

## LA BIOFUMIGACIÓN, MÉTODO BIOLÓGICO DE CONTROL DE PATÓGENOS DEL SUELO

Núm. 11

### INTRODUCCIÓN

*La biofumigación es una técnica biológica para el control de patógenos del suelo (nemátodos, hongos, bacterias...) que consiste en la incorporación en el suelo de grandes cantidades de materia orgánica fresca (principalmente estiércoles o brásicas (familia de las Brassicaceas: nabos, coles...) junto con la aportación de grandes cantidades de agua para llegar a condiciones de anaerobiosis. El resultado es una mejora de las características generales del suelo y de la nutrición de los cultivos, a un coste mínimo. Su eficacia como desinfectante del suelo es similar a la de los fumigantes químicos convencionales, si bien mediante unos procesos diferentes, considerándose una alternativa del uso de éstos en agricultura convencional, también útil en agricultura ecológica.*

### EL SUELO Y SU SANIDAD

El suelo, en su acepción actual, es la capa superficial de la Tierra formada por elementos minerales de origen diverso y por organismos vivos (plantas, micro y macroorganismos, animales, etc.), que son los encargados de mantener una estructura edáfica estable.

Estos organismos vivos presentes en el suelo conforman una red de cadenas tróficas donde los individuos que mueren, junto con los restos de los vegetales, pasan a formar parte de la materia orgánica (muerta) del suelo encargada junto con la de origen externo de la fertilización de los suelos agrícolas. Pero a la materia orgánica aplicada al suelo, ya sea en forma de abono orgánico o enmienda, se le tiene que reconocer otra calidad que va más allá de su función esencial como estructurante del suelo y de la fertilización química (A. Bello *et al.*): controlar las plagas y enfermedades del suelo. Efectivamente, el mantenimiento tradicional de la fertilidad del suelo mediante la fertilización orgánica, que le da condiciones físicas ideales, introduce en el suelo materiales quitinosos que estimulan la actividad de ciertos organismos antagonistas de los hongos fitopatógenos, al mismo tiempo que genera amoníaco, que actúa como nematicida.

Desgraciadamente, la introducción de los abonos químicos propició el olvido de la importancia que tiene la fertilidad del suelo y su fertilización orgánica en la autogestión de la sanidad de los agrosistemas. Y así es como actualmente los patógenos del suelo se han convertido en uno de los problemas principales en la productividad de los cultivos, causando pérdidas millonarias año tras año, y obliga en agricultura convencional a la aplicación de cada vez más cantidad de desinfectantes químicos del suelo para poder afrontarlo. Uno de estos desinfectantes químicos, el más conocido, es el bromuro de metilo (BM), prohibido desde el año 2005. Las razones principales de su prohibición fueron que entre el 50 y el 95% del BM aplicado al suelo pasaba en forma de emisiones gaseosas a la estratosfera, donde libera átomos de bromo que reaccionan con el ozono y otras



Foto 1: Cultivo de nabo forrajero por biofumigación.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.

moléculas estables que contienen cloro, dando lugar a una reacción en cadena que contribuye a la disminución de la capa de ozono (Thomas 1997, en A. Bello *et al.*). Gracias a la prohibición del uso de este producto químico, la investigación de alternativas para la desinfección de los suelos se ha acelerado enormemente.

La falta de fertilización orgánica del suelo en la agricultura intensiva ha llevado a lo que se conoce como fatiga del suelo. Como indica el experto en patología vegetal Javier Tello (2010), la fatiga del suelo puede ser, al menos, de tres tipos: fatiga física debida a una defectuosa estructura del suelo, fatiga química debida a la acción de acumulación de una fitotoxina o sustancia alelopática, y fatiga biológica debida al parasitismo de debilidad, es decir, que la baja población de microorganismos antagonistas de los patógenos del suelo provoca una afectación grave y repetida en la sanidad de los cultivos.

Para la corrección de la fatiga física y biológica del suelo, la materia orgánica juega un papel corrector de primer orden: genera estructura mediante la unión con las partículas de arcilla del suelo y activa los microorganismos antagonistas

PATÓGENOS EN QUE EL EFECTO DE LOS BIOFUMIGANTES HA SIDO CONTRASTADO
<i>Fusarium oxysporum</i>
<i>Verticillium dahliae</i>
<i>Rhizoctonia solani</i>
<i>Sclerotinia sp.</i>
<i>Phytophthora sp.</i>
Nemátodos ( <i>Pratylenchus</i> )

Tabla 1: Patógenos en que el efecto de los biofumigantes ha sido contrastado. Fuente: Andreu Vila.

de los patógenos del suelo. Para la corrección de la fatiga química, resulta imprescindible el uso de rotaciones de cultivos. Éstos son, sin duda, los principales métodos preventivos para el mantenimiento de la sanidad de los cultivos con que cuentan los campesinos ecológicos.

Pero en agricultura ecológica también resulta necesario disponer no sólo de métodos preventivos sino también de métodos correctores. Efectivamente, dentro de la agricultura ecológica hay diferentes tipologías de explotaciones, algunas de ellas, como consecuencia de la elección y manejo de los cultivos, no siempre consiguen implementar los métodos preventivos citados. Por otra parte, estas técnicas correctoras resultan todavía más necesarias en el proceso de reconversión de explotaciones convencionales a ecológicas, donde la consecución de un mayor equilibrio en el agrosistema es un requisito indispensable para el éxito de la reconversión. Es ésta una de las razones fundamentales por las cuales la biofumigación resulta interesante en agricultura ecológica. De todas maneras, ningún método de desinfección biológica del suelo tiene que ser considerado como la solución a las causas de los problemas y la mejor opción es el manejo integral de los cultivos y del agrosistema en general. Aunque la biofumigación puede ser una herramienta que puede permitir volver a encontrar un cierto equilibrio en el sistema, después resulta totalmente ineludible mantenerlo.

## LA BIOFUMIGACIÓN

La biofumigación se fundamenta en la acción fumigante de las sustancias volátiles resultantes de la biodescomposición de la materia orgánica fresca para el control de los organismos patógenos del suelo (A. Bello *et al.*). Se habla de una serie de efectos directos de la biofumigación sobre el suelo, además de otros efectos indirectos:

- en la degradación de la materia orgánica incorporada intervienen un gran número de microorganismos, que se ven favorecidos por el aumento de materia orgánica, y que actúan como antagonistas (*Aspergillus*, *Trichoderma*...) de los patógenos del suelo, que ocupan el espacio y entran en competencia con los patógenos.
- las sustancias volátiles (como los isotiocianatos, en adelante ITCs), amoníaco y fenoles producidos en la biodegradación (fermentación, etc.) de la materia orgánica aplicada

favorecen el control de patógenos del suelo e incrementan la eficacia de la técnica cuando se incluye en un sistema integrado de producción de cultivos.

- las condiciones de anaerobiosis (falta de oxígeno) creadas en el terreno durante la aplicación de la técnica debido a la inundación del terreno en agua de riego también tienen un efecto negativo inhibitorio sobre el desarrollo de los patógenos del suelo.
- el aumento, en el suelo, de materia orgánica en sus diferentes formas (fresca, madura, humus, etc.) tiene un efecto mejorante (contrario de degradante) del suelo que hace aumentar su fertilidad general (física, química y biológica) y, por lo tanto, permite al suelo la recuperación de su sanidad y de su equilibrio.

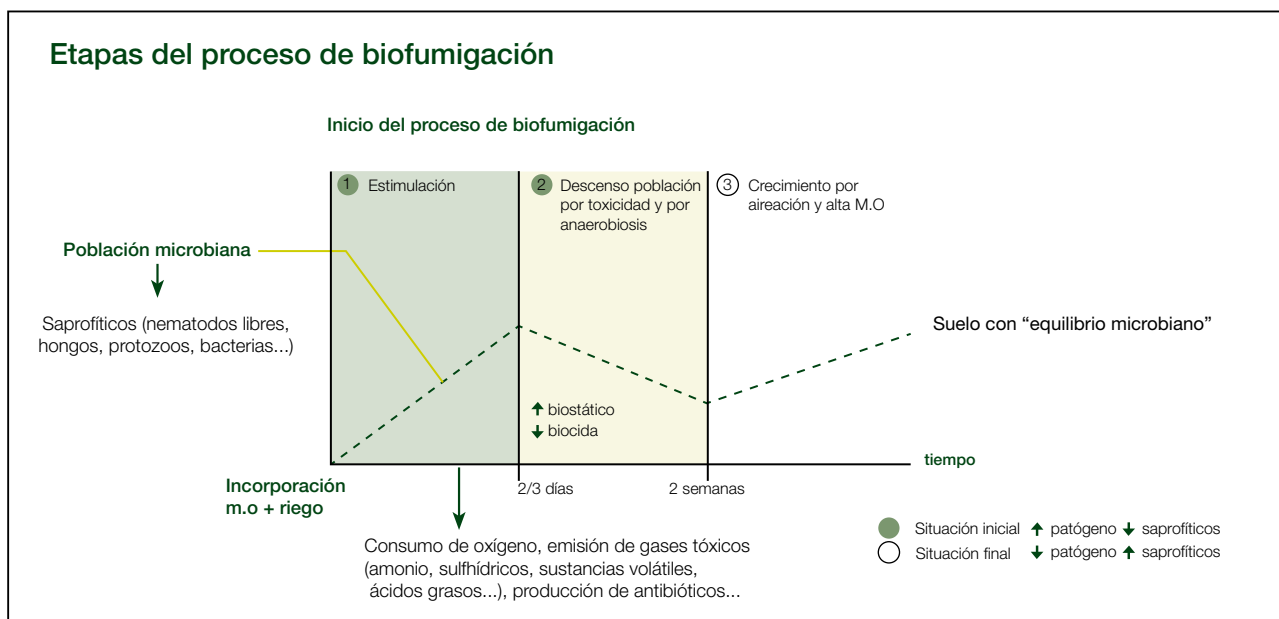
A fin de que la aplicación de materia orgánica biofumigante tenga los efectos indicados, resulta necesario retener en el suelo los gases producidos durante la descomposición al menos durante dos semanas. La retención de los gases se consigue sellando el suelo mediante agua de riego, que se puede acompañar con una cubierta suplementaria de plástico. Este tipo de manejo, el sellado, junto con las cantidades de materia orgánica aportadas (hasta 50 t/ha cuando se aplican estiércoles u otros residuos agroindustriales (A. Bello *et al.*)), son lo que diferencian principalmente la biofumigación del abono orgánico.



Foto 2: Cultivo de brásicas en cultivo de frutales. Fuente: Nuria Cuch Arguimbau.

Con respecto a las materias orgánicas útiles para la biofumigación del suelo, se ha visto que generalmente cualquier materia orgánica puede actuar como biofumigante. Su eficacia depende principalmente del tipo de materia orgánica aportada, de la dosis y del método de aplicación. En este sentido, hay tres grupos de materias orgánicas biofumigantes: estiércoles frescos, residuos de industrias agrarias transformadoras y cultivos de brásicas, que se acaban incorporando al suelo al final del cultivo.

Con respecto a las dosis, en los cultivos de brásicas las plantas tienen que llegar necesariamente a un mínimo de biomasa producida (entre 4 y 8 kg/m, o 40-80 t/ha) a fin de que la técnica resulte eficaz. Los cultivos de brásicas presentan como ventaja con respecto a los otros materiales biofumigantes un menor coste económico, evitan desajustar la fertilidad del suelo por un exceso de aplicación, a la vez que impiden sobrepasar el



Fuente: Andreu Vila

límite máximo de 170 kg de N/ha establecido para las aplicaciones fertilizantes (Decreto 136/2009). En contrapartida, los cultivos de brásicas requieren de una ocupación temporal del suelo mayor que en la aplicación de otros restos orgánicos a causa del periodo de cultivo necesario. En cuanto a las dosis de aplicación de estiércoles u otros residuos para la biofumigación, se tiene que tener en cuenta que las aplicaciones de grandes cantidades de residuos que se proponen en algunos trabajos (hasta 100 t/ha) no se ajustan a las restricciones antes mencionadas para una correcta fertilización del suelo y pueden comportar pérdidas por lixiviación y la consecuente contaminación de los freáticos.

## MOTIVACIONES PARA SU USO

- La biofumigación resulta necesaria en tanto que muchos de los patógenos del suelo afectan a más de una especie, como por ejemplo la verticilosis en cultivos hortícolas, lo que dificulta la lucha contra estos patógenos del suelo únicamente mediante la rotación de cultivos.
- La biofumigación tiene capacidad de control sobre hongos, bacterias, insectos y nematodos, además de reducir los problemas de replantación (bajas, falta de vigor, etc.), sobre todo en fruticultura.
- Su actividad fumigante es selectiva, ya que la cantidad de ITCs de los gases volátiles necesaria para erradicar patógenos como *Sclerotinia* o *Pythium* es treinta veces menor que la necesaria para afectar hongos antagonistas de los patógenos como *Trichoderma* (Kierkegaard i Matthiessen, 2004, en V. Michel *et al.*, 2007).
- Su aplicación está especialmente indicada en tierras que han sufrido una sobreexplotación (aplicación de técnicas de cultivo inadecuadas en la gestión de la fertilidad y de la vida en el suelo). También se puede aplicar en tierras que no hayan sufrido manejos inadecuados, ya que tiene un efecto beneficioso de las propiedades físicas del suelo,

particularmente con respecto a la corrección de su compactación (A. Bello *et al.*).

- A diferencia de la solarización, en la biofumigación no son necesarias temperaturas ambientales superiores a 30 grados, por lo que se puede aplicar en cualquier época del año, en áreas de bajas temperaturas y en cultivos extensivos. Siempre teniendo en cuenta que como mayor sea la temperatura del suelo, más rápida será la degradación de la materia orgánica incorporada.
- No tiene limitaciones de uso en los reglamentos de producción integrada o ecológica, siempre que se respeten las aplicaciones máximas de 170 kg de N/ha (Decreto 136/2009).
- No se le atribuyen efectos nocivos ni sobre el medio ambiente ni sobre las personas (A. Bello *et al.*), siempre que se haga siguiendo los criterios agronómicos recomendados en las aplicaciones de materia orgánica en el suelo.
- Permite resolver los problemas de impacto ambiental que generan ciertos residuos (estiércoles, residuos urbanos, subproductos agroindustriales, etc.)<sup>1</sup>, al mismo tiempo que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Incrementa la rentabilidad de los cultivos, ya que disminuye los costes de inversión en productos comerciales, y da lugar a sistemas de cultivo cuya gestión se basa en el uso de recursos locales.
- Permite superar las limitaciones comerciales y/o de rendimiento de algunas de las variedades resistentes utilizadas como método de lucha contra ciertos patógenos del suelo.

## EN QUÉ CONSISTE

Idealmente, el proceso de biofumigación sigue las etapas descritas en el gráfico siguiente:

**Etapas 1.** El efecto biocida de las sustancias volátiles (ITCs), y de otros como el amonio, sobre las poblaciones de patógenos

<sup>1</sup>En producción ecológica, para poder utilizar estos residuos hay que cumplir los requisitos del Anexo 1 del Reglamento CE 889/2008.

sólo se da en esta etapa, que dura unos 2 o 3 días (A. Bello *et al.*). Al mismo tiempo, la población de hongos saprofitos, antagonistas de los patógenos del suelo, se ve favorecida por la presencia de la materia orgánica. En cuanto al nivel de contenido de oxígeno en el suelo, éste va disminuyendo constantemente por el consumo que hacen las crecientes poblaciones de microorganismos, que por otra parte no se ve renovado debido al sellado del suelo, que tiene que ser completo con el fin de asegurar la efectividad de la técnica. Esta primera etapa de la biofumigación es la más importante, ya que es donde se alcanza un máximo de población microbiana, un máximo contenido de sustancias volátiles nocivas por los patógenos del suelo y un mínimo contenido de oxígeno en el suelo, principales efectos sobre los cuales se basa la técnica.

**Etapa 2.** Una vez pasados los efectos nocivos inmediatos de las sustancias generadas anteriormente, se inicia una segunda etapa caracterizada por la normalización de la situación, con una disminución general de las poblaciones de microorganismos presentes en el suelo, donde la presencia de materia orgánica favorece la supervivencia de los microorganismos saprofitos (consumidores de materia orgánica: *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*...). Éstos tienen poder fungistática (de desplazamiento de unos hongos por competencia de otros) sobre las poblaciones de hongos patógenos. Por otra parte, a causa de la normal pérdida de agua el sellado del suelo disminuye, aumenta el contenido en oxígeno y se libera parte de las sustancias biocidas generadas en la etapa 1.

**Etapa 3.** Después de las dos o tres semanas que duran estas dos etapas, los microorganismos del suelo se estabilizan en función de la situación dejada por las etapas anteriores, es decir, con preeminencia de las colonias de microorganismos saprofitos y antagonistas sobre las de patógenos. A partir de aquí se considera acabada la aplicación de la técnica, pudiendo implantar los nuevos cultivos a partir de los 2-3 días siguientes.

## ORIGEN DE LA TÉCNICA

El **origen** de la técnica se remonta a la utilización de brásicas como sustituto del metam-sodio, desinfectante químico del suelo, en tratamientos de cultivos de patata en Australia (Matthiessen i Kierkegard, 1993, en A. Bello *et al.*). Según estos investigadores, el amplio espectro de actividad del metam-sodio ponía en duda la sostenibilidad a largo plazo de los tratamientos químicos de desinfección. Durante la búsqueda de soluciones, señalaron que el principio activo del metam-sodio es el metil-isotiocianato (ITC), un compuesto volátil que se produce sintéticamente en la industria química, pero que existen otras formas de isotiocianatos principalmente presentes en diferentes especies y variedades de brásicas, entre ellas las coles, las coliflores, las mostazas y los nabos.

Posteriormente, en 1997, la biofumigación fue incluida como alternativa no química del BM para el *Methyl Bromide Technical Comité* (*Comité Técnico para el Bromuro de Metilo*), a la vez que se ampliaba en todas las materias orgánicas y residuos

agroindustriales el concepto de biofumigante que se aplicaba anteriormente sólo a los procesos de descomposición de las brásicas y a su efecto fungicida e insecticida.

Actualmente, las investigaciones se centran principalmente en la biofumigación con brásicas y en la reducción de las dosis de aplicación de estiércoles u otras materias orgánicas. Así, la investigación de variedades de brásicas con altos contenidos de ITCs, o incluso su elaboración y presentación en forma de pellets (Lazzeri *et al.*, 1997, en V. Michel, 2007) centran algunos de los estudios más recientes.

Con respecto a las dosis de aplicación, según J. Tello (2010, *como. pers.*) los cambios en los valores de referencia utilizados evidencian la evolución de la técnica en cuanto a su aplicabilidad a la realidad del campo, pasando, a biofumigaciones con estiércoles, de recomendaciones de aplicación de 100 t/ha en 20+5 tn/ha (las 5 t suplementarias indican una aplicación de gallinaza), y en biofumigaciones con brásicas, de necesidades de producción de biomasa de 10 kg/m<sup>2</sup> (que equivalen a 100 t/ha) en 2,5-4 kg /m<sup>2</sup> (25-40 t/ha).

De todas formas, no hay que olvidar de que la biofumigación ya existía históricamente como tal en la huerta de Valencia, donde anualmente se incorporaba el estiércol que no se había gastado a la vez que se inundaba el campo, y en delta del Llobregat, donde año tras año se inundaba el campo con el fin de hacer frente a posibles enfermedades del suelo y a las habituales acumulaciones de sales en superficie. Evidentemente, el nombre de la técnica no era el de biofumigación, pero el procedimiento técnico y los objetivos alcanzados eran muy similares.

## TIPO DE BIOFUMIGACIONES Y DOSIS DE APLICACIÓN

La biofumigación puede ser de dos tipos: con estiércoles u otros restos orgánicos, o con brásicas. Cada una de ellas requiere un manejo diferente.

**Biofumigación con estiércoles u otros restos orgánicos:** para que un material orgánico tenga función biofumigante tiene que estar en las primeras fases de descomposición, lo que no sucede con la materia orgánica aportada normalmente como abono (A. Bello *et al.*), que se trata de materia orgánica estabilizada. Así, resulta necesaria una relación C/N de entre 8 y 20 para que la aplicación de esta materia orgánica tenga efecto biofumigante (producción de amonio y nitratos y favorecimiento de enzimas con actividad biocida). Las dosis de aplicación oscilan entre la 25-50 t/ha, según el tipo de material utilizado y de la presión de patógenos en el suelo en biofumigar. A elevadas presiones de patógenos las dosis pueden ser máximas (50 t/ha), si bien se pueden reducir aplicando la materia orgánica por surcos. Cuando las presiones de patógenos no son tan elevadas y el objetivo principal de la biofumigación es contrarrestar la fatiga del suelo, las dosis se pueden reducir a valores alrededor a las 20-25 t/ha.



Entre las materias orgánicas en que se han estudiado los efectos biofumigantes hay: estiércoles de cabra, oveja, vaca y gallina, residuos de cultivos de arroz, de industrias forestales y de papel, residuos de industrias de pescado y marisco, numerosos subproductos agrícolas (incluso de jardín), así como los residuos procedentes de plantas que presentan compuestos con efectos alelopáticos (A. Bello *et al.*). Para el estiércol, se tiene que procurar que durante su transporte y almacenaje no se pierdan los gases producidos en la biodegradación cubriéndolos con plásticos u otros materiales hasta el momento de la aplicación. El biofumigante se tiene que esparcir uniformemente para que no aparezcan focos de patógenos que puedan recolonizar el espacio, y se tiene que incorporar cuanto antes mejor.

**Biofumigación con brásicas:** La utilización de brásicas como fuente de materia orgánica fresca para la biofumigación es una de las alternativas a la no utilización de estiércoles que resulta más barata y no presenta dificultades técnicas en el manejo.

Las brásicas contienen unos compuestos llamados glucosinolatos (Kjaer, 1976, en A. Bello *et al.*) que cuando se hidrolizan por la acción de la enzima mirosinasa dan lugar a los isotiocianatos (ITCs). Los glucosinolatos son inactivos contra microorganismos, pero los productos resultantes de la hidrólisis son biocidas muy eficaces contra nemátodos, bacterias, hongos, insectos y la germinación de semillas (A. Bello *et al.*).



Foto 3: Nabo forrajero.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.

La eficacia de la biofumigación con brásicas depende de diversos factores, pero fundamentalmente de la brásica utilizada, de su correcta incorporación en el suelo, de la actividad enzimática de la mirosinasa que es la responsable de la hidrólisis de los glucosinolatos, de las pérdidas por volatilización, de la absorción de la arcilla, de la pérdida por percolación y de la degradación microbiana (Brown i Morra, 1997, en A. Bello *et al.*).

Entre las especies útiles de la familia de las brasicáceas hay el nabo forrajero, que da una gran biomasa radical y foliar, ensayado en diferentes momentos en el Parc Agrari del Baix Llobregat por la ADV Fruita del Baix Llobregat en el control de *Armillaria* y *Rosellinia* en plantaciones nuevas de frutales y por el control de otros patógenos (*Pythium*, *Phytophthora*, *Rizoctonia*) en cultivos hortícolas. Dentro de la familia de las

brasicáceas, nos son útiles, en general, cualquier especie que se adapte a las condiciones de cultivo específicas de una determinada zona geográfica (según el tipo de suelo, clima y meteorología, antecedentes culturales, etc.). Otra planta de interés, de la familia de las gramíneas, es el sorgo (*Sorghum bicolor* o *S. sudanense*), que contiene compuestos cianhídricos.

Como en las biofumigaciones con estiércoles u otros restos orgánicos, la cantidad de biomasa a alcanzar con el cultivo de brásicas depende de la situación del suelo (presión de patógenos, antecedentes en la gestión integral del agrosistema, etc.). En las experiencias conducidas en el Parc Agrari del Baix Llobregat, las dosis de siembra del nabo forrajero oscilan entre los 8 y 12 kg/ha, con producciones finales de biomasa que van de los 4 a los 6 kg/m<sup>2</sup> (equivaliendo a 40 y 60 t/ha, respectivamente). De todas maneras, resulta evidente que la dosis de siembra para alcanzar una determinada biomasa dependerán esencialmente de la especie y variedad escogidas.

Finalmente, hay que decir que resulta recomendable alternar la utilización de residuos agrarios (estiércoles u otros) con brásicas, y de esta forma conseguir diversificar los métodos de control de patógenos del suelo. Por otra parte, la utilización de leguminosas y gramíneas (como el sorgo) como alternativa al uso de brásicas también aparece citada en la bibliografía en lo referente a la biofumigación.

## MANEJO TÉCNICO

**Picado y entierro:** el picado se hace, evidentemente, únicamente en el caso de utilizar brásicas. En este caso, el proceso es de gran importancia, ya que como más finamente se trinche el cultivo, mejor y más rápidamente se producirá la liberación de ITCs y la degradación de la materia orgánica proveniente del cultivo. A tal efecto, la maquinaria normalmente utilizada es la fresadora, que permite realizar tanto el picado como el entierro en una sola pasada de tractor. Con el fin de conseguir un picado más fino, resulta recomendable hacer una pasada previa al entierro con un apero picador, que será más eficaz si el apero rompe las plantas (picadora de martillos) en lugar de cortarlas (picadora de discos) (V. Michel *et al.*, 2007).



Foto 4: Picado y entierro con fresadora.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.



Foto 5: Picado de brásicas en las calles de una plantación de frutales.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.



Foto 6: Sellado en agua dentro de invernadero.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.

El momento del picado en la biofumigación con brásicas corresponde al momento de la **plena floración** del cultivo (Sawar i Kierkegard, 1998), correspondiendo a la mitad del periodo de floración, momento en que el contenido de glucosinolatos (precursores de los ITCs) en las plantas es máximo, sin que se presenten diferencias significativas de contenido entre la raíz y la parte aérea. Uno de los parámetros más importantes a la hora de escoger la variedad de brásica a utilizar es el tiempo que tarda el cultivo a llegar a la floración, ya que necesitaremos adaptarlo a la disponibilidad de espacio de nuestra alternativa de cultivos, siendo mínima (1 mes) en el cultivo de mostaza como material biofumigante. Por otra parte, la cantidad de ITCs producidos por planta es otro de los parámetros interesantes a tener en cuenta a la hora de escoger las variedades de brásicas biofumigantes.

Con respecto al entierro, proceso a aplicar en ambos tipos de biofumigaciones, la **profundidad** recomendada tiende a ser relativamente elevada, indicando J. Tello (2006) unas profundidades de 25-30 cm, mientras que de otros (V. Michel et al., 2007) proponen la máxima profundidad alcanzable por los aperos. Si bien la biofumigación es una técnica que, como ya hemos dicho, permite ser aplicada en cualquier **época del año** y área geográfica (contrariamente a la solarización), se tiene que pensar que como más frío se encuentre el suelo en el momento de la aplicación, las cantidades de ITCs liberadas pueden ser insuficientes y el efecto biofumigante menor. Igualmente, con el fin de alcanzar unos efectos máximos en el caso de la biofumigación con estiércoles, éstos se tienen que aplicar lo antes posible después de su transporte a campo, sin dejar tiempo a que se inicie su compostaje encima del suelo.

**Sellado:** sta es la etapa del proceso que permite mantener retenidas en el suelo las sustancias volátiles que se producirán durante la descomposición de la materia orgánica, ya que sin el sellado del suelo estas sustancias se pierden por volatilización. Por otra parte, permite la reducción del contenido de oxígeno presente en el suelo, otro de los efectos principales de la biofumigación en el control de patógenos del suelo.

Una de las claves del sellado del suelo, que repercute directa y fuertemente sobre la efectividad de la biofumigación, es que se haga inmediatamente después del entierro de la materia orgánica, sean brásicas, estiércoles u otros residuos. En caso contrario, el inicio de la descomposición de la materia orgánica por vía aeróbica (con oxígeno) haría perder parte de las propiedades biofumigantes del material. Esta etapa del proceso biofumigante dura dos semanas, aunque se puede considerar necesario alargarla unos días si la presión de patógenos en el suelo es muy alta, o si la temperatura del suelo es demasiada baja y enlentece la degradación de la materia orgánica.

Hay **dos tipos de métodos** posibles con el fin de mantener el suelo bien sellado: regando hasta capacidad de campo o cubriendo el suelo, después de regar, con un plástico. Si se escoge esta última opción y la biofumigación se hace durante el verano, con plástico transparente, y manteniendo el plástico durante 45 días o más, la técnica se verá ligeramente modificada dando paso a aquello que se llama biosolarización (mezcla de biofumigación y solarización). El grosor del plástico útil para el sellado tendría que ser de aproximadamente 400 galgas (100 micras).

Para el sellado mediante agua se puede utilizar cualquier tipo de riego, en función principalmente de las características del suelo: a manta, principalmente para suelos francos, arcillosos y limosos, donde también se puede utilizar el riego por goteo, doblando el número de goteros por metro cuadrado; y por aspersión, útil en suelos arenosos y de poca profundidad (< 30 cm.), donde la utilización de plástico puede resultar superflua, y dónde puede ser necesario realizar riegos frecuentes con el fin de mantener unos niveles de humedad adecuados.

Con el fin de facilitar el sellado y asegurar la efectividad de la biofumigación, se recomienda hacer una pasada de rodillo o de la alomadora del rotovator previa al riego. Una vez pasadas las dos semanas correspondientes a las dos primeras etapas del proceso de biofumigación, el suelo ya estará en condiciones de ser cultivado de nuevo, previa pasada de cultivador.



## MOMENTO Y PERIODICIDAD DE LA APLICACIÓN

Algunos casos de aplicación anual de la técnica responden a situaciones sanitarias del suelo muy negativas, donde la gestión integral de la fertilidad del suelo mediante rotaciones y aportaciones periódicas de abonos orgánicos no se realiza correctamente. En estos casos, la periodicidad de la aplicación de la biofumigación puede seguir el orden del descenso de la productividad.

Las situaciones más habituales son aquéllas en que la técnica se aplica sólo una sola vez en la parcela en cuestión, ya sea para favorecer una correcta reconversión del suelo hacia la agricultura ecológica, ya sea para asegurar el éxito de una nueva plantación de frutales, etc. La biofumigación es concebida, pues, como una técnica de una sola aplicación, principalmente por su carácter agresivo, o de choque, que tiene sobre el suelo y sus habitantes (hongos, gusanos del suelo, bacterias...).

Se ha comentado anteriormente que la no necesidad de altas temperaturas para su aplicación permite hacer uso en cualquier época del año y en áreas de bajas temperaturas. Sin embargo, si se prevén temperaturas del suelo demasiado bajas para una correcta actividad de los microorganismos saprofitos (<15°C), que se encuentran en la base del éxito de la biofumigación, puede convenir aplazar su aplicación a otro periodo del año, en previsión de una insuficiente producción de ITCs y de una lenta degradación de la materia orgánica.



Foto 7: Aplicación de estiércoles en biofumigación por surcos en frutales.  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.

Según cuál sea el cultivo y el suelo donde realizar la biofumigación, el momento de su aplicación puede ser uno u otro:

- **en horticultura:** bajo invernadero, en producción intensiva, la biofumigación se puede convertir en un elemento más en la rotación de cultivos, altamente necesario para el mantenimiento de un mínimo equilibrio biológico y sanitario en el suelo. Al aire libre, en el año o años en que haga falta realizar la biofumigación, ésta tendría que ser el precedente cultural de cultivos muy exigentes en nutrientes (tomate, pepino, etc.), ya que su papel fertilizante no es negligible. Y sobre todo, en biofumigaciones con brásicas, escoger la variedad que menos tiempo de cultivo necesite antes de alcanzar la plena floración, y que mejor se adapte a la rotación de cultivos establecida.

- **en fruticultura:** las dos aplicaciones posibles son antes de la plantación y durante el cultivo. Antes del cultivo, de cara a nuevas plantaciones de frutales, únicamente se tiene que tener en cuenta la duración de la aplicación de la técnica, a fin de que los frutales se puedan plantar en el momento deseado. En aplicaciones durante el cultivo de frutales, evidentemente se hará entre las calles de plantación, con la necesidad de vigilar las dosis de siembra y que la incorporación no pueda tener efectos negativos sobre los árboles y su producción. Puede resultar interesante para la germinación de las semillas del cultivo de brásicas biofumigantes aprovechar el final del periodo de lluvias.
- **en extensivos:** como en las nuevas plantaciones de frutales, el momento de la aplicación dependerá de la fecha de establecimiento del nuevo cultivo, teniendo en cuenta asimismo el efecto fertilizante de la biofumigación sobre los cultivos posteriores, que tendrían que ser, como en horticultura, exigentes en nutrientes.

## EFFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS, EL SUELO Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En los efectos sobre los cultivos, se ha visto que en tomate (var. Marmande) la biofumigación comporta un incremento en la altura de la planta y de la biomasa de los frutos (L. Gómez *et al.*, 2010). En producción de zanahoria en Andalucía, la máxima producción se da después de tratamientos con nabo forrajero, seguido de estiércoles de oveja, mejorando los resultados productivos obtenidos con desinfectantes químicos. En relación a la calidad de la zanahoria, el mayor número de zanahorias grandes (>20 cm.) se daba después de la biofumigación con nabo forrajero (A. Bello *et al.*, 2003). Así pues, el vigor de las plantas del cultivo posterior y su producción comercial son equiparables a los resultados obtenidos sobre los cultivos tratados con fumigantes químicos (J. Tello *et al.*, 2010).

Si bien el objetivo principal de la biofumigación es el control de patógenos del suelo, los efectos que induce en el suelo y en la disponibilidad de nutrientes por el cultivo posterior tienen que ser tenidos en cuenta para un correcto plan de fertilización de los cultivos. De todas maneras, resulta destacable la importancia de establecer programas de fertilización que consideren las características no sólo del biofumigante, sino también del suelo donde se aplica.



Foto 8: Campo de ensayo donde se ha realizado una comparativa entre biofumigación o una biosolarización (biofumigación + solarización).  
Fuente: Núria Cuch Arguimbau.

A continuación, se presentan algunos resultados en relación a la modificación de algunos parámetros del suelo después de la biofumigación (J. Tello *et al.*, 2010):

- se mejora la densidad aparente del suelo, incrementando así la porosidad y, por lo tanto, la velocidad de infiltración del agua de riego y de lluvia.
- la conductividad eléctrica del suelo, y en consecuencia la concentración salina no se ve significativamente modificada por la adición de estiércoles.
- el pH en suelo calcáreos (pH>8) disminuye ligeramente al final del cultivo.
- se incrementa la materia orgánica.
- el sodio y los cloruros no se ven modificados en aquellos suelos que tienen una mayor concentración de ambos iones. En cambio, sí que se modifican en los suelos que tienen menor concentración de sales.
- se incrementa la concentración de potasio en el suelo, así como la de magnesio.
- el incremento de nitrógeno depende de la relación C/N de la materia orgánica biofumigante.
- los tratamientos con materia orgánica (estiércoles u otros residuos orgánicos) favorecen el incremento de hierro soluble en el suelo.
- se incrementa considerablemente la forma manganosa (Mn<sup>2+</sup>) soluble al aplicar los tratamientos, pero disminuye al final del cultivo.
- se incrementa considerablemente el fósforo soluble y por lo tanto asimilable, posiblemente en forma de fosfatos orgánicos (actividad fosfatasa) que impiden su precipitación como fosfato tricálcico. En este fenómeno no son ajenos los microorganismos asociados a la materia orgánica.
- el boro no se ve afectado.

Finalmente, cabe mencionar la influencia que tiene la biofumigación en el control de hierbas adventicias: por una parte, la actividad supresora sobre estas hierbas por parte de los cultivos de brásicas biofumigantes es similar a la ya conocida en los abonos en verde, ya que siguen una metodología de cultivo similar; por la otra, el procedimiento técnico seguido en la realización de la técnica (aumento de temperatura del suelo, inundación, etc.) tiene como resultado sobre las semillas de las hierbas adventicias una disminución de su viabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

A. Bello, J.A. López-Pérez, L. Díaz. *Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo*. CSIC [en línea: <http://www.geoscopio.com/empresas/aecientificos/>].

A. Bello, J.A. López-Pérez, A. García. *Biofumigación en agricultura extensiva de regadío*. Fundación Ruralcaja Alicante y ed. Mundi-Prensa. 2003.

*Biofumigación. Control de patógenos del suelo*. Resultados del Programa Específico de Actuaciones 2007 de la ADV Fruita del Baix Llobregat. 2007.

J.C.Tello, D. Palmero, A. García, M. de Cara. *Biodesinfección del suelo para el control de micosis de origen edáfico, corrección de la "fatiga" y efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo*. En: *Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible*. Coord: J.C. Tello y F. Camacho. Fundación Cajamar. 2010.

J.C.Tello. *El suelo como "ente vivo" y su relación con las enfermedades de las plantas*. Dentro de: I Jornadas de agricultura ecológica y agroecología en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. 13 y 14 de mayo de 2010. Organiza: Grup d'AgroEcologia del ESAB y ICE. [en línea: <http://www.esab.upc.edu/desab/>]. 2010.

J.C.Tello. *Principios para el manejo integrado de enfermedades de hortalizas*. Consecuencias prácticas. Universidad de Almería, Departamento de Producción. Diciembre 2006.

L. Gómez, M.G. Rodríguez, L. Díaz-Viruliche, E. González, F. Wagner. *Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de Meloidogyne incognita*. [en línea: <http://www.agrytec.com/agricola>]. 2010.

M. Sawar and J.A. Kirkegaard. *Biofumigation potential of brassicas*. Kluwer Academic Publishers. 1998.

V. Michel, H. Ahmed, A. Dutheil. *La biofumigation, une méthode de lutte contre les maladies du sol*. Station de recherche Agroscope Changins, Wädenswil, Suiza. 2007.

## CRÉDITOS

**Autor:** Àngel Igelmo Segura i ADV Fruita del Baix Llobregat

**Revisión:** Unitat de Producció Agrària Ecològica (DAR)

**Correcció lingüística:** Joan-Ignasi Elias (DAR)