiera una matriz alimenticia orgánica y de protección, ya sea para ser añadida a las producciones locales de compost o directamente a los suelos.

Anexos

Anexo 1. Método Indore para fabricar una pila de compost

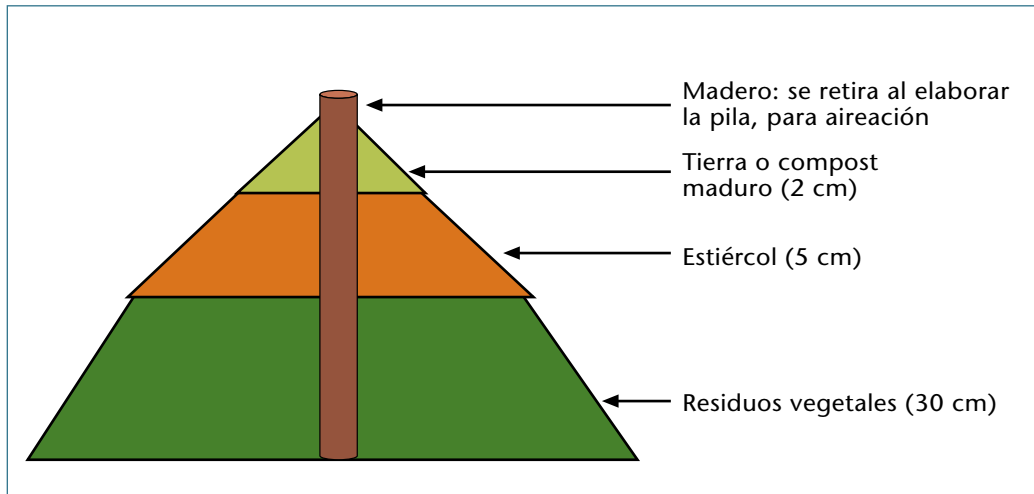
Anexo 2. Literatura consultada

Anexo 3. Documentación disponible y contactos

ANEXO 1. Método Indore para fabricar una pila de compost

Este método¹⁰ asegura buenas proporciones de cada tipo de materia prima en la pila de compost, cuando no se utiliza una máquina volteadora.

Dimensiones: 1,5 m de ancho x 1,2 m de alto. El largo está determinado por la cantidad de material disponible.



¹⁰ Creado por Albert Howard, Instituto para la Vida de las Plantas, Indore (Indias Centrales).

ANEXO 2. **Literatura consultada**

- Aballay, E. y Navarro, A. s/f. Incidencia en vides del nemátodo de los cítricos, *Tylenchulus semipene-trans* y evaluación de algunos portainjertos sobre su control. 11 pp. [En línea]. Grupo de Investigación Enológica (GIE), Universidad de Chile. <<http://www.gie.uchile.cl/pdf/Erwin%20Aballay/Aconex%207.pdf>> [Consulta: febrero, 2010].
- Alcaíno, M. 2009. Resultados y análisis de la temporada de uva de mesa, carozos, 2008/09. Encuentro Regional FEDEFruta, 6 de agosto de 2009, Los Andes.
- Céspedes, M.C. 2004. Bases técnicas para la producción de compost. 4 PP. [En línea]. Revista Tierra Adentro, noviembre-diciembre. <<http://www.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/tadentro/TA59NDA204.pdf>> [Consulta: febrero, 2010].
- INE. 2007. VII Censo Agropecuario y Forestal 2007. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). [En línea] <http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php> [Consulta: febrero, 2010].
- Madariaga, A. 2008. Realidad productiva de la uva de mesa en la zona norte de Chile. 40 pp. [En línea]. IV Región. Seminario Uva de Mesa - II Ciclo. ASOEX, mayo. <http://www.asoex.cl/admin/PaginaWeb/Biblioteca/Archivos/Bajar.asp?Carpetas=SEMINARIOS\2008\SEMINARIO_UVA_DE_MESA_-_II_CICLO_-_MAYO_2008&Archivo=03-Sr.Alex.Madariaga.pdf> [Consulta: febrero, 2010].
- Magunacelaya, J.C. s/f. Control de nemátodos fitoparásitos mediante uso de materia orgánica. Universidad de Chile. 18 pp. [En línea] <<http://agronomia.uchile.cl/centros/nematologia/resumenpresentacionmateriaorganica.pdf>> [Consulta: febrero, 2010].
- Magunacelaya, J.C., Ahumada, M.T. y Pacheco, H. 2004. Aspectos generales de manejo de nemátodos fitoparásitos de importancia agrícola en viñedos en Chile. S/datos.
- Quiroz, I. 2008. Situación actual y perspectivas del mercado de la uva de mesa, palta y cítricos. 26 pp. [En línea]. <<http://www.iqonsulting.com/images/LaSerena.pdf>> [Consulta: febrero, 2010]
- Soza, J.A. 2005. Estrategias para estimular el desarrollo radicular en uva de mesa. 64 pp. [En línea]. Curso Internacional "Manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa". INIA-La Platina, Santiago de Chile. 26-27 de octubre. <http://www.inia.cl/medios/Descargas/CRI/Platina/Seminarios/S0001/23_vides2005_jsoza.pdf> [Consulta: febrero, 2010].

Además se utilizó información de los siguientes sitios Web [consulta: febrero, 2010]:

- Sistema de Inteligencia de Mercado de la Industria Frutícola Chilena <www.simfruit.cl>
- <www.fruittrade.cl>
- Asociación de Exportadores de Chile A.G. <www.asoex.cl>

y la información obtenida en las entrevistas realizadas a las siguientes personas:

- María Cecilia Céspedes, ingeniera agrónoma, M.Sc., investigadora INIA- Quilamapu. Correo electrónico: ccespede@inia.cl.
- Andrés France, ingeniero agrónomo, Ph.D, investigador INIA-Quilamapu. Correo electrónico: afrance@inia.cl.
- Carlos Sierra, licenciado en agronomía, M.Sc., investigador INIA-Intihuasi. Correo electrónico: csierra@inia.cl.

ANEXO 3. **Documentación disponible y contactos**

El presente libro y su ficha correspondiente se encuentran disponibles como PDF, a texto completo, en el sitio Web de FIA (www.fia.gob.cl), accediendo a “Información para la innovación” y luego a “Experiencias de Innovación” o a “Biblioteca Digital”, donde existe un buscador de publicaciones.

Contacto: fia@fia.cl